

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ**

**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ В СІЛЬСЬКОМУ
ГОСПОДАРСТВІ**

конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми
здобуття вищої освіти

Рекомендовано до друку методичною радою Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 15.10.2025, протокол № 2.

Укладач:

Віталій Мардзявко — асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Андрій Ставинський — д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Олексій Садовий — канд. тех. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ТЕМА №1. Фізична природа та основні характеристики оптичного випромінювання.....	5
ТЕМА №2. Енергетичні та фотометричні характеристики оптичного випромінювання: основні поняття та ефективні величини.....	20
ТЕМА №3. Прилади та методи вимірювання оптичного випромінювання.....	33
ТЕМА № 4. Енергетичні і експлуатаційні характеристики ламп розжарювання.....	51
ТЕМА № 5. Фізичні основи газового розряду та принцип роботи люмінесцентних ламп.....	64
ТЕМА №6. Газорозрядні та світлодіодні джерела світла: конструктивні особливості, принцип роботи та практичне застосування в умовах сільського господарства.....	77
ТЕМА №7. Визначення основних показників світлотехнічного розрахунку у сільськогосподарських приміщеннях.....	92
ТЕМА №8. Визначення методів розрахунку освітлення приміщення.....	106
ТЕМА №9. Методи розрахунку систем опромінювальних установок для опромінення теплиць.....	116
ТЕМА №10. Ультрафіолетове випромінювання та опромінювальні установки для тваринництва.....	129
ТЕМА №11. Інфрачервоне випромінювання та опромінювальні установки для обігріву молодняку сільськогосподарських тварин.....	142
ТЕМА №12. Автоматизація інфрачервоного та ультрафіолетового опромінення для обігріву та оздоровлення сільськогосподарських тварин.....	153
ТЕМА №13. Методи управління освітлювальними мережами: місцеві, централізовані та автоматизовані системи.....	160
ТЕМА №14. Системи управління освітленням: аналогові, цифрові та інтелектуальні протоколи в сільському господарстві.....	167
ТЕМА №15. Методи вибору елементів освітлювальної мережі для системи освітлення.....	181
ТЕМА №16. Керуванням освітленням в приміщенні та захист електроустановок освітлювальної мережі.....	193
ТЕМА №17. Монтаж світильників та електромережі для освітлення приміщення.....	198
ТЕМА №18. Групові освітлювальні мережі та електропроводки: принципи побудови, компонування та монтажу.....	204
ТЕМА №19. Використання установок випромінювання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.....	219
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КОНСПЕКТУ ЛЕКЦІЙ.....	226
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	227

ВСТУП

Сучасний розвиток аграрного виробництва неможливий без комплексної електрифікації, автоматизації та застосування сучасних енергозберігаючих технологій. Однією з найважливіших галузей використання електроенергії у сільському господарстві є освітлення та опромінення, які відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування технологічних процесів, підтриманні оптимальних умов життєдіяльності тварин і рослин, а також створенні комфортного та безпечного середовища праці для людини.

Світло є одним із головних екологічних і біоенергетичних факторів, що впливають на фізіологічні процеси живих організмів. Воно регулює фотосинтез, ріст, розвиток і репродуктивну активність рослин, а також обмін речовин, поведінку, продуктивність і відтворення тварин. Для людини світло має не лише зорове, а й психологічне та фізіологічне значення, впливаючи на працездатність, концентрацію уваги, самопочуття та біоритми.

Раціонально спроектоване освітлення сприяє підвищенню врожайності культур, покращенню якості продукції тваринництва, скороченню енергетичних витрат і збільшенню продуктивності праці персоналу. У сучасних умовах особливої актуальності набуває впровадження світлотехнічних систем на основі світлодіодних (LED) технологій, що забезпечують можливість точного регулювання спектрального складу випромінювання відповідно до біологічних потреб рослин і тварин, а також інтеграцію з автоматизованими системами управління мікрокліматом у межах концепції «розумного фермерства» (Smart Farming).

Вивчення дисципліни «Електричне освітлення та опромінення в сільському господарстві» має на меті формування у здобувачів вищої освіти фундаментальних знань з фізичних, енергетичних, фотометричних і біологічних основ світлових процесів, а також практичних навичок проєктування, монтажу, експлуатації та оптимізації освітлювальних систем у різних галузях аграрного виробництва.

Особлива увага приділяється:

- аналізу енергетичних і фотометричних характеристик оптичного випромінювання;
- дослідженню принципів роботи сучасних джерел світла, зокрема газорозрядних і напівпровідникових ламп;
- розгляду систем управління освітленням та опроміненням у тваринництві, птахівництві, тепличних господарствах;
- вивченню впливу світлового режиму на біологічну продуктивність і якість продукції;
- питанням енергоефективності, автоматизації та екологічної безпеки освітлювальних установок.

У конспекті лекцій розглянуто фізичну природу оптичного випромінювання, фотобіологічну дію світла, закономірності його взаємодії з біологічними об'єктами, методи вимірювання світлотехнічних величин, принципи побудови освітлювальних установок, норми освітленості для різних виробничих і технологічних зон, а також сучасні тенденції розвитку освітлювальних систем.

ТЕМА №1. ФІЗИЧНА ПРИРОДА ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з природою оптичного випромінювання, вивчення його основних характеристик та параметрів, а також аналіз механізмів взаємодії оптичного випромінювання з біологічними об'єктами.

Анотація

В темі розглядається фізична сутність і властивості оптичного випромінювання як частини електромагнітного спектра, його хвильовий та квантовий характер. Висвітлено основні параметри світла, спектральний склад, механізми взаємодії з біологічними об'єктами та вплив на організм людини. Описано основні види фотобіологічної дії - світлову, фотосинтезну, фотоперіодичну, терапевтичну, бактерицидну та мутагенну. Наведено приклади практичного застосування оптичного випромінювання у сільському господарстві.

Keywords: optical radiation, light, spectrum, photobiological action, melatonin, circadian rhythms, lighting.

План лекції

1. Основні поняття оптичного опромінення;
2. Структура електромагнітного спектра та характеристика оптичної області;
3. Властивості видимого випромінювання та особливості сприйняття кольору;
4. Механізм виникнення оптичного випромінювання;
5. Фотобіологічна дія оптичного випромінювання;
6. Біологічний вплив видимого світла на організм людини;
7. Освітлення в сільському господарстві;

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

1.1. Основні поняття оптичного опромінення

Усі тіла в природі, температура яких перевищує абсолютний нуль, випромінюють енергію в навколишнє середовище. Випромінювання є однією з форм матерії, що має нульову масу спокою та поширюється у вакуумі зі швидкістю $C = 2,988 \times 10^8$ м/с. Йому притаманні як хвильові, так і квантові властивості. Поширення випромінювання відбувається у вигляді електромагнітних хвиль, які являють собою періодичні коливання напруженостей електричного й магнітного полів. У процесі розповсюдження електромагнітних хвиль здійснюється перенесення енергії в напрямку їх руху, тобто енергія випромінювання передається простором за допомогою цих хвиль.

Оптичне випромінювання за своєю природою належить до електромагнітних коливань. Коливання з довжиною хвилі від 1 нм до 10000 нм називають оптичним випромінюванням. Усі об'єкти (тіла), що нас оточують, випромінюють електромагнітні хвилі, під час чого відбувається вивільнення накопиченої ними енергії.

У загальному спектрі електромагнітних випромінювань оптична область становить лише незначну частину. Подібно до інших хвильових процесів, випромінювання характеризується довжиною хвилі (λ) - відстанню між двома сусідніми точками хвилі, які перебувають в однаковій фазі, у напрямку її поширення. Довжина хвилі пов'язана зі швидкістю світла c та частотою ν (кількістю коливань за секунду) наступною залежністю:

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

де λ - довжина хвилі, нм ; c - швидкість світла $3 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$; ν - частота випромінювання, Гц.

Уявлення про випромінювання лише як про хвильовий процес не дозволяє повністю пояснити всі його властивості. Під час взаємодії з речовиною електромагнітне випромінювання проявляє себе так, ніби його енергія складається з окремих порцій - квантів.

Кванти оптичного випромінювання називаються фотонами. Фотони поширюються подібно до матеріальних частинок. Експериментально це було доведено П. М. Лебедевим, який установив, що випромінювання є потоком частинок, здатних чинити тиск на поверхню, на яку вони падають. Теоретичні основи квантових властивостей випромінювання були розроблені М. Планком і А. Ейнштейном.

Фотон поєднує властивості як частинки (корпускули), так і електромагнітної хвилі. Його енергія прямо пропорційна частоті електромагнітних коливань ν і обернено пропорційна довжині хвилі.

Довжина хвилі - це шлях, який проходить промінь за час одного повного періоду коливань. Між швидкістю поширення світла у вакуумі, довжиною хвилі та частотою існує певна залежність.

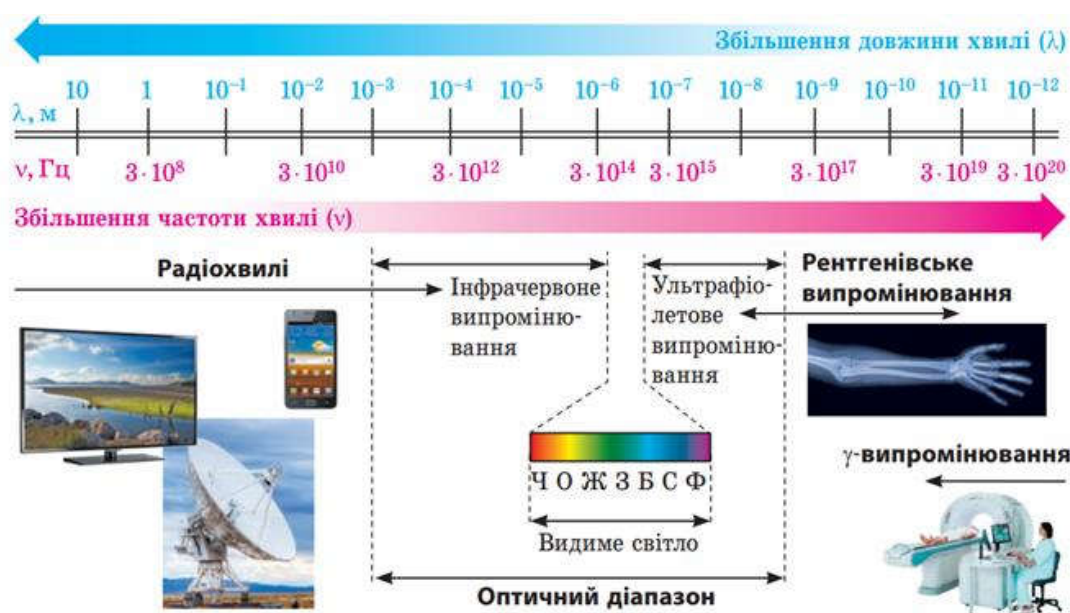


Рис. 1.1 – Шкала електромагнітних хвиль

Випромінювання, що виникає внаслідок зміщення електронів при нагріванні або під дією електричного розряду, належить до оптичної зони електромагнітних хвиль. Таким чином, електромагнітні коливання з довжинами хвиль від $1 \cdot 10^9 \text{ м}$ (нанометри) до 1 мм називають оптичним випромінюванням.

Величина енергії фотона E залежить від довжини хвилі випромінювання і може бути обчислена за формулою:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

де h - стала Планка, рівна $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; c - швидкість світла, яка дорівнює $3 \cdot 10^{10}$ см·с⁻¹.

Так як $c = v \cdot \lambda$, то, відповідно, вираз можна записати наступним чином:

$$E = hv$$

Однією з основних величин, що характеризують випромінювання, є потік випромінювання, під яким розуміють потужність випромінюваної енергії. Навіть у відносно слабкому потоці міститься велика кількість фотонів, кожен із яких має дуже малу енергію. Тому в більшості практичних випадків можна вважати, що енергія фотонів рівномірно розподілена в потоці випромінювання, а процеси поглинання та випромінювання енергії тілами відбуваються безперервно.

У першій половині XX століття було відкрито низку нових фактів, які суттєво розширили уявлення про природу оптичного випромінювання:

- оптичне випромінювання має як хвильові, так і корпускулярні властивості;
- частинки речовини, подібно до фотонів, також володіють подвійною - хвильовою та корпускулярною природою;
- частинки речовини можуть перетворюватися на оптичне випромінювання, і навпаки - оптичне випромінювання може переходити в речовину.

Освітлення виробничих приміщень оцінюють за кількісними та якісними показниками.

Кількісні показники:

- Світловий потік - потужність видимого випромінювання, що сприймається людським оком як світлове відчуття. Одиниця вимірювання - люмен (лм).
- Сила світла - величина, що визначається як відношення світлового потоку до тілесного кута, у межах якого цей потік рівномірно розподіляється. Одиниця вимірювання - кандела (кд).
- Яскравість - це відношення сили світла, що випромінюється певною ділянкою поверхні в заданому напрямку, до площі цієї поверхні. Одиниця вимірювання — ніт (нт).
- Освітленість - відношення світлового потоку, який падає на поверхню, до площі цієї поверхні. Вимірюється в люксах (лк).

Якісні показники зорових умов праці:

- Фон - це поверхня, на якій розташований і сприймається об'єкт розпізнавання. Характеризується коефіцієнтом відбиття, тобто відношенням світлового потоку, що відбивається від поверхні, до потоку, який на неї падає. Фон може бути:
 - світлим - при $\rho > 0,4$;
 - середнім - при $\rho = 0,2 \dots 0,4$;
 - темним - при $\rho < 0,2$.
- Контраст - це співвідношення яскравостей об'єкта розпізнавання та фону, на якому він розташований.
- Видимість - показник, що характеризує здатність ока розпізнавати об'єкт. Вона залежить від освітленості, розміру об'єкта, його яскравості, контрасту з фоном і тривалості спостереження.

1.2. Структура електромагнітного спектра та характеристика оптичної області

Оптична область спектра поділяється на три основні зони:

1. Ультрафіолетове (УФ) випромінювання - це невидиме для ока випромінювання (від лат. *ultra* - «за»), яке розташоване за межами видимого спектра в діапазоні довжин хвиль 1–380 нм. Цей діапазон, у свою чергу, поділяється на чотири підзони:

- 1–200 нм - вакуумне ультрафіолетове випромінювання;
- 200–280 нм - ультрафіолетова область С;
- 280–315 нм - ультрафіолетова область В;
- 315–380 нм - ультрафіолетова область А.

2. Видиме випромінювання - це частина спектра, яку сприймає людське око. Воно викликає зорові відчуття та охоплює діапазон довжин хвиль 380–760 нм.

3. Інфрачервоне (ІЧ) випромінювання - також невидиме для людини (від лат. *infra* - «нижче», «попереду»), розташоване після видимого спектра в межах 760–10 000 нм. Його поділяють на три діапазони:

- 760–1400 нм - інфрачервона область А;
- 1400–3000 нм - інфрачервона область В;
- 3000–10 000 нм - інфрачервона область С.

Спектр випромінювання - це сукупність усіх видів випромінювання, розташованих послідовно за зростанням довжини хвилі.

Видиме випромінювання займає лише вузьку частину оптичного спектра, проте має надзвичайно важливе значення для життя людини (див. рис. 1.2). Саме завдяки йому людина може орієнтуватися в просторі, розрізняти кольори предметів та виконувати трудові операції.

Крім того, енергоресурси (вугілля, газ, нафта) та продукти харчування рослинного й тваринного походження є результатом дії сонячного видимого випромінювання на Землю, завдяки процесу фотосинтезу в зелених рослинах.

Сонячне випромінювання свідчить, що видиме світло не є однорідним - воно складається з різних довжин хвиль, але у сукупності створює враження білого світла.

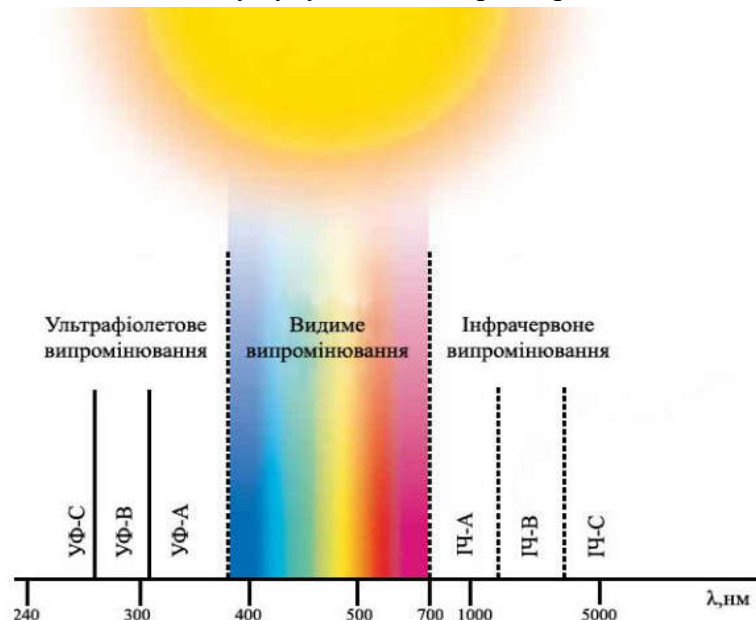


Рис. 1.2 – Спектр електромагнітного випромінювання

Діапазон довжин хвиль випромінювання (λ) є надзвичайно широким - від часток міліметра до кількох кілометрів.

Умовно весь спектр поділяють на три основні ділянки:

1. Радіохвилі - випромінювання з довжиною хвилі від 1 мм до сотень кілометрів. Їм відповідають низькі частоти.

2. Джерелами радіохвиль є радіопередавальні пристрої, промислові установки та інше електротехнічне обладнання.

3. Короткохвильові випромінювання - з довжиною хвилі 1 нм і менше. До них належать рентгенівські та γ -промені, які утворюються під час розпаду радіоактивних елементів (наприклад, урану) або при гальмуванні електронних потоків у рентгенівській трубці. Такі хвилі мають дуже високу частоту коливань.

4. Оптичне випромінювання - займає проміжок між 1 нм і 1 мм. Його спектр поділяють на три підділянки:

- інфрачервоне випромінювання - λ від 1 мм до 780 нм;
- видиме випромінювання - λ від 780 нм до 380 нм;
- ультрафіолетове випромінювання - λ від 380 нм до 10 нм.

Розподіл потоку випромінювання за спектром є якісною характеристикою випромінювання.

За складом спектра розрізняють прості та складні випромінювання.

- Прості (монохроматичні) - це однохвильові випромінювання, що мають певну довжину хвилі або частоту.

- Інтенсивність монохроматичного випромінювання визначається добутком енергії кванта на кількість фотонів із даною довжиною хвилі λ , які проходять через задану поверхню за одиницю часу. Ця величина називається потоком монохроматичного випромінювання Φ_λ .

$$\Phi_\lambda = W_\lambda \frac{h_\lambda}{\tau}.$$

Більшість випромінювачей має складний склад променів, розподілений уздовж шкали довжин хвиль, що називається спектром випромінювання. Складаний спектр випромінювання можна представити як суму монохроматичних потоків;

$$\Phi = \sum_{\lambda_n}^{\lambda_k} \Phi_\lambda ,$$

де λ_k та λ_n - відповідно кінець та початок діапазону довжин хвиль електромагнітних коливань.

Складні випромінювання по виду спектрів бувають лінійчасті, полосаті та суцільні (рис. 1.3).

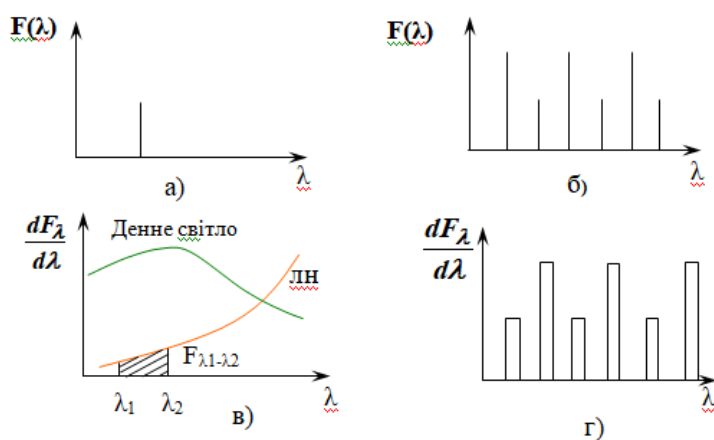


Рис. 1.3 – Спектри оптичного випромінювання: а) однорідні; б) лінійчастий спектр; в) суцільний спектр; г) смугастий спектр

1.3. Властивості видимого випромінювання та особливості сприйняття кольору

Випромінювання Сонця та більшості штучних джерел, що використовуються на практиці, є складним за своєю структурою - воно містить хвилі різної довжини. Якщо пропустити видиму частину такого випромінювання, яке сприймається як біле світло, через призму, воно розкладається на окремі потоки - кожен із власним характерним кольором. Людське око здатне розрізняти понад 150 відтінків, які відповідають різним довжинам хвиль видимого спектра, причому переходи між кольорами відбуваються поступово.

З метою зручності весь спектр видимого випромінювання умовно поділяють на вісім ділянок, що відповідають основним кольорам. Орієнтовні межі цих ділянок наведено в таблиці 1 та на рис. 1.4.

Таблиця 1.1 - Умовні кольори і орієнтовні довжини хвиль

Довжина хвилі, <i>нм</i>	Колір
380-450	Фіолетовий
450-480	Синій
480-510	Голубий
510-550	Зелений
550-575	Жовто-зелений
575-585	Жовтий
585-620	Оранжевий
620-760	Червоний

Колір	Діапазон довжин хвиль, <i>нм</i>	Діапазон частот, <i>ТГц</i>	Діапазон енергії фотонів, <i>еВ</i>
Фіолетовий	380—440	790—680	2,82—3,26
Синій	440—485	680—620	2,56—2,82
Блакитний	485—500	620—600	2,48—2,56
Зелений	500—565	600—530	2,19—2,48
Жовтий	565—590	530—510	2,10—2,19
Помаранчевий	590—625	510—480	1,98—2,10
Червоний	625—740	480—405	1,68—1,98

Рис. 1.4 – Відношення довжини хвиль до кольору

Кольори, що виникають під дією однорідних світлових потоків певної довжини хвилі, називаються спектральними кольорами. Якщо до такого однорідного випромінювання додати складне, можна отримати численні відтінки цього кольору, які відрізнятимуться між собою співвідношенням білого (складного) та монохроматичного потоків. Складне випромінювання від різних джерел може мати різну кольоровість, що визначається розподілом енергії за довжинами хвиль. Саме цей розподіл є головною характеристикою неоднорідного випромінювання.

Людське око здатне сприймати освітленість від 0,1 лк (приблизно рівень місячного світла) до 100 000 лк (яскраве сонячне освітлення). За низької освітленості зір працює у нічному режимі завдяки паличковим елементам сітківки, а за високої - у денному режимі, коли

активні колбочкові елементи. Під час переходу від нічної до денної освітленості або навпаки зір функціонує у сутінковому режимі. Середня крива спектральної чутливості ока, затверджена Міжнародною комісією з освітленості (МКО) у 1924 році, використовується і сьогодні для всіх розрахунків, що стосуються світлової дії випромінювання (див. рис. 1.5, крива 1).

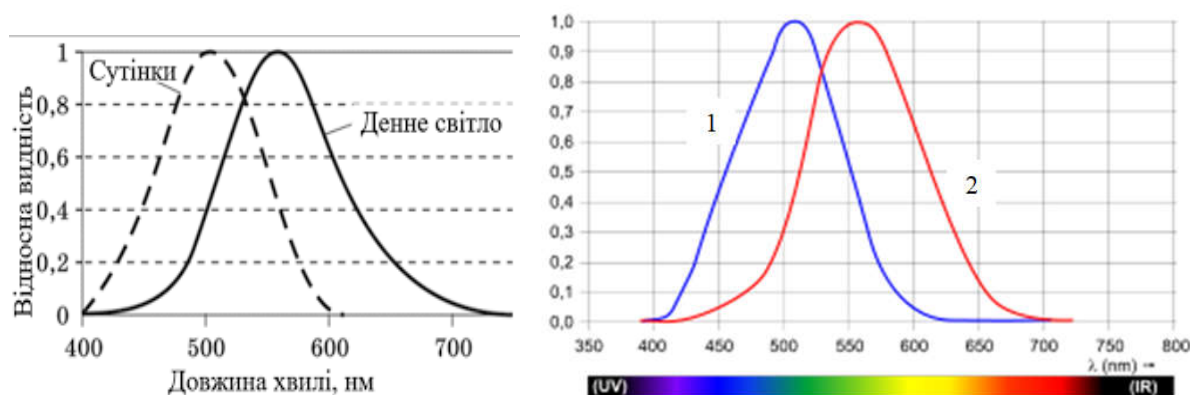
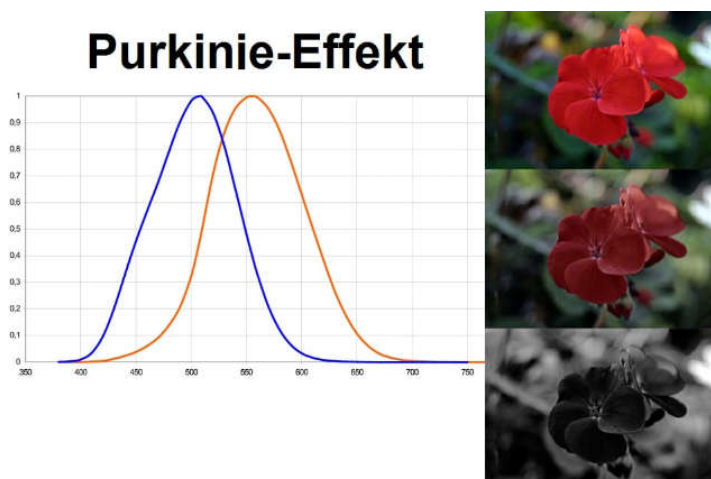


Рис. 1.5 – Середні значення спектральної чутливості ока: 1 - усереднена крива спектральної чутливості ока; 2 - крива спектральної чутливості ока в умовах нічного зору

Максимальне значення цієї кривої умовно прийняте за одиницю і відповідає довжині хвилі $\lambda = 555$ нм. Крива 2 демонструє, що за умов нічного зору людське око здатне реагувати на дуже низький рівень освітленості, при цьому його спектральна чутливість зміщується у бік коротших хвиль порівняно з кривою денного зору. Максимум цієї другої кривої також умовно приймається за одиницю і відповідає довжині хвилі $\lambda = 507$ нм. Порівнюючи криві 1 і 2, варто враховувати, що їхні максимуми є умовно рівними - насправді палички мають значно вищу чутливість, ніж колбочки. Середні значення спектральної чутливості ока для денного та нічного зору використовуються при світлотехнічних розрахунках.

Між режимами денного та нічного зору існує перехідна зона освітленості, яку можна спостерігати щодня після заходу сонця, коли одночасно працюють палички і колбочки зорового апарата. Під час цього переходу відбувається зміна спектральної чутливості очей, що спричиняє появу специфічних зорових ефектів.

У цей період проявляється так званий ефект Пуркінє: поверхні червоного та синього кольорів, які вдень здаються приблизно однаково яскравими, у сутінках сприймаються по-різному - синій об'єкт виглядає значно світлішим, тоді як червоний - майже чорним.



1.4. Механізм виникнення оптичного випромінювання

Елементарні частинки речовини - атоми, молекули та кристали - зазвичай перебувають у стані енергетичної рівноваги. Позитивний заряд ядра атома компенсується негативними зарядами електронів, що обертаються навколо нього. Щоб видалити електрон від ядра, необхідно затратити певну кількість енергії, тоді як його наближення до ядра супроводжується вивільненням енергії.

Якщо до нейтральних частинок підвести зовнішню енергію, вони можуть поглинути її, збільшуючи свій енергетичний запас. Такі частинки називаються збудженими, проте в нормальних умовах вони не можуть довго залишатися у цьому стані.

Після збудження електрони, які тимчасово віддалилися від ядра, повертаються на свої стабільні орбіти, при цьому випромінюючи надлишкову енергію. Це випромінювання відбувається строго визначеними порціями, тобто електрони можуть обертатися лише по певних орбітах, розташованих на фіксованих відстанях від ядра. Кожен атом має кілька енергетичних рівнів, кількість яких зростає зі складністю його будови.

Під час переходу атома із збудженого стану в стан із нижчим енергетичним рівнем відбувається стрибкоподібне вивільнення енергії у вигляді кванта випромінювання певної частоти. Кванти оптичного випромінювання називають фотонами.

Отже, оптичне випромінювання виникає внаслідок переходу електрона на нижчий енергетичний рівень - тобто на меншу орбіту обертання навколо ядра атома (див. рис. 1.7).

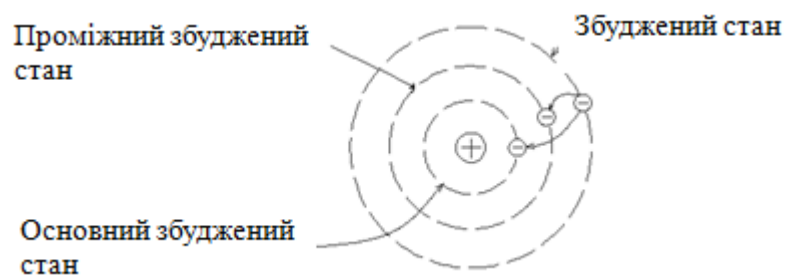


Рис. 1.7 – Виникнення випромінювання

У початковому стані елементарні частинки речовини перебувають у стані енергетичної рівноваги. Позитивний заряд ядра атома врівноважується негативними зарядами електронів, які обертаються навколо нього. Якщо ззовні (з навколишнього середовища) до нейтральних атомів підвести певну кількість енергії, їхній енергетичний запас збільшується.

Коли ця енергія досягає певного рівня, електрони збуджуються - тобто частина з них, переважно з верхнього енергетичного рівня, переходить на більш високу орбіту. Проте електрон не може довго перебувати у збудженому стані й з часом повертається на стабільну орбіту, віддаючи надлишкову енергію у вигляді випромінювання.

Це випромінювання енергії відбувається певними порціями - квантами. Розмір кванта залежить від будови атома, його структури та кількості енергетичних рівнів, між якими може здійснюватися перехід електрона. Енергія кванта визначається різницею енергій цих рівнів.

Розрізняють два типи випромінювання:

- Нерезонансне випромінювання - виникає під час переходу електронів з одного збудженого стану в інший, менш енергетичний, але не основний (незбуджений).
- Резонансне випромінювання - спостерігається, коли електрони переходять зі збудженого стану в основний (незбуджений).

1.5. Фотобіологічна дія оптичного випромінювання

Енергія оптичного випромінювання безпосередньо впливає на людей, тварин, рослини, мікроорганізми та інші об'єкти, здатні її сприймати. Основні види фотобіологічної дії включають:

Світлову дію, яка проявляється у виникненні зорових відчуттів у людини, що дають змогу орієнтуватися в просторі. Органом сприйняття цього випромінювання є око людини. Еталонна крива спектральної чутливості людського ока показана на рис. 1.8 (крива 1).

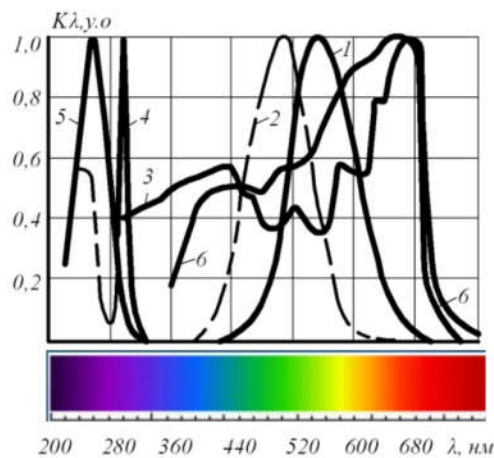


Рис. 1.8 – Спектральні характеристики: 1 - око людини вдень; 2 - око людини вночі; 3 – зеленого листа по І.І.Свентицькому (теоретична); 4 - шкіра тварини (вітальна); 5 - бактерій; 6 - фотосинтез по Мс. Среє (експериментальна)

Фотосинтезна дія проявляється в тому, що видиме світло та довгохвильове УФ-випромінювання забезпечують процес, у ході якого в зелених рослинах із мінеральних речовин утворюються органічні сполуки. Основним приймачем випромінювання є зелений лист. Фотосинтез є ключовим процесом для життя на Землі: у листках рослин поглинається вуглекислий газ із повітря та виділяється кисень, а енергетичною основою процесу є фотосинтезний потік. Крива спектральної чутливості за І. І. Свентицьким наведена на рис. 1.8 (крива 3).

Максимальну фотосинтезну дію проявляє випромінювання з довжиною хвилі 680 нм, тому за одиницю фотосинтезного потоку прийнято потік потужністю 1 Вт при цій довжині хвилі, яку назвали **фйт (фт)**. Інші величини фотосинтезного випромінювання визначаються аналогічно до одиниць видимого випромінювання: сила фотосинтезного випромінювання I_f (фт·ер⁻²), фотосинтезна опроміненість E_f (фт·м⁻²).

Фотоперіодична дія проявляється у впливі на розвиток рослин, тварин і птиці залежно від тривалості та чергування періодів освітлення й темряви.

Терапевтична дія полягає в опроміненні людей, тварин і птиці дозованими дозами УФ, видимого та інфрачервоного випромінювання, що сприяє покращенню обміну речовин та

підвищує стійкість організму до захворювань. Основним приймачем є шкіра людини та тварин. Під впливом цього випромінювання активуються життєво важливі процеси, зокрема утворення вітаміну D. Опромінення супроводжується почервонінням шкіри (еритема). Еталонна крива спектральної чутливості наведена на рис. 1.8 (крива 4).

Бактерицидна дія полягає в загибелі бактерій, рослин та комах під впливом великих доз УФ, видимого та ІЧ випромінювання. Основними приймачами є бактерії, які гинуть під дією бактерицидного потоку. Крива спектральної чутливості показана на рис. 1.8 (крива 5).

Мутагенна дія проявляється у тому, що тривале опромінення тварин і рослин УФ-випромінюванням викликає спадкові зміни, що можуть використовуватися для виведення нових сортів рослин та інших організмів із покращеними властивостями.

1.6. Біологічний вплив видимого світла на організм людини

Щодня людина піддається впливу сонячного світла та світла від штучних джерел, які відрізняються спектральним складом та дуже широким діапазоном інтенсивності: від понад 100 000 лк при прямому сонячному світлі вдень до 0,2 лк уночі при світлі місяця. Тривалий час вважалося, що освітлення необхідне головним чином для забезпечення зору. Проте, окрім зорових функцій, світло впливає на численні фотобіологічні процеси в організмі. Особливо важлива регуляторна роль належить видимому світлу. Відомо, що в похмурі дні у багатьох людей з'являється синдром «осіннього смутку», що супроводжується депресією і навіть іноді може призводити до самогубств. Експериментально доведено, що подібний стан можна полегшити, поміщаючи людину на кілька годин протягом кількох днів у яскраво освітлене приміщення.

З відкриттям нового фоторецептора у 2002 році стало можливим глибше зрозуміти біологічний вплив світла на організм. Спектральна чутливість цього типу рецепторів ще повністю не вивчена, проте вже відомо, що синє світло має сильніший ефект, ніж випромінювання з довгими хвилями.

Останнім часом активно досліджувалися основні чинники, що впливають на виконання зорових завдань, такі як освітленість, яскравість, сліпучість, сприйняття кольорів та інші. Результати цих досліджень стали основою чинних норм освітлення. Разом із тим, знань про вплив світла на фізіологію людини накопичено значно менше. Проте сучасні дослідження показали, що світло може значно впливати на самопочуття.

Людський організм сформувався під дією 24-годинного біоритму (циркадного ритму), що включає активну денну фазу та нічну фазу відпочинку. Світло синхронізує цей біоритм. Світлові сигнали впливають на внутрішній «годинник» незалежно від паличок та колб - звичних фоторецепторів, що забезпечують зір. За словами Г. Ван Бельда, ефект видимого світла залежить від рівня освітленості, спектрального складу, тривалості та часу доби. Освітленість 1000–2000 лк на око протягом трьох годин може спричинити фазовий зсув біологічного годинника на 2–4 години залежно від часу доби, при цьому спектральні характеристики світла мають ключове значення.

Рівень освітленості оцінюється як кількість світла, що потрапляє на око спостерігача, а не на горизонтальні поверхні приміщення, як це робиться у сучасних нормах. Висока освітленість на поверхнях або предметах, які рідко потрапляють у поле зору, не має суттєвого біологічного ефекту, а світлова енергія при цьому розтрачується даремно.

Медицинний аспект впливу видимого світла на організм людини привертає дедалі більше уваги. Існує чимало досліджень, що доводять ефективність інтенсивного білого світла у

лікуванні порушень циркадних ритмів і депресивних станів. Проте літературних даних щодо впливу видимого світла на психофізіологічний стан людини поки недостатньо.

Давно відомо, що світлотерапія допомагає при дефіциті вітаміну D, шкірних захворюваннях та сезонних депресіях. Світло має загальний оздоровчий ефект на організм. Яскраве біле світло є одним із провідних немедикаментозних методів лікування депресії та психічних розладів. Дослідження у сфері медицини, фотобіології, біохімії та хронобіології підтверджують, що видиме світло ефективно регулює біологічні ритми та в деяких випадках може бути терапевтичним фактором.

Механізм незорових реакцій та вироблення мелатоніну під дією світла представлений у відповідних ділянках мозку (див. рис. 1.9).

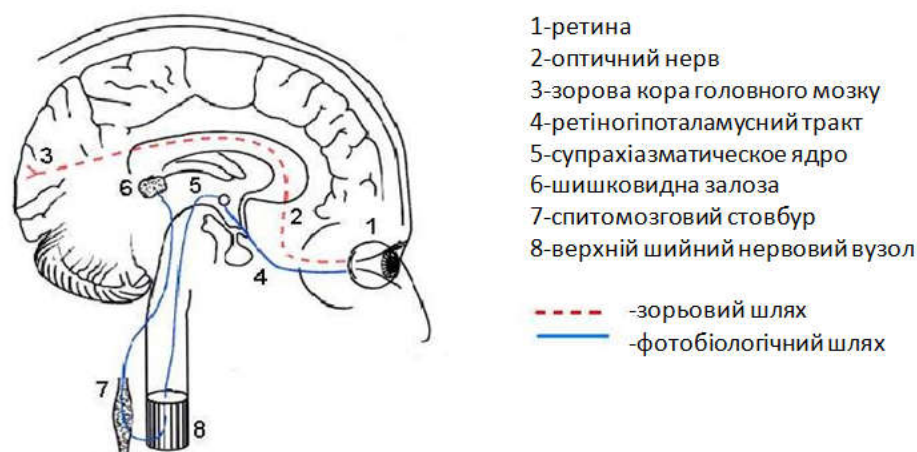


Рис. 1.9 – Структури мозку, що забезпечують вплив світла на функціонування різних систем організму

Коли світло потрапляє в клітини-рецептори ока, запускається складний хімічний процес за участю фотопігменту меланопсину, який призводить до утворення електричних імпульсів. Ці клітини пов'язані з двома структурами мозку: супрахіазматичними ядрами (SCN), що виконують роль біологічного годинника, та шишкоподібною залозою (епіфізом), яка регулює виділення гормонів в організмі.

У сітківці світлові хвилі певної довжини перетворюються на нервові сигнали, що передаються через зоровий нерв у верхні відділи спинного мозку та потиличну частку головного мозку. Там вони не лише формують зорове сприйняття, а й впливають на ключові центри управління організмом. Вважається, що цей процес стимулює епіфіз до вироблення мелатоніну.

Мелатонін, хоча його дія в організмі до кінця не вивчена, посилює функції ендокринних залоз і виробляється переважно вночі, з піком близько 2 години. Сонячне світло пригнічує його синтез, тому оптимальні умови вироблення — тривалий нічний сон у темряві, що забезпечує нормальне функціонування біоритмів і імунної системи. Порушення продукції мелатоніну може викликати десинхроноз і органічні порушення.

Штучне освітлення впливає на внутрішні біоритми людини, зокрема на працездатність, самопочуття та мотивацію. Вік працівника підвищує вимоги до освітленості через зниження зорових можливостей. Високі рівні освітлення на робочих місцях, особливо в металургії (300–2000 лк), підвищують зорову працездатність, зменшують кількість браку та нещасних випадків, що підвищує продуктивність.

Нове розуміння БОІ-ефектів дозволяє змінювати інтенсивність і колір освітлення залежно від часу доби для оптимізації самопочуття та ефективності роботи. Дослідження показують, що працівники віддають перевагу рівням освітлення близько 800 лк в офісах із недостатнім природним світлом.

Таким чином, для створення оптимальних світлотехнічних систем істотно вимірювання та розрахунок коефіцієнта циркадної ефективності ламп, світильників, освітлювальних установок.

1.7. Освітлення в сільському господарстві

Освітлення є одним із найважливіших факторів, що впливають на продуктивність праці, комфорт працівників і ефективність технологічних процесів у сільському господарстві. Раціональна система освітлення забезпечує належні умови для виконання робіт у тваринницьких приміщеннях, на фермах, у теплицях, майстернях, складських і адміністративних будівлях, а також сприяє підвищенню біологічної продуктивності рослин і тварин.

У сільськогосподарських підприємствах застосовують природне, штучне та комбіноване освітлення.

- Природне освітлення забезпечується через світлові прорізи, ліхтарі, вікна або прозорі покриття дахів. Воно є найбільш економічним, проте залежить від погодних умов і часу доби.
- Штучне освітлення використовується для підтримання необхідного рівня світла в темний час доби або в приміщеннях без достатнього доступу природного освітлення.
- Комбіноване освітлення поєднує обидва типи, що дозволяє забезпечити оптимальні умови протягом усього робочого періоду.

Основними вимогами до освітлення у сільському господарстві є:

- достатня освітленість робочих місць відповідно до нормативів;
- рівномірність розподілу світлового потоку;
- відсутність сліпучої дії світильників;
- енергоефективність освітлювальних приладів;
- надійність і безпечність експлуатації.

Відповідно до норм, освітленість робочих місць у тваринницьких приміщеннях становить 30–75 лк, у теплицях - 10 000–15 000 лк при використанні світлодіодних ламп або ламп натрієвого типу.

Сучасні тенденції в сільськогосподарському освітленні спрямовані на впровадження енергоощадних технологій, серед яких особливу популярність мають LED-світильники. Вони забезпечують високий коефіцієнт корисної дії, тривалий термін служби та можливість точного регулювання спектра випромінювання. Це особливо важливо для тепличних господарств, де спектральний склад світла впливає на фотосинтез, ріст і розвиток рослин.

У тваринництві освітлення також має значення для поведінкових і фізіологічних процесів тварин. Наприклад, у птахівництві правильно підібраний режим освітлення стимулює несучість, а у свинарстві - сприяє кращому росту молодняку.

Сучасні фермерські господарства впроваджують автоматизовані системи керування освітленням, які дозволяють підтримувати стабільну інтенсивність світла, враховувати рівень природного освітлення, час доби та біоритми тварин чи рослин. Такі системи можуть бути

інтегровані у загальні системи "розумного фермерства" (Smart Farming), що підвищує ефективність використання електроенергії.

Раціональне освітлення у сільському господарстві - це не лише питання енергозбереження, а й важливий фактор, який впливає на продуктивність праці, здоров'я працівників, розвиток тварин і ріст рослин. Використання сучасних світлотехнічних рішень і автоматизованих систем управління освітленням дозволяє забезпечити стабільну якість продукції та знизити енергетичні витрати господарства.

Освітлення є одним із ключових екологічних факторів, що впливають на фізіологічний стан, поведінку та продуктивність тварин сільського господарства. Правильно організоване світлове середовище забезпечує оптимальні умови для росту, розвитку та відтворення поголів'я, тоді як неправильне освітлення може спричиняти стрес, зниження продуктивності та порушення біологічних ритмів.

Світло є регулятором циркадних ритмів тварин, впливаючи на секрецію гормонів (мелатоніну, кортизолу, тироксину) та активність ферментативних систем. Тривалість світлового дня визначає поведінкову активність, періоди спокою, апетит і репродуктивні процеси. Наприклад, у більшості сільськогосподарських тварин фотоперіодизм визначає сезонність розмноження, лактацію та інтенсивність росту.

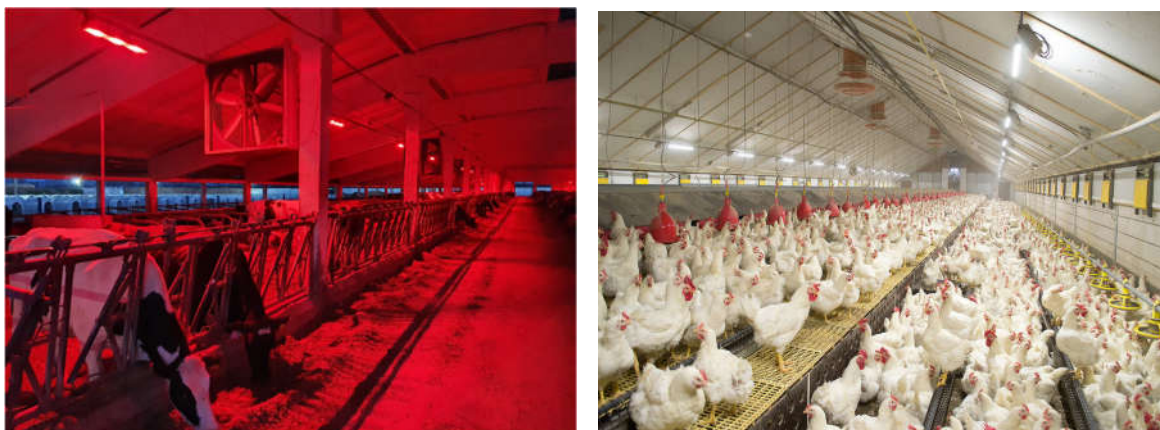


Рис. 1.10 – Приклад освітлення в тваринницьких приміщеннях

Вплив освітлення на різні види тварин.

1. Велика рогата худоба. Оптимальне освітлення сприяє підвищенню надоїв молока, покращує апетит і поведінкову активність тварин. Дослідження показали, що при освітленості 150–200 лк і тривалості світлового дня 16 годин надої можуть збільшуватися на 10–15%. Недостатнє освітлення викликає апатію, порушення терморегуляції та зниження репродуктивної функції.

2. Свійські свині. Для свиней надлишок світла може бути стресовим фактором, тому рівень освітленості підтримують у межах 50–100 лк. При цьому важливо забезпечити добовий ритм "день–ніч", що сприяє нормальному обміну речовин і зниженню агресивної поведінки. У свиноматок правильне освітлення покращує репродуктивні показники та життєздатність поросят.

3. Птахівництво. У птахів освітлення є критичним чинником, що впливає на ріст, розвиток і несучість. Інтенсивність і спектральний склад світла регулюють секрецію статевих гормонів і швидкість росту молодняку. Світловий день тривалістю 14–16 годин при освітленості 20–50 лк забезпечує максимальну продуктивність курей-несучок. Використання

LED-світильників із переважанням червоного та теплого білого спектрів сприяє підвищенню несучості та зменшенню стресових реакцій.

4. Вівці та кози. Для цих видів тварин освітлення також має значення під час окоту та лактації. Підвищена освітленість у період вигодовування молодняку покращує апетит і збільшує приріст маси тіла.

Спектр освітлення впливає на фізіологічні реакції тварин.

- Синє та зелене світло сприяють спокійному стану, зниженню агресивності й підвищенню якості відгодівлі.
- Червоне світло активізує репродуктивні функції, стимулює статеву активність, але при надлишку може викликати надмірне збудження.
- Біле нейтральне світло вважається універсальним і застосовується у більшості тваринницьких приміщень.

Вимоги до освітленості тваринницьких приміщень регламентуються ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення" та галузевими стандартами сільського господарства. Наприклад:

- для корівників - не менше 75 лк на рівні годівниць;
- для свинарників - 50 лк у секціях утримання;
- для пташників - 20–30 лк у період несучості, 10–15 лк у період відгодівлі.

Таким чином, освітлення є не лише технічним, а й біологічно значущим чинником у тваринництві. Воно визначає продуктивність, фізіологічний стан і поведінку тварин.

Світло бере участь у фотосинтезі, процесі, під час якого рослини перетворюють світлову енергію на хімічну. Ефективність фотосинтезу залежить від інтенсивності, спектрального складу та тривалості освітлення. Недостатня кількість світла призводить до етіолоїї (витягування стебел, зменшення листової поверхні), зниження вмісту хлорофілу та зменшення врожайності. Надлишок освітлення, навпаки, може спричинити фотопрігнічення і пошкодження клітинних структур.

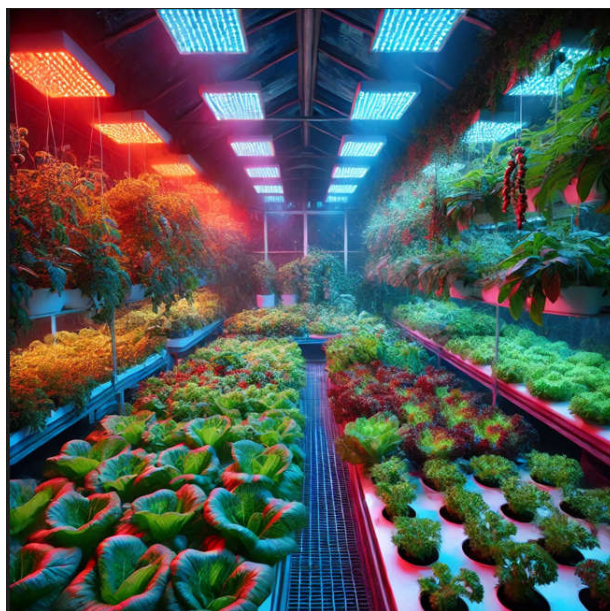


Рис. 1.11 – Приклад освітлення в теплиці

1. Інтенсивність світла - кількість енергії, що надходить на поверхню рослини. Для більшості культур оптимальна освітленість становить 10 000–30 000 лк.

2. Тривалість світлового дня - визначає фотоперіодичну реакцію рослин: короткоденні (соє, хризантеми), довгоденні (пшениця, ячмінь), нейтральні (огірок, томат).
3. Спектральний склад - якісний показник світла, який впливає на ріст і розвиток:
 - Синє світло (400–500 нм) стимулює утворення хлорофілу, розвиток листків і коренів.
 - Червоне світло (600–700 нм) активізує фотосинтез, сприяє цвітінню та плодоношенню.
 - Зелене світло (500–600 нм) проникає глибше в листковий покрив і забезпечує рівномірне освітлення нижніх шарів рослин.

Світловий режим безпосередньо впливає на фізіологічні процеси: інтенсивність дихання, транспірацію, утворення біомаси та накопичення вуглеводів. У рослин із недостатнім освітленням спостерігається зменшення маси плодів, сповільнення росту, слабкий розвиток кореневої системи. Правильно підібраний світловий режим забезпечує стабільний ріст і підвищує стійкість до несприятливих умов середовища.

Наприклад, у теплицях для томатів застосовують освітленість 12 000–15 000 лк при тривалості світлового дня 16 годин, тоді як для зелених культур (салат, шпинат) достатньо 8 000–10 000 лк. Регулювання спектра випромінювання дозволяє прискорити цвітіння, підвищити врожайність і поліпшити якість продукції.

З розвитком енергозберігаючих технологій у рослинництві широко застосовуються світлодіодні (LED) системи освітлення, які дають змогу:

- керувати спектральним складом світла відповідно до потреб культури;
- зменшити споживання електроенергії на 40–60% порівняно з лампами розжарювання чи натрієвими лампами;
- підтримувати стабільний фотоперіод незалежно від пори року;
- автоматично регулювати освітленість через системи керування мікрокліматом.

Такі системи застосовують у теплицях, вертикальних фермах і розсадниках для стимуляції росту вегетативної маси або цвітіння залежно від стадії розвитку рослин.

Нормативні вимоги

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення" та рекомендацій Інституту овочівництва і баштанництва НААН України, орієнтовні параметри освітленості для культур у закритому ґрунті такі:

- Огірок, томат - 12 000–15 000 лк;
- Салат, шпинат - 8 000–10 000 лк;
- Перець, баклажан - 10 000–12 000 лк;
- Квіткові культури (тройнда, хризантема) - 15 000–20 000 лк.

Таким чином, освітлення відіграє ключову роль у формуванні продуктивності рослин. Контроль інтенсивності, спектра та тривалості світлового дня дає змогу оптимізувати процеси фотосинтезу, прискорити розвиток культур і підвищити якість врожаю.

Використання сучасних світлодіодних технологій і автоматизованих систем освітлення є одним із головних напрямів енергоефективного розвитку рослинництва та тваринництва в умовах інтенсивного землеробства.

Питання для самоперевірки

1. Що ви розумієте під оптичним випромінюванням?

2. Чим оптичне випромінювання відрізняється від інших видів випромінювань спектра електромагнітних коливань?
3. На які види випромінювань поділяється спектр оптичного випромінювання?
4. Основні види фотобіологічної дії оптичного випромінювання.
5. Які основні властивості має електромагнітне випромінювання?
6. Перерахуйте види фотобіологічної дії оптичного випромінювання.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал по основним поняттям та визначенням;
2. Самостійно відновити матеріал з опису розподілення енергії оптичного випромінювання по спектру;
3. Самостійно відновити матеріал з опису механізму виникнення оптичного випромінювання.
4. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Дія оптичного випромінювання на тварин і птицю, рослин.

ТЕМА №2. ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ФОТОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ: ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЕФЕКТИВНІ ВЕЛИЧИНИ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з основними енергетичними та фотометричними характеристиками оптичного випромінювання, пояснити способи вимірювання та опису потоку випромінювання, а також показати взаємозв'язок між фізичними величинами та їх сприйняттям приймачем.

Анотація

В темі детально розглядаються основні фізичні та фотометричні характеристики оптичного випромінювання. Студенти ознайомлюються з поняттями енергетичного та світлового потоку, інтенсивності світла, яскравості та щільності випромінювання. Особлива увага приділяється методам вимірювання цих величин, їхньому спектральному розподілу та взаємозв'язку з фотометричними параметрами, що визначають сприйняття світла людиною. Тема включає приклади практичного застосування цих характеристик у світлотехніці та освітлювальних системах. Матеріал формує базу для подальшого вивчення фотометрії, розробки освітлювальних приладів і застосування наукових методів у оцінці світлових характеристик.

Keywords: optical radiation, photometric characteristics, energy flux, luminous flux, light intensity, brightness, radiation density, spectral distribution, lighting engineering, light measurement.

План лекції

1. Основні величини оптичного випромінювання та одиниці їх вимірювання;
2. Загальні підходи до побудови ефективних величин у світлотехніці та фітобіології.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.

2.1. Основні величини оптичного випромінювання та одиниці їх вимірювання

Поле оптичного випромінювання тісно пов'язане з процесом перенесення енергії від джерела випромінювання до тіла, яке її поглинає. Це перенесення відбувається за рахунок електромагнітних коливань. Оскільки світлові величини є похідними від енергетичних фотометричних, їх доцільно розглядати у взаємозв'язку, спираючись на первинність енергетичних параметрів (див. рис. 2.1).

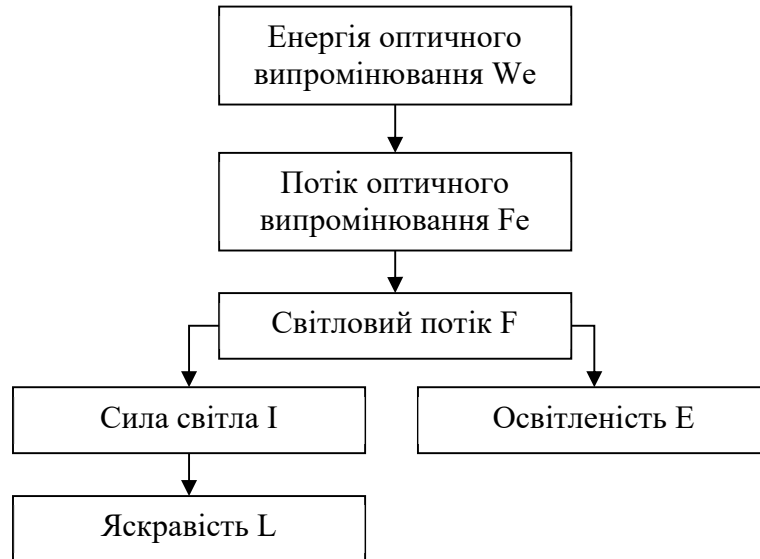


Рис. 2.1 – Енергетичні величини оптичного випромінювання

Фотометричними називають величини та одиниці, що описують оптичне випромінювання. Сам термін «фотометрія» походить від грецьких слів «фос» — світло та «метрео» — вимірюю, і означає вимірювання світлових характеристик. Розрізняють енергетичну фотометричну систему величин та редуковану фотометричну систему.

Енергетичні величини описують випромінювання без урахування його дії на будь-який приймач. Вони вимірюються в одиницях, що базуються на одиниці енергії — джоулі, а в їхніх позначеннях застосовується додатковий індекс «е» (наприклад, W_e (Φ), F_e , I_e).

Редуковані або ефективні фотометричні величини характеризують випромінювання, що потрапляє на певний селективний приймач. Якщо таким приймачем є людське око, ці величини називають **світловими**, а їх сукупність утворює систему світлових величин.

Енергія оптичного випромінювання має ту саму розмірність, що й будь-яка інша форма енергії, і вимірюється в джоулях. У практичних випадках частіше розглядають не саму енергію випромінювання, а його потужність — тобто потік випромінювання. Поток випромінювання Φ називають кількістю енергії, що переноситься за одиницю часу:

$$W_e = \Phi = \frac{W}{t},$$

де W - енергія випромінювання за час t , Дж; t - проміжок часу, протягом якого випромінювання може бути прийнято рівномірним, с. Потік випромінювання вимірюється у ватах.

Енергію оптичного випромінювання W_e зазвичай називають променистою енергією. Якщо перенесення енергії здійснюється всією сукупністю довжин хвиль, що входять до складу

випромінювання, така енергія називається інтегральною і вимірюється в тих самих одиницях, що й інші види енергії — джоулях або електрон-вольтах.

Загальна потужність, яку переносить електромагнітне випромінювання незалежно від його спектрального складу, у світлотехніці називається потоком випромінювання або променистим потоком, позначається F_e і вимірюється у ватах:

$$F_e = W_e/t$$

Світловий потік - це потік випромінювання, оцінений з урахуванням його впливу на людське око. Відносна спектральна чутливість ока визначається усередненою кривою спектральної ефективності, затвердженою Міжнародною комісією з освітлення (МКО) (див. рис. 2.2).

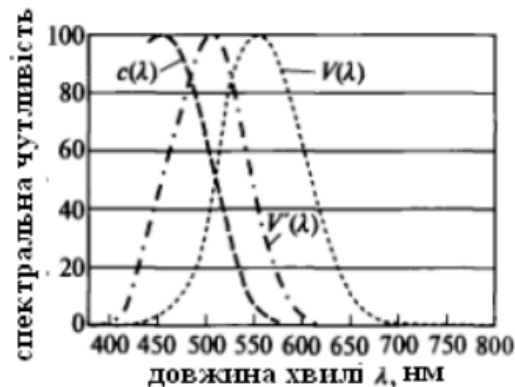


Рис. 2.2 – Функція спектральної світлової ефективності для денного $v(\lambda)$, нічного $v'(\lambda)$ зору і пригнічення мелатоніна $c(\lambda)$ (циркадна дія)

У світлотехніці також застосовується таке визначення: світловий потік — це потужність світлової енергії.

Одиницею вимірювання світлового потоку є люмен (лм). Один люмен відповідає потоку світла, який випромінює точкове ізотропне джерело з силою світла 1 кандела (кд) у одиничний тілесний кут.

Енергія випромінювання визначається кількістю квантів, що випромінюються джерелом у навколишній простір. Променеву енергію вимірюють у джоулях, а кількість цієї енергії, випроміненої за одиницю часу, називають потоком випромінювання або променистим потоком. Потік випромінювання вимірюється у ватах і позначається символом Φ_e :

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$$

де Q_e - енергія випромінювання.

Потік випромінювання характеризується розподілом енергії як у часі, так і в просторі. Зазвичай, говорячи про розподіл потоку випромінювання в часі, не беруть до уваги його квантову природу. Під цим розуміють функцію, що описує зміну миттєвих значень потоку випромінювання $\Phi(t)$ у часі. Таке спрощення є прийнятним, оскільки кількість фотонів, які випромінює джерело за одиницю часу, надзвичайно велика.

Відповідно до спектрального розподілу потоку випромінювання, джерела поділяють на три основні типи:

- із лінійчатим спектром,
- із смугастим спектром,
- із суцільним спектром.

Потік випромінювання джерела з лінійчатим спектром складається з монохроматичних потоків, що відповідають окремим спектральним лініям:

$$\Phi_e = \Phi_{\lambda_1} + \Phi_{\lambda_2} + \dots + \Phi_{\lambda_n}$$

де Φ_{λ} - монохроматичний потік випромінювання; Φ_e - потік випромінювання.

У джерел зі смугастим спектром, випромінювання відбувається в межах досить широких ділянок спектра - смуг, відділених одна від другої темними проміжками.

Сила світла. Випромінювання реального джерела розподіляється в просторі нерівномірно, тому світловий потік не може повністю описати його властивості без урахування напрямку поширення випромінювання.

Щоб охарактеризувати, як світловий потік розподіляється за різними напрямками, використовують поняття просторової щільності світлового потоку.

Під просторовою щільністю світлового потоку розуміють відношення світлового потоку до тілесного кута, вершина якого знаходиться в точці розташування джерела і в межах якого цей потік розподілений рівномірно. Цю величину називають силою світла:

$$I = \frac{d\Phi}{dw}$$

де Φ - світловий потік; w - тілесний кут.

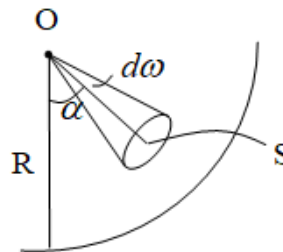


Рис. 2.3 – Сила світла

Одиницею вимірювання сили світла є кандела (кд) - $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$. Кандела визначається як сила світла, що випромінюється у перпендикулярному напрямку від елемента поверхні чорного тіла площею $1/600000 \text{ м}^2$, нагрітого до температури затвердіння платини.

Освітленість - під освітленістю розуміють кількість світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні. Вона позначається літерою E і вимірюється в люксах (лк). Один люкс відповідає одному люмену світлового потоку, розподіленому на один квадратний метр поверхні ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/\text{м}^2$). Отже, освітленість можна визначити як щільність світлового потоку, який потрапляє на освітлювану поверхню:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

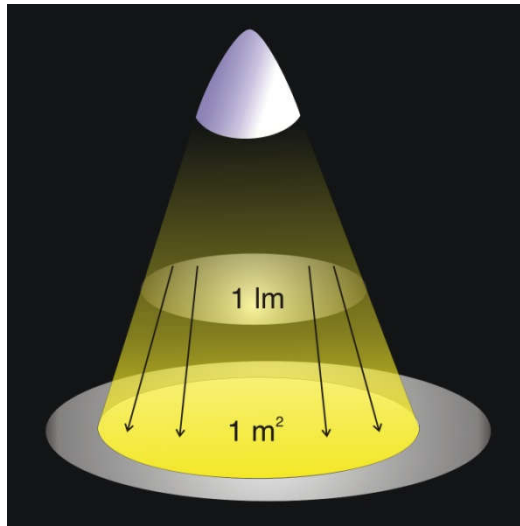


Рис. 2.4 – Освітленість

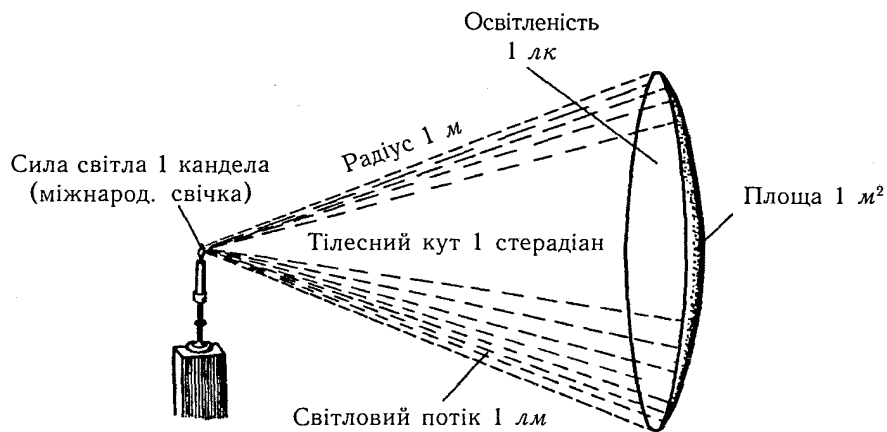


Рис. 2.5 – Схема, що пояснює деякі основні світлотехнічні одиниці

Для опису поверхонь, які світяться завдяки світловому потоку, що проходить через них або відбивається від них, використовують величину, що визначається як відношення світлового потоку, випромінюваного елементом поверхні, до площі цього елемента. Цю характеристику називають світністю.

Світність - це щільність світлового потоку, який випромінює світлова поверхня (яка випромінює, відбиває або пропускає світловий потік). Одиницею світності є люмен на квадратний метр поверхні, що відповідає поверхні площею 1 м^2 , яка рівномірно випромінює світловий потік 1 лм . Для опису загального випромінювання вводять поняття енергетичної світності випромінюючого тіла (M_e).

$$M = \frac{d\Phi}{dS}$$

Її одиницею вимірювання є ват на квадратний метр (Вт/м^2).

Для порівняльної оцінки наводимо енергетичні світності до світності деяких поверхонь:

Поверхня сонця - $M_e = 6 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$;

Нитка лампи розжарювання - $M_e = 2 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$;

Поверхня сонця в зеніті - $M = 3,1 \cdot 10^9 \text{ лм/м}^2$;

Колба люмінесцентної лампи - $M = 22 \cdot 10^3 \text{ лм/м}^2$.

Яскравість — це сила світла, що випромінюється одиницею площі поверхні в заданому напрямку. Одиницею вимірювання яскравості є кандела на квадратний метр (кд/м²). Поверхня може самостійно випромінювати світло, як, наприклад, лампа, або відбивати світло, що падає на неї від іншого джерела, наприклад, дорога. При однаковій освітленості поверхні з різними властивостями відображення матимуть різну яскравість.

У практиці використовувані джерела оптичного випромінювання зазвичай створюють складний потік, що складається з випромінювань різних довжин хвиль. Спектральний розподіл потоку випромінювання джерела з суцільним спектром можна зобразити у прямокутній системі координат, де по осях відкладають потік випромінювання та довжину хвилі (див. рис. 2.6, а).

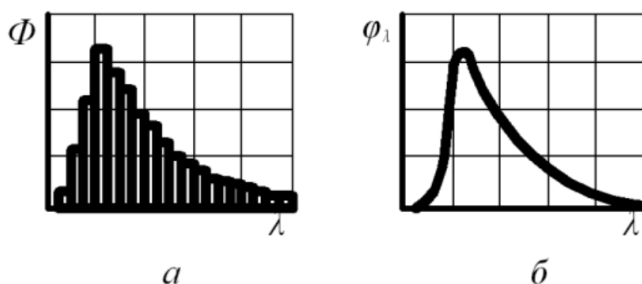


Рис. 2.6 – Спектральний розподіл потоків випромінювання із загальним спектром (а) та спектральна щільність потоку випромінювання (б)

Значення потоку випромінювання зазвичай зображують у вигляді прямокутників шириною $\Delta\lambda$ і висотою, що відповідає інтенсивності однорідного потоку на цій ділянці. Однак такий графік незручний у використанні і має лише приблизний, умовний характер.

На практиці розподіл випромінювання по спектру визначають за допомогою спектральної щільності потоку випромінювання. Спектральна щільність ϕ_λ (Вт·нм⁻¹) чисельно дорівнює відношенню однорідного потоку $\Delta\Phi$ до ширини спектральної смуги $\Delta\lambda$, в межах якої вимірювався цей потік:

$$\phi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda}$$

Функцію спектральної щільності потоку випромінювання зазвичай зображують у прямокутній системі координат (див. рис. 2.6, б). Інтегруючи цю функцію в межах оптичної частини спектру, можна отримати загальне значення потоку випромінювання (Вт) даного джерела:

$$\Phi = \int_{\lambda=1,0\text{ мм}}^{\lambda=1,0\text{ мм}} \phi(\lambda) d\lambda$$

Функція спектральної щільності потоку випромінювання є основною характеристикою джерела енергії, оскільки дозволяє оцінити як спектральний склад випромінювання, так і його інтенсивність. Вона може бути представлена у вигляді графіка або таблиці, де значення спектральної щільності зазвичай наводяться через інтервал 10 нм. Загальний потік випромінювання можна визначити як площу під кривою $\phi(\lambda)$ на графіку відносно осі абсцис при відомих масштабах координат.

Щільність випромінювання - визначається як відношення потоку випромінювання до площі поверхні, що його випромінює (Вт·м⁻²):

$$R = \frac{d\Phi}{dS_\sigma}$$

де dS_g - площа поверхні випромінюючого тіла, в межах якої випромінювання можна вважати рівномірним.

Важливою для розрахунків величиною є опроміненість (щільність опромінення).

Опроміненість — це фізична величина, яка характеризує кількість енергії випромінювання, що падає на одиницю площі поверхні за одиницю часу. Іншими словами, опроміненість показує, наскільки інтенсивно випромінювання діє на поверхню, тобто скільки енергії воно передає кожному квадратному метру за секунду. Одиниця вимірювання: ват на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$):

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dS}$$

Різниця між цими величинами полягає в тому, що щільність випромінювання характеризує саме випромінювач, тоді як опромінення стосується опромінюваної поверхні.

Оскільки процес перетворення випромінювання в інші види енергії залежить не лише від величини опромінення і спектрального складу випромінювання, а й від тривалості впливу, важливою характеристикою є величина, яка називається кількістю опромінення.

Кількість опромінення H - визначає енергію випромінювання, що припадає на одиницю опромінюваної поверхні протягом певного часу впливу. У загальному випадку вона обчислюється за формулою ($\text{Вт}\cdot\text{с}/\text{м}^2$):

$$H = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon_i dt$$

де ε_i - миттєве значення опромінення; t_1, t_2 - відповідно час початку і кінця опромінення.

2.2. Загальні підходи до побудови ефективних величин у світлотехніці та фітобіології

При проектуванні світлотехнічної установки необхідно враховувати не лише властивості джерела світла, а й характеристики приймачів випромінюваної енергії. Головними енергетичними параметрами будь-якого приймача є його інтегральна та спектральна чутливість.

Інтегральна чутливість приймача — це його здатність сприймати складне випромінювання, визначається як відношення ефективної частини енергії до загальної енергії випромінювання, що падає на приймач. Загалом інтегральна чутливість g може бути виражена наступним співвідношенням:

$$g = C \frac{W_e}{W}$$

де W_e - ефективна енергія випромінювання, тобто енергія яка перетворюється в приймачі в інший корисний вид енергії; W - вся енергія випромінювання, що падає на приймач; C - коефіцієнт, що визначається вибором одиниць вимірювання величини W_e .

Більшість приймачів характеризується вибірковістю у поглинанні енергії випромінювання та у реакції на поглинуту енергію. Для оцінки чутливості приймача до монохроматичного випромінювання вводять поняття спектральної чутливості, яка визначається як відношення ефективного потоку, що сприймається приймачем, до повного потоку, що на нього падає:

$$g_{\lambda} = C \frac{dF_{\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}$$

де dF_{λ} - ефективний потік монохроматичного випромінювання на даній довжині хвилі, а $d\Phi_{\lambda}$ - повний потік випромінювання тієї ж довжини хвилі. Значення dF_{λ} відображає реакцію конкретного приймача на падаюче випромінювання, тому його вимірюють у відповідних одиницях. Наприклад, для фотоелемента dF_{λ} може бути виражено в амперах, що характеризують фотоефект, а для фотохімічних приймачів - кількістю речовини, що вступає в реакцію за одиницю часу. Відповідно, спектральна чутливість вимірюється чисельно у таких одиницях, як $\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, $\text{А} \cdot \text{Вт}^{-1}$ тощо.

Спектральна чутливість. Графічне зображення спектральної чутливості вибіркового приймачів випромінювання представляє собою криву $g(\lambda) = f(\lambda)$, яка має максимум у певних ділянках спектра. Якщо цей максимум прийняти за одиницю, спектральну чутливість приймача для випромінювання з конкретною довжиною хвилі можна виразити як відносне значення, що показує частку від максимальної величини:

$$K(\lambda) = \frac{g(\lambda)}{(g_{\lambda})_{\max}}$$

Знання потоку випромінювання конкретного джерела або створеного ним опромінення в енергетичних одиницях саме по собі ще не дозволяє точно передбачити ефект його впливу на приймач випромінювання. Щоб оцінити та розрахувати результат дії відомого потоку випромінювання на приймач, необхідно враховувати реакцію самого приймача на це випромінювання.

Для спрощення розрахунків і кількісної оцінки процесу перетворення енергії випромінювання введено поняття ефективного потоку. Під ним розуміють потужність випромінювання, оцінену з точки зору реакції приймача енергії випромінювання.

Суть цього поняття можна проілюструвати на прикладі: на рис. 2.7,а, показано функцію спектральної щільності випромінювання джерела. Для спрощення розрахунків прийнято, що $\phi(\lambda) = \text{const}$ у межах певної ділянки спектра. Площі фігур а, б, в, г у відповідному масштабі відображають значення потоку випромінювання джерела.

Відносна спектральна чутливість приймача наведена на рис. 2.7,б. Виділимо на графіку $\phi(\lambda)$ рівні потоку випромінювання $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$.

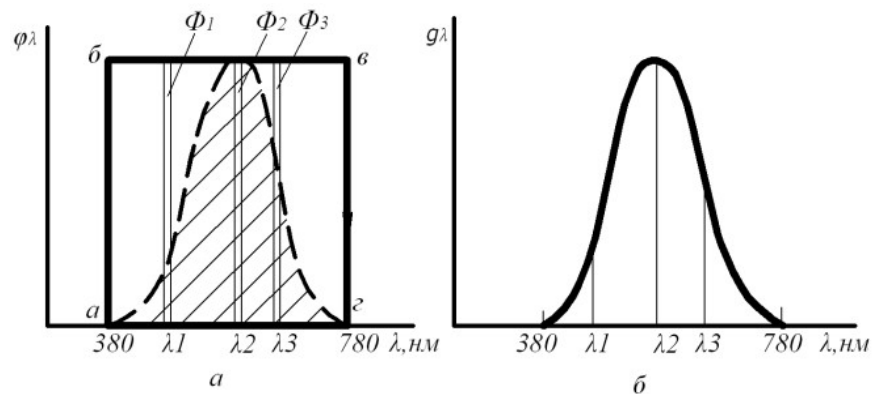


Рис. 2.7 – До пояснення «ефективний потік випромінювання»

Чи викличе однакова за енергією дія на приймач однакову його реакцію? Насправді реакція приймача визначається добутком потоку монохроматичного випромінювання на спектральну чутливість приймача при конкретній довжині хвилі. Саме ця величина і називається ефективним потоком — потоком випромінювання, оціненим з урахуванням

реакції приймача на нього:

$$F_1 = \Phi_1 g_{\lambda 1}; \quad F_2 = \Phi_2 g_2; \quad F_3 = \Phi_3 g_{\lambda 3}$$

У нашому прикладі спостерігається співвідношення $F_1 < F_2 > F_3$. Помноживши значення $\phi(\lambda)$ на відповідні їм значення $g(\lambda)$, на графіку (рис. 2.7, а) отримуємо нову криву. Площа, обмежена цією кривою та віссю абсцис, відображає величину ефективного потоку даного джерела. Таким чином, для випромінювання з неперервним спектром чисельне значення ефективного потоку можна визначити за формулою:

$$F = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \phi(\lambda) g(\lambda) d(\lambda)$$

З цього рівняння випливає, що значення ефективного потоку одного і того ж випромінювання відрізняються для різних приймачів. За інших рівних умов вони визначаються спектральною чутливістю конкретного приймача.

Одиниці вимірювання ефективного потоку залежать від типу приймача та способу його реакції (наприклад, струм у колі фотоелемента або швидкість фотохімічної реакції). Важливо відзначити, що для деяких приймачів, насамперед біологічних, неможливо встановити міру реакції або її безпосередньо виміряти.

Ефективний потік оцінюється рівнем реакції приймача і саме цим відрізняється від потоку випромінювання. Це дозволяє створювати системи ефективних величин за аналогією з системою енергетичних величин. Однак через різноманітність приймачів з різними залежностями чутливості неможливо мати єдину універсальну систему ефективних величин. Водночас число таких систем не повинно бути надто великим, щоб не ускладнювати практичні розрахунки.

На сьогодні в проектуванні та розрахунках освітлювальних і опромінювальних установок використовують чотири системи ефективних величин. Кожна система будується на основі спектральної чутливості одного приймача, близького за спектральною характеристикою до інших приймачів цієї групи. Такий приймач називають еталонним, якщо він відповідає наступним вимогам:

- реагує на будь-які однорідні випромінювання в межах спектрального діапазону, що охоплює криві спектральної чутливості всіх приймачів даної групи;
- його реакція на опромінення може бути виміряна безпосередньо або непрямо;
- ефективні величини системи, побудованої на основі еталонного приймача, є адитивними, тобто дозволяють обчислювати сумарний ефект шляхом простого складання окремих внесків.

Слід зауважити, що жодна із систем ефективних величин - бактерицидна, еритемна, світлова чи фіто - повністю не задовольняє всім перерахованим вимогам.

У практичних розрахунках освітлювальних систем часто виникає завдання визначити освітленість за відомою силою світла джерела. Розглянемо зв'язок між цими величинами.

Точкове джерело світла A (рис. 2.8) освітлює невеликий елемент площі dS на поверхні q . Сила світла джерела у напрямку до цього елемента дорівнює I_e . Кут між нормаллю до елемента поверхні та напрямком сили світла позначено як β . Елементарний тілесний кут $d\omega$, у межах якого світловий потік падає на майданчик dS , можна знайти, використовуючи базові геометричні співвідношення:

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2}$$

Тоді світловий потік, падаючий на майданчик dS ,

$$dF = I_d d\omega = \frac{I_d dS \cos \beta}{l^2}$$

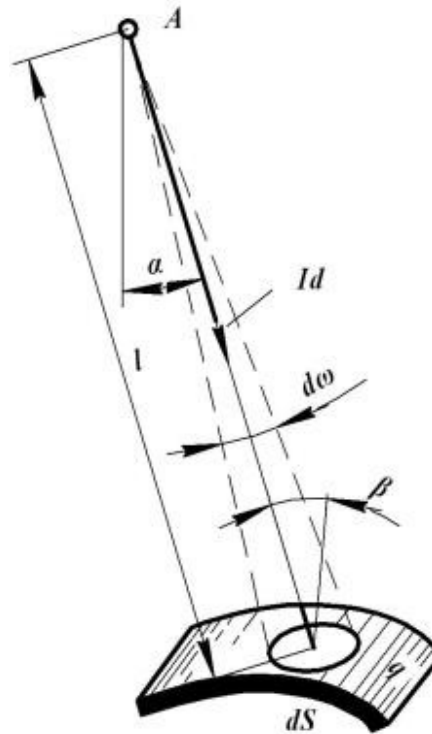


Рис. 2.8 – До висновку відношення між силою світла і освітленістю

Освітленість майданчика dS отримаємо за висловом:

$$E = \frac{dF}{dS} = \frac{I_d \cos \beta}{l^2}$$

Отже, освітленість у даній точці поверхні прямо пропорційна силі світла джерела та косинусу кута між напрямком світлового потоку і нормаллю до поверхні, а також обернено пропорційна квадрату відстані від джерела до точки.

Для оцінки енергії випромінювання в ультрафіолетовій частині спектра застосовують системи ефективних величин: бактерицидну та еритемну. В якості еталонного приймача енергії для бактерицидної системи обрані бактерії, спектральна чутливість яких до випромінювання різних довжин хвиль відома. Відносна бактерицидна ефективність однорідних випромінювань показана графічно на рис. 2.9.

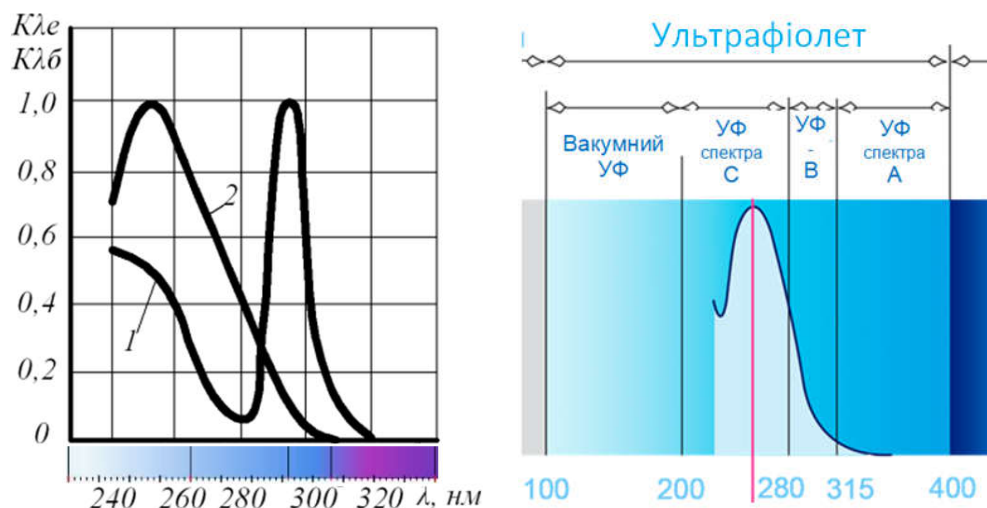


Рис. 2.9 – Спектр дії ультрафіолетового випромінювання: 1 - спектр еритемної дії УФ випромінювання; 2- спектр бактерицидної дії УФ випромінювання.

Бактерії проявляють максимальну чутливість до монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 254$ нм, тобто найефективніше їх знищує саме випромінювання цієї довжини хвилі.

У системі бактерицидних величин базовою характеристикою є бактерицидний потік — це потік випромінювання, оцінений за його здатністю знищувати бактерії, тобто за бактерицидною ефективністю.

$$\Phi_B = \int_{\lambda=200\text{нм}}^{\lambda=300\text{нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_B d\lambda$$

Одиницею бактерицидного потоку прийнято вважати бакт, що чисельно дорівнює випромінюванню потужністю 1 Вт при довжині хвилі $\lambda = 254$ нм. У практичних розрахунках часто використовують меншу одиницю — мікробакт (мкб), яка становить $1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}$ бакт.

Щільність бактерицидного потоку на поверхні опромінюваного тіла називають бактерицидним опроміненням і виражають у одиницях бакт на квадратний метр ($\text{б} \cdot \text{м}^{-2}$) або мікробакт на квадратний метр ($\text{мкб} \cdot \text{м}^{-2}$).

$$E_B = \frac{d\Phi_B}{dS}$$

Таким чином, бактерицидний потік — це потік ультрафіолетового випромінювання (УФ) у діапазоні довжин хвиль від 200 до 280 нм, який має здатність знищувати або пригнічувати життєдіяльність мікроорганізмів, таких як бактерії, віруси, спори грибів тощо. Основна дія такого випромінювання полягає в пошкодженні ДНК клітин, що призводить до їх загибелі або втрати здатності до розмноження.

У практиці бактерицидне випромінювання створюється за допомогою спеціальних ламп, які випромінюють УФ-промені з довжиною хвилі приблизно 253,7 нм, що є найбільш ефективною для знезараження повітря, води, поверхонь та біологічних об'єктів.

Сила бактерицидного потоку — це кількість бактерицидного випромінювання, яке випромінюється джерелом в певному напрямку в одиницю тілесного кута. Вона є аналогом сили світла у фотометрії, але враховує саме енергію в бактерицидному діапазоні спектра:

$$I_b = \frac{d\Phi_b}{d\Omega},$$

де I_b - сила бактерицидного потоку (Вт/ср), $d\Phi_b$ - елементарний бактерицидний потік випромінювання (Вт), $d\Omega$ - тілесний кут (ср).

Ця величина показує, наскільки інтенсивно джерело випромінює бактерицидну енергію в певному напрямку.

У сільському господарстві бактерицидне випромінювання має важливе санітарно-гігієнічне значення, оскільки використовується для:

- знезараження повітря та поверхонь у тваринницьких приміщеннях,
- обробки яєць, кормів, води перед використанням,
- дезінфекції теплиць і сховищ рослинницької продукції,
- зменшення поширення бактеріальних і вірусних захворювань серед тварин і птиці.

Кількість бактерицидного потоку, що досягає поверхні, визначається як:

$$E_b = \frac{d\Phi_b}{dA},$$

де E_b - бактерицидна опроміненість (Вт/м²), dA - площа опромінюваної поверхні (м²).

Для ефективного знезараження у тваринницьких приміщеннях використовують опроміненість у межах 1^{-10} Вт/м² залежно від виду мікроорганізмів, тривалості впливу та відстані від джерела.

Бактерицидний потік є важливою характеристикою ультрафіолетового випромінювання, що визначає його знезаражувальну дію. У сільському господарстві контроль сили та кількості бактерицидного потоку дозволяє забезпечити санітарну безпеку, підвищити продуктивність тварин і зменшити ризик інфекційних захворювань, сприяючи екологічно безпечному виробництву продукції.

Еритемний потік — це потік ультрафіолетового випромінювання, здатного викликати еритему (почервоніння шкіри) у людини та тварин при опроміненні. Цей ефект зумовлений дією ультрафіолетового спектра з довжинами хвиль від 280 до 320 нм (діапазон UV-B).

Еритемний потік характеризує енергетичну інтенсивність випромінювання, яке має біологічну дію на шкіру або тканини організмів. Він визначається як:

$$\Phi_{ep} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{\lambda} \cdot S_{ep}(\lambda) d\lambda,$$

де Φ_{λ} - спектральний потік випромінювання при довжині хвилі λ , $S_{ep}(\lambda)$ - спектральна еритемна дія (відносна ефективність випромінювання для викликання еритеми), λ_1 , λ_2 - межі еритемного діапазону. Одиниця вимірювання - ват (Вт).

В аграрній практиці еритемний потік враховується при штучному опроміненні тварин, особливо в зимовий період, для стимулювання обмінних процесів, підвищення імунітету та покращення фізіологічного стану організмів.

У рослинництві використовуються різні види оптичного (електромагнітного) випромінювання, які впливають на фотосинтез, ріст, цвітіння та розвиток рослин. Основними фізичними величинами, що описують ці процеси, є: потік випромінювання (Φ), опроміненість (E), та:

Спектральна густина потоку випромінювання (Φ_{λ}) - характеризує розподіл енергії випромінювання за довжиною хвилі.

$$[\Phi_{\lambda}] = \text{Вт/м}$$

Фотосинтетично активне випромінювання (ФАВ) - частина сонячного спектра з довжинами хвиль від 400 до 700 нм, яку рослини використовують у процесі фотосинтезу. Вимірюється у мкмоль квантів/(м²·с) - кількість фотонів, що потрапляють на поверхню за секунду.

$$1 \text{ мкмоль квантів}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 6,022 \times 10^{17} \text{ фотонів}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

Яскравість (L) - потік випромінювання, що випромінюється або відбивається одиницею площі в певному напрямку.

$$[L] = \text{Вт}/(\text{м}^2)$$

Таблиця 2.1 – Одиниці вимірювання в рослинництві

Величина	Позначення	Одиниця вимірювання	Фізичний зміст
Потік випромінювання	Φ	Вт	Енергія випромінювання за час
Опроміненість	E	Вт/м²	Щільність потоку енергії на поверхні
Фотосинтетично активна опроміненість	PPFD	мкмоль квантів/(м²·с)	Кількість фотонів ФАВ, що досягають рослини
Еритемна опроміненість	E _{ер}	Вт/м²	Енергія випромінювання, що викликає еритему
Спектральна густина потоку	Φ _λ	Вт/(м·м²)	Розподіл енергії за спектром

Еритемний потік є важливою характеристикою ультрафіолетового випромінювання, що має біологічну дію на живі організми. У рослинництві основними оптичними параметрами є потік, опроміненість і фотосинтетично активна радіація, які визначають енергію, доступну для фотосинтезу та розвитку рослин. Контроль і оптимізація цих параметрів дають змогу підвищити врожайність, поліпшити якість продукції та забезпечити стабільні умови росту культур у штучно освітлених середовищах.

Питання для самоперевірки

1. Що означають поняття "потік випромінювання", "сила випромінювання", "опроміненість", "кількість опромінення"?
2. Які ви знаєте енергетичні величини і одиниці їх вимірювання?
3. Які існують системи ефективних величин на основі спектральної чутливості, для яких приймачів вони побудовані?
4. Які ви знаєте величини і одиниці вимірювання видимого випромінювання?
5. Які ви знаєте величини і одиниці вимірювання вітального випромінювання?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису основних величини та одиниць вимірювання оптичного випромінювання.

2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему:

- Основні величини ультрафіолетового випромінювання і одиниці його вимірювання.
- Еритемний потік і яку біологічну дію він має на живі організми.

ТЕМА №3. ПРИЛАДИ ТА МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з приладами та методами вимірювання оптичного випромінювання, їх фізичних принципів роботи, призначення та області застосування, а також ознайомлення з практичними підходами до оцінки характеристик світлових джерел.

Анотація

В темі розглядаються основні прилади та методи вимірювання оптичного випромінювання. Представлено класифікацію вимірювальних пристроїв, описано принципи їхньої роботи та основні характеристики, що визначають точність і застосовність у різних умовах. Окрему увагу приділено методам визначення світлового потоку, інтенсивності, спектрального складу та освітленості, а також практичним підходам до їх використання в наукових дослідженнях та промислових застосуваннях. Тема забезпечує теоретичну та практичну основу для подальшого вивчення оптичного випромінювання та його вимірювань.

Keywords: optical radiation, light measurement, luxmeter, photometric instruments, radiometric instruments, optical sensors, measurement methods.

План лекції

1. Оптичні властивості тіл.
2. Приймачі оптичного випромінювання: класифікація, принципи дії та конструкція
3. Люксметри.
4. Прилади для вимірювання ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання в сільському господарстві
5. Оброблення результатів вимірювань оптичного випромінювання

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

3.1. Оптичні властивості тіл

У світлотехнічних та опромінювальних установках і приладах для вимірювання оптичного випромінювання використовують різні матеріали — як прозорі, так і непрозорі. Під час проєктування та експлуатації таких установок важливо враховувати основні оптичні (світлотехнічні) властивості матеріалів.

Оптичний потік, що падає на непрозоре тіло, частково поглинається ним і частково відбивається. У разі прозорого матеріалу, окрім відбиття та поглинання, частина потоку проходить крізь нього. Для кількісної оцінки цих процесів використовуються відповідні

коефіцієнти відбиття, поглинання та пропускання.

Коефіцієнт відбиття ρ визначається як відношення потоку випромінювання Φ_ρ , що відбився від тіла, до потоку випромінювання Φ , який падає на нього:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}$$

Коефіцієнт поглинання α визначається як відношення потоку випромінювання Φ_α , поглиненого тілом, до потоку випромінювання, що падає на нього:

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}$$

Коефіцієнт пропускання τ визначається як відношення потоку випромінювання Φ_τ , що проходить через тіло, до потоку випромінювання, який на нього падає:

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}$$

Коефіцієнти відбиття, поглинання та пропускання можуть визначатися для інтегрального потоку випромінювання, для потоків окремих ділянок спектру (видимого, ультрафіолетового, інфрачервоного) або для ефективних потоків (світлового, еритемного, бактерицидного тощо). Згідно із законом збереження енергії, у всіх випадках справедливо:

$$\Phi = \Phi_\rho + \Phi_\alpha + \Phi_\tau$$

Більшість матеріалів відбиває та поглинає випромінювання вибірково, тобто їхні коефіцієнти відбиття та поглинання залежать від довжини хвилі. Тому застосовують поняття спектральних коефіцієнтів відбиття ρ_λ , поглинання α_λ і пропускання τ_λ . Аналітично вони визначаються такими виразами:

$$\rho_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\rho}}{\Phi_\lambda}; \quad \alpha_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\alpha}}{\Phi_\lambda}; \quad \tau_\lambda = \frac{\Phi_{\lambda\tau}}{\Phi_\lambda},$$

де Φ_λ , $\Phi_{\lambda\rho}$, $\Phi_{\lambda\alpha}$, $\Phi_{\lambda\tau}$ - монохроматичні потоки випромінювання, відповідно падаючі, відбиті, поглинені і пропущені.

Залежно від характеристик поверхні та внутрішньої структури тіла, відбитий і пропущений ним потік випромінювання може розподілятися в просторі по-різному. Виділяють три типи відбиття та пропускання: 1) спрямоване, 2) розсіяне (дифузне) та 3) спрямовано-розсіяне (рис. 3.1).

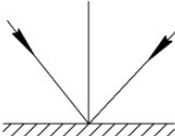
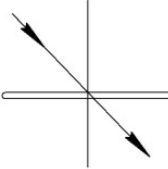
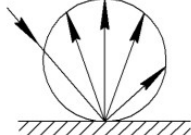
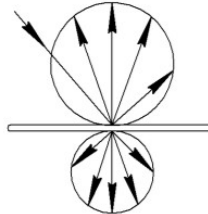
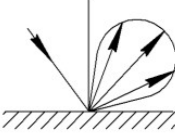
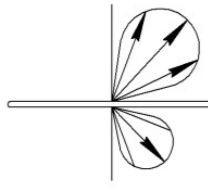
	Відображення	Пропускання
Спрямоване		
Розсіяне		
Направлено-розсіяне		

Рис. 3.1 – Різновидності відбивання і пропускання потоку оптичного випромінювання

Спрямоване (дзеркальне) відбиття характерне для гладких поверхонь, у яких нерівності значно менші за довжину хвилі падаючого випромінювання (наприклад, полірований метал або дзеркальне скло). При такому відбитті кут відбиття дорівнює куту падіння, а відбитий промінь лежить у тій самій площині, що й падаючий, і перпендикуляр до поверхні в точці падіння. Ідеальні дзеркала світяться лише в напрямку відбитого променя, тоді як у всіх інших напрямках їх яскравість дорівнює нулю. Аналогічно, при спрямованому пропусканні пройдений потік поширюється в межах того ж тілесного кута, що й падаючий.

У випадку розсіяного (дифузного) відбиття або пропускання плоска поверхня поширює потік випромінювання рівномірно в півсферу, тобто тілесний кут досягає 2π . Відображене або пройдене випромінювання розподіляється рівномірно, і яскравість поверхні практично однакова у всіх напрямках. Для поверхонь з розсіяним відбиттям (наприклад, гіпс, фарба) нерівності значно перевищують довжину хвилі світла, а дифузне пропускання характерне для молочного скла. Рівномірне розсіювання забезпечується наявністю у матеріалі частинок із різними показниками заломлення.

У природі немає матеріалів із ідеально дзеркальним або ідеально дифузним відбиттям чи пропусканням. Зазвичай обидва види відбиття або пропускання присутні одночасно. У освітлювальних та опромінювальних приладах застосовують матеріали з направлено-розсіяним відбиттям і пропусканням.

3.2. Приймачі оптичного випромінювання: класифікація, принципи дії та конструкція

Приймачі оптичного випромінювання поділяються на три основні групи залежно від фізичних процесів, що лежать в основі їх роботи: фотоелектричні, фотоелектронні та теплові.

Фотоелектричні приймачі (фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, напівпровідникові фотоелементи із закриваючим шаром) працюють на основі внутрішнього

фотоефекту і належать до напівпровідникових приладів. Внутрішній фотоефект проявляється у зміні провідності матеріалу під дією світлового випромінювання.

Фотодіоди представляють собою структуру, в якій при поглинанні фотона утворюється пара «електрон–дірка». Виникаюча різниця потенціалів пропорційна потоку випромінювання (див. рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Зображення фотодіода



Рис. 3.3 – Зображення фототранзистору

Фототранзистори — це структури, у яких базова область піддається опроміненню світлом. Вони виконують роль підсилювача фотоструму, завдяки чому їхня чутливість значно перевищує чутливість фотодіодів, але при цьому вони поступаються їм у швидкодії.

Фоторезистори — напівпровідникові елементи, чия електропровідність змінюється під дією світлового випромінювання. Завдяки здатності витримувати великі потужності розсіювання, фоторезистори можуть використовуватися для комутації значних струмів, наприклад, для включення електромагнітних реле.



Рис. 3.4 – Зображення фоторезисторів

Фотоелементи, що працюють на зовнішньому фотоефекті, зазвичай виготовляють у вигляді скляного балона, вакуумованого або заповненого газом, всередині якого розташовані анод і катод із фоточутливим шаром на внутрішній поверхні балона.

При освітленні фотокатода з нього вивільняються електрони, і при прикладанні анодної напруги від зовнішнього джерела виникає фотострум, пропорційний інтенсивності випромінювання. Такі фотоелементи мають великий внутрішній опір і працюють при високих напругах, що дозволяє використовувати їхні вихідні сигнали безпосередньо для керування виконавчими пристроями.

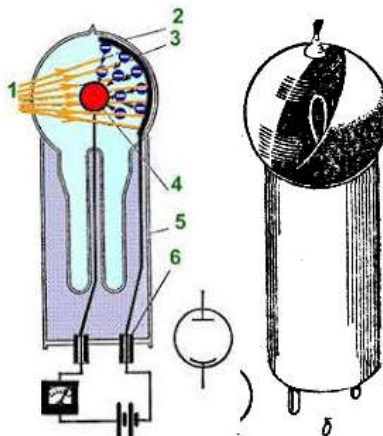


Рис. 3.5 – Зображення фотоелемента із зовнішнім фотоелементом

Фотоелемент із зовнішнім фотоелементом (рис. 5) розташований у скляній колбі 2, де підтримується вакуум (для вакуумного фотоелемента) або після відкачування повітря колбу заповнюють розрідженим газом, наприклад аргоном при низькому тиску (в іонних фотоелементах). Внутрішня поверхня колби, за винятком невеликого «вікна» для проходження світлового потоку 1, покрита фотокатодом 3, який представляє собою шар срібла з нанесеним напівпровідниковим оксидом цезію.

Анод 4 виконаний у формі кільця, щоб не перешкоджати проходженню світла до катода. Колбу встановлюють у пластиковому цоколі 5, в нижній частині якого розташовані контактні штирки 6 з виводами анода та катода.

Фотоелектронний помножувач (ФЕП) (рис. 3.6) — це прилад, який поєднує у одному балоні вакуумний фотоелемент і вторинний електронний підсилювач. Світловий потік, потрапляючи на фотокатод, вивільняє електрони, які прискорюються в електричному полі та фокусуються на емітерах (динодах). При ударі кожного прискореного електрона по диноду звільняється від 5 до 10 нових електронів. Фотоелектронні помножувачі зазвичай мають 9–14 динодів і здатні збільшувати загальну кількість фотоелектронів до 10^9 разів.



Рис. 3.6 – Зображення фотоелектронного помножувача

Проаналізувавши вимірювальні приймачі оптичного випромінювання, можна зробити висновок, що енергія світлового потоку вивільняє електрони кристалічної решітки матеріалу, підвищуючи його провідність.

На цьому явищі базується більшість розглянутих приймачів оптичного випромінювання, наприклад, дія фоторезисторів. Конструкція фоторезистора наведена на рис. 3.7, а.

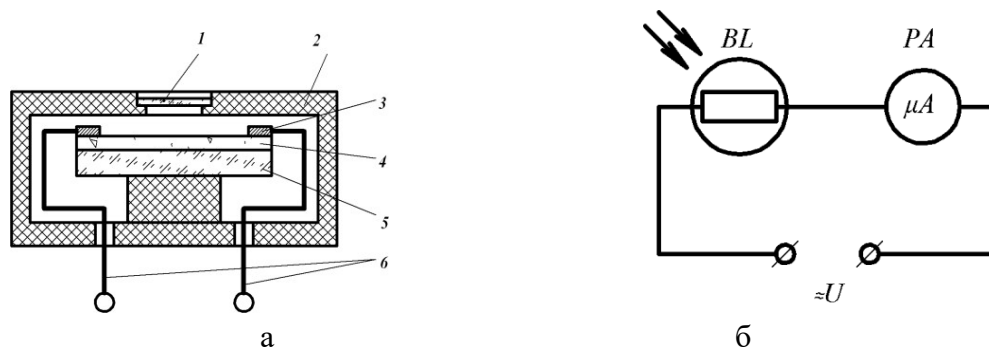


Рис. 3.7 – Конструкція (а) і схема включення фото резистора (б): 1 - захисний прозорий шар; 2 - корпус; 3 - електрод; 4 - шар напівпровідника; 5 - підкладка (ізолятор); 6 - виводи.

Фоторезистор може працювати як у колі постійного, так і змінного струму. Під впливом світлового випромінювання його провідність підвищується, що призводить до збільшення струму в колі. Спектральні характеристики деяких фоторезисторів показані на рис. 3.8.

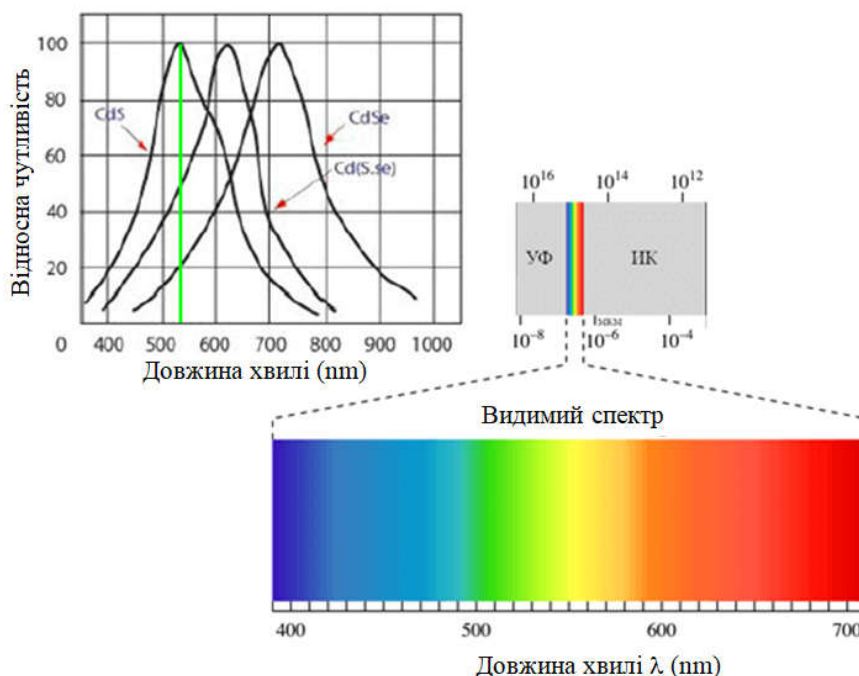


Рис. 3.8 – Спектри чутливості фоторезисторів

Пік чутливості звичайних фоторезисторів спостерігається при випромінюванні з довжиною хвилі 540–560 нм, що відповідає зеленому кольору. Для роботи в інфрачервоному спектрі, який невидимий для ока людини, використовують фоторезистори на основі сполук свинцю (PbS, PbSe), індію (InSb), а також германію (Ge) і кремнію (Si) з домішками.

На рис. 3.9 наведено графік спектральної чутливості інфрачервоних фотопровідних детекторів серії РВ45, у яких чутливий елемент виконаний із селеніду свинцю (PbSe).

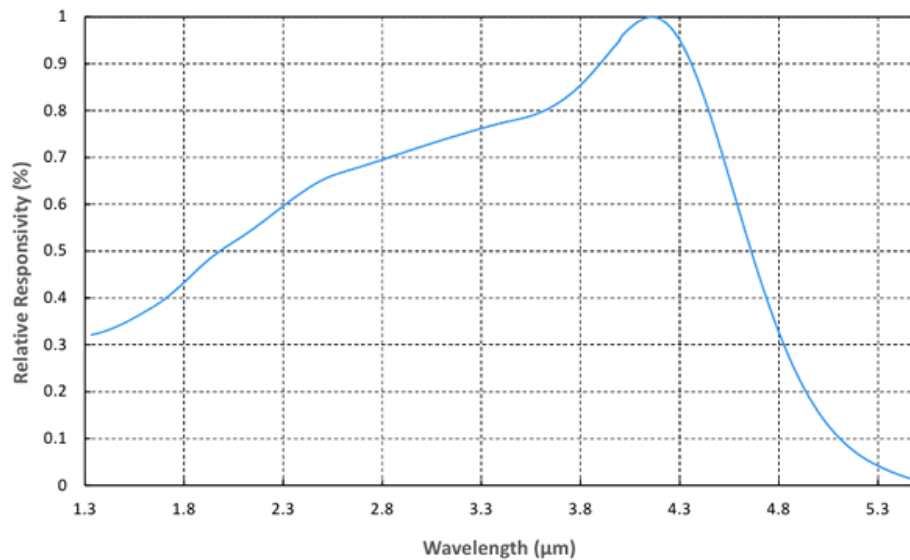


Рис. 3.9 – Спектральної чутливості інфрачервоних фотопровідних детекторів

Спектральна чутливість цих детекторів охоплює діапазон від 1 до 4,7 мкм, причому максимальна чутливість спостерігається при довжині хвилі 4 мкм.

Під дією оптичного випромінювання провідність напівпровідникових матеріалів у фотодіодах і фототранзисторах збільшується. При освітленні *p-n* переходів зростає зворотний струм приладу. Фотодіоди та фототранзистори застосовуються як датчики оптичного випромінювання в колах постійного струму, включених зустрічно по полярності до джерела живлення. На рис. 3. 10 показана схема вимірювача опроміненості з фотодіодом.

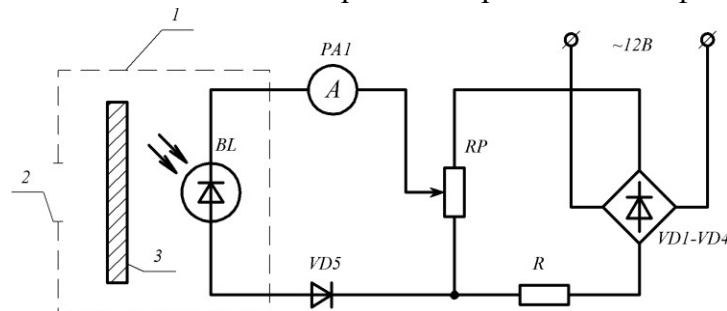


Рис. 3.10 – Схема вимірювача опроміненості з фотодіодом: BL - фотодіод ФД-6Г; RP - потенціометр; PA1 - мікроамперметр; R – обмежувачий опір; VD1...VD4 - випрямний міст; VD5 - блокуючий діод; 1 - корпус вимірювача; 2 – вікно; 3 - світлофільтр.

Зворотна провідність фотодіода в режимі, який показано на рис. 3.4 пропорційний опроміненості і не залежить від величини зовнішнього опору. Спектральні характеристики деяких фотодіодів приведено на рис. 3.11.

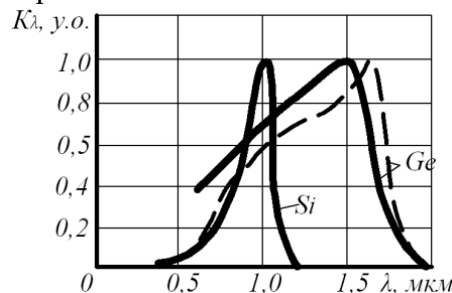


Рис. 3.11 – Спектри чутливості фотодіодів на основі германія (Ge) і кремнія (Si)

Фотоелементи з внутрішнім фотоэффектом характеризуються високою чутливістю до ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного випромінювання. Їхній поріг чутливості може досягати 10^{-11} Вт, проте вони мають певні недоліки: нелінійну залежність фотоструму від опромінення та значну чутливість характеристик приладу до зміни температури. Ці фактори ускладнюють застосування таких фотоелементів для точного вимірювання оптичного випромінювання.

Принцип дії фотоелементів із запираючим шаром ґрунтується на виникненні електрорушійної сили на електродах при дії оптичного випромінювання. Вентильний фотоелемент (рис. 3.12) складається зі струмопровідної підкладки 1, на яку нанесено шар напівпровідника 2 (оксид міді, селен, сірчисте срібло), та тонкого прозорого електрода 3 із срібла, золота або платини.

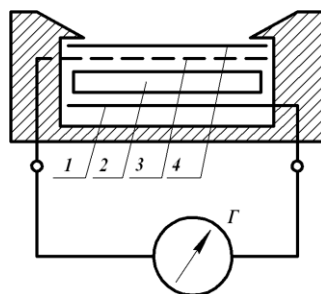


Рис. 3.12 – Вентильний фотоелемент

Для захисту напівпровідника від впливу навколишнього середовища фотоелемент поміщений в пластмасовий корпус і покритий шаром прозорого захисного лаку 4. При опроміненні фотоелемента електрони долають замикаючий шар, що утворився на границі напівпровідника 2 і електрода 3, причому зворотний перехід електронів зарахунок вентильних властивостей запираючого шару неможливий. Накопичення зарядів протилежного знаку на електродах створює різницю потенціалу, під дією якої в зовнішньому колі із вимірювальним приладом G тече струм.

У практиці вимірювання частіше за все використовуються селенові фотоелементи, спектральна чутливість яких до видимого випромінювання близька до чутливості очей людини.

Вентильні фотоелементи не потребують додаткового джерела живлення, мають значну чутливість, струм короткого замикання фотоелементів в певних межах майже пропорційний опроміненості і становить декілька десятків мікроампер, що дозволяє підключати їх безпосередньо до вимірювального приладу без попереднього підсилювача.

Визначивши основні вимірювальні приймачі оптичного випромінювання, розглянемо детально їх структуру та принцип дії. Розпочнемо з

Фотоелектронні приймачі (вакуумні фотоелементи, фотоумножувачі, електронно-оптичні перетворювачі) працюють на основі зовнішнього фотоэффекту. Зовнішній фотоэффект полягає у викиді електронів із матеріалу катода під впливом енергії оптичного випромінювання.

Катоди фотоелементів виготовляють з матеріалів, здатних поглинати випромінювання потрібного діапазону та випускати електрони під його дією.

Фотоелементи поділяються на вакуумні та газонаповнені. У вакуумних елементах фотострум утворюється потоком електронів, що залишають катод під дією випромінювання. У газонаповнених фотоелементах фотострум додатково підсилюється завдяки іонізації інертного газу всередині колби під дією електронів, що покинули катод.

На рис. 3.13 показано будову фотоелемента із зовнішнім фотоелементом та його схему включення.

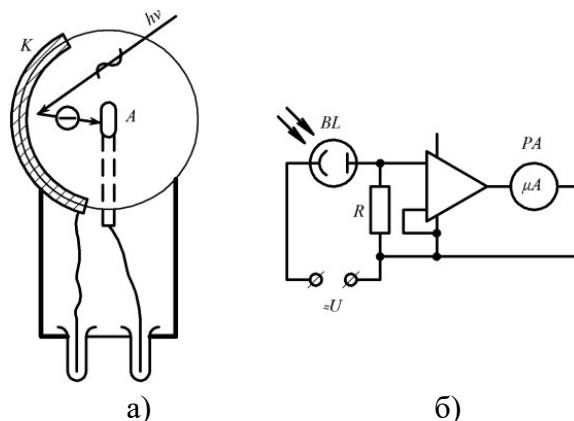


Рис. 3.13 – Фотоелемент із зовнішнім фотоелементом: а) конструкція; б) принципова електрична схема

Ефективний квант з певною енергією викидає електрон із катода К, який у електричному полі балона спрямовується до анода А, створюючи фотострум у зовнішньому колі. Величина фотоструму пропорційна числу таких ефективних квантів. Для досягнення того ж струму від квантів сусідніх частот необхідно більшу їх кількість. Кванти, частота яких виходить за межі чутливості фотоелемента, не викликають фотоструму, незалежно від своєї енергії.

Католи фотоелементів виготовляють із сполук срібла, цезію, сурми та кисню, які характеризуються низькою роботою виходу електронів. Реакція фотоелемента на випромінювання оцінюється фотострумом, тому його інтегральну чутливість K_f до джерела А вимірюють у А/лм.

Чутливість фотоелемента можна значно підвищити, заповнивши колбу інертним газом. Електрони, прискорені електричним полем у проміжку між електродами, вибивають з нейтральних молекул газу додаткові електрони, що збільшує фотострум.

Ще більший приріст чутливості досягається, якщо всередині колби встановити кілька додаткових електродів з поступово зменшеним потенціалом від анода до катода. Такі фотоелементи називають фотопомножувачами. На рис. 3.14 показано принципову схему їх включення.

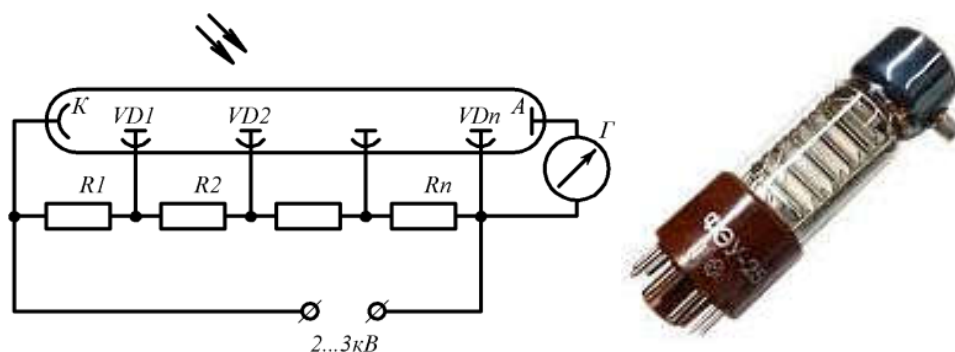


Рис. 3.14 – Принципова схема вмикання фотоумножувача: К - катод; $VD1 \dots VDi$ - діоди; А - анод; $R1 \dots Ri$ - резистори дільника; Г - вимірювальний прилад, гальванометр.

У колбі фотоумножувача, крім катода К та анода А, розташовані додаткові електроди — діоди VD. Катод поглинає оптичне випромінювання і випускає електрони у вакуум колби. У створеному електростатичному полі електрони прискорюються та фокусуються на першому діоді VD1. При ударі електронів по діоду утворюються вторинні електрони, число яких у кілька разів перевищує первинне. Потік електронів далі прискорюється і фокусується на наступному діоді. З останнього діода електрони збираються анодом.

Коефіцієнт посилення багатокаскадних фотоумножувачів (7–14 каскадів) може досягати 10^7 . Завдяки цьому вони надзвичайно чутливі і здатні реєструвати потоки випромінювання потужністю $10^{-12} \dots 10^{-15}$ Вт, що робить їх переважними у порівнянні з фотоелементами, де фотострум підсилюється окремо.

Фотоумножувачі застосовуються для вимірювання та реєстрації ультрафіолетового та видимого випромінювання. Вхідне вікно виготовляють зі сапфіру, кварцу, UV-скла або інших прозорих матеріалів у відповідному діапазоні хвиль. Напруга живлення фотоумножувача може сягати кількох кіловольт, тому робота з ним потребує обережності.

На рис. 3.15 показано спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом.

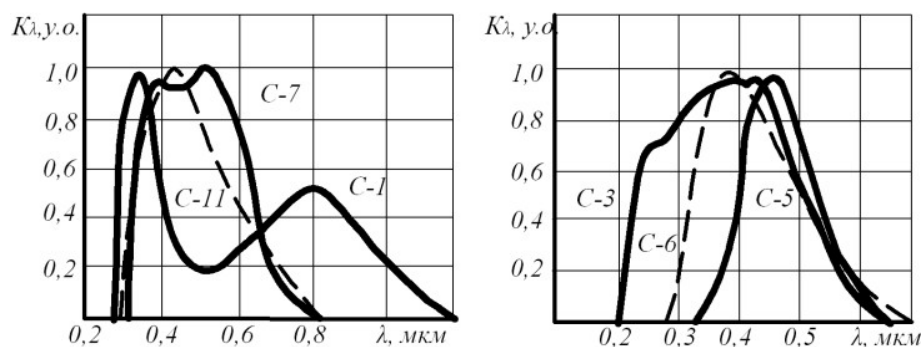


Рис. 3.15 – Спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом

Теплові приймачі випромінювання працюють за принципом перетворення поглиненої енергії у тепло, що призводить до зміни їх температури (див. рис. 3.16). Відповідно, вимірювання оптичного випромінювання зводиться до визначення температурної різниці, що виникає внаслідок поглинання енергії випромінювання приймачем.

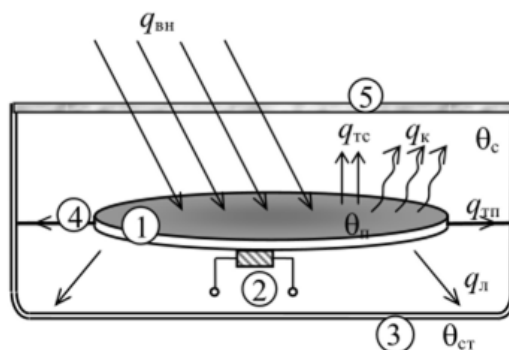


Рис. 3.16 – Тепловий приймач оптичного випромінювання: 1 - металевий диск; 2 - термоелектричний перетворювач; 3 - корпус; 4 - елементи кріплення; 5 - скляна кришка

Завдяки чорній поверхні диска майже весь оптичний потік, що падає на нього, поглинається і перетворюється на теплову енергію q_m . Після завершення теплового

перехідного процесу та встановлення стабільної температури диска виникає тепловий баланс між внесеним тепловим потоком і тепловими втратами (розсіюванням) у навколишнє середовище.

$$q_{\text{вн}} = q_{\text{тп}} + q_{\text{тс}} + q_{\text{к}} + q_{\text{л}},$$

де $q_{\text{тп}}$ - тепловий потік теплопровідності в навколишнє середовище через елементи кріплення диска і підключення термоелектричного перетворювача; $q_{\text{тс}}$ - тепловий потік теплопровідності в навколишнє середовище; $q_{\text{к}}$ - тепловий потік конвекції в навколишнє середовище; $q_{\text{л}}$ - тепловий потік теплообміну випромінюванням зі стінками корпусу перетворювача.

Стабільна температура диска (перетворювача) $\theta_{\text{п}}$ визначається величиною теплового потоку, що надходить від оптичного випромінювання, а також тепловими провідностями всіх видів теплообміну та температурами навколишнього середовища $\theta_{\text{с}}$ і стінок корпусу $\theta_{\text{ст}}$. Щоб забезпечити точне перетворення потоку оптичного випромінювання в температуру диска, необхідно мінімізувати теплові втрати (розсіювання) в навколишнє середовище.

Зменшення теплового потоку $q_{\text{тп}}$ досягається використанням для кріпильних елементів диска матеріалів з низькою питомою теплопровідністю; зниження теплових потоків $q_{\text{тс}}$ і $q_{\text{к}}$ — герметизацією корпусу та створенням вакууму всередині нього; зменшення теплового потоку $q_{\text{л}}$ — нанесенням дзеркального покриття на стінки корпусу.

Теплові приймачі класифікуються за способом перетворення енергії, що надходить на чутливий елемент, в електричний сигнал. За цим принципом їх поділяють на три групи:

1. Болметри — використовують зміну опору металів або напівпровідників при нагріванні;
2. Термоелектричні термометри (термоелементи) — ґрунтуються на виникненні термо-ЕРС між двома провідниками з різних сплавів при нагріванні;
3. Оптико-акустичні (пневматичні) приймачі — застосовують теплове розширення газу для реєстрації випромінювання.

Чутливий елемент болометра (рис. 3.17) представляє собою поглинаючу поверхню, у вигляді плівки, смужки або нитки. Конструктивно болометр звичайно виконують у вигляді двох однакових чутливих елементів, включених в плечі мостової схеми або в схему з навантажувальним опором (рис. 3.18).

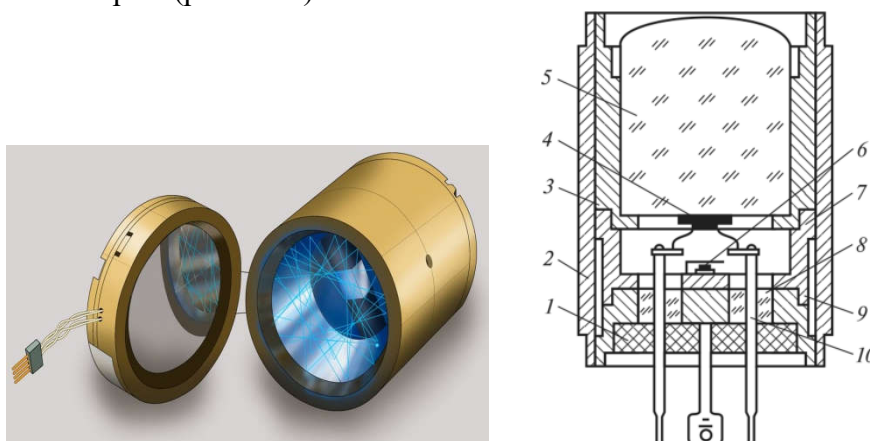


Рис. 3.17 – Зображення болометра: 1 - компаунд; 2 - корпус; 3 - тримач лінзи; 4 - активний терморезисторний елемент; 5 - лінзи; 6 - компенсаційний терморезисторний елемент; 7 - основа; 8 - ізолятор; 9 - цоколь; 10 – виводи

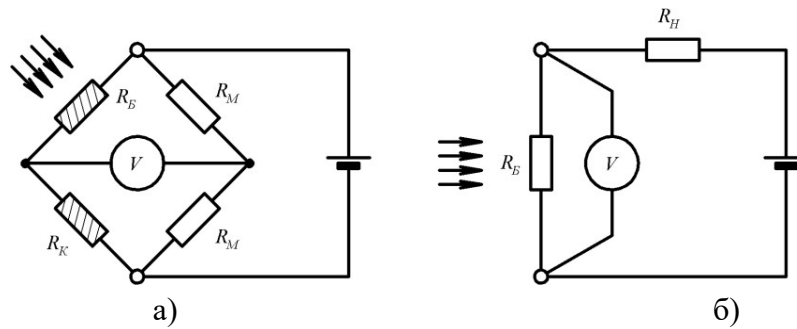


Рис. 3.18 – Схеми включення болометрів: а) мостова; б) схема з навантажувальним опором

На даний час для вимірювання температури випромінювання широко використовується радіаційний термоелектричний термометр. Він представляє собою термопару, яка складається зі спаю двох металів, підібраних так, щоб при нагріванні спаю між холодним і гарячим кінцями проводів виникала достатньо велика термо-ЕРС. При цьому температура холодних кінців термопари підтримується стабільною.

3.3. Люксметри

Для визначення рівня освітленості застосовують спеціальні прилади — люксметри. Найбільш поширеними є переносні люксметри, які складаються зі селенового фотоелемента та чутливого електровимірювального пристрою. На рис. 3.19 наведено загальний вигляд люксметра Ю-117.

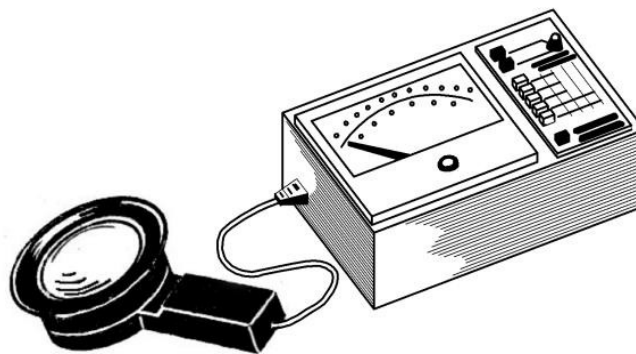


Рис. 3.19 – Загальний вигляд люксметра Ю-117

Селеновий фотоелемент являє собою напівпровідниковий прилад із запираючим шаром. Його робота ґрунтується на явищі фотоелектричного ефекту: під впливом світла в ньому виникає електричний струм. Сила струму, що проходить через фотоелемент, пропорційна рівню освітленості. Селеновий фотоелемент має криву спектральної чутливості, яка приблизно відповідає кривій чутливості людського ока.

На рис. 3.20 представлені спектри чутливості селенових фотоелементів.

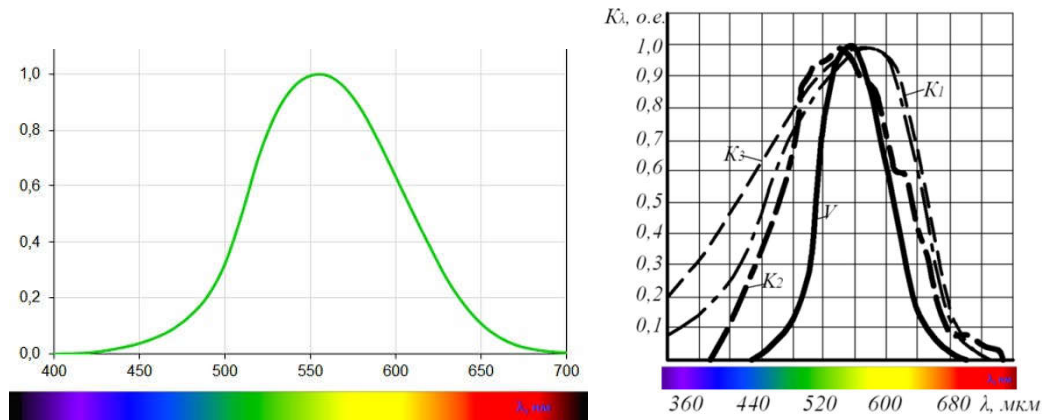


Рис. 3.20 – Спектри чутливості селенових фотоелементів: K1 – фотоелемента люксметра Ю-117; K2 – теж з насадками КС; K3 – не корегованого фотоелемента; V – крива світності

Завдяки використанню спеціальних кольорових світлофільтрів можна отримати спектральну чутливість селенового фотоелемента, дуже близьку до чутливості людського ока. Проте застосування такого фільтра зменшує загальну чутливість фотоелемента. Оскільки селеновий фотоелемент не є абсолютно стабільним приладом, його покази можуть змінюватися через коливання температури, тривалості освітлення та інші фактори. Для підвищення точності вимірювань рекомендується проводити їх кілька разів і усереднювати отримані результати.

При вимірюванні освітленості слід стежити, щоб на приймальну частину фотоелемента не падали випадкові тіні від людей або обладнання. Гальванометр повинен бути встановлений горизонтально. Через вплив напруги живлення на світловий потік джерел світла необхідно контролювати її стабільність під час кожного вимірювання.

Промисловість випускає люксметри типів Ю116 і Ю117, а також більш мобільні та прості у використанні моделі (рис. 3.21). Незалежно від типу, усі люксметри містять селеновий фотоелемент, вмонтований у оправу з ручкою, та мікроамперметр зі шкалою, проградуєваною в люксах.

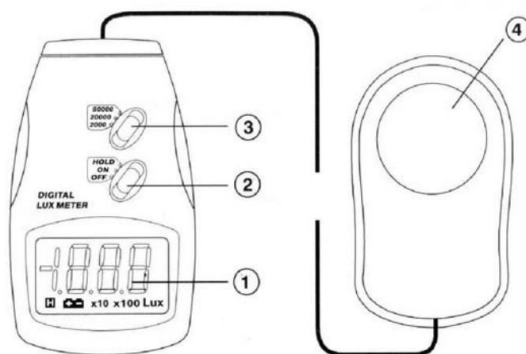


Рис. 3.21 – Люксметр цифровий LX1010BS: 1 - дисплей; 2 - вимикач живлення; 3 - перемикач діапазонів вимірювань; 4 - оптичний датчик.

3.4 Прилади для вимірювання ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання в сільському господарстві

У сільському господарстві контроль опромінення тварин, рослин та продуктів є важливим чинником для забезпечення їхнього здоров'я, продуктивності та якості. Для цього застосовуються спеціальні прилади, призначені для вимірювання ультрафіолетового (УФ) та інфрачервоного (ІЧ) випромінювання. Такі прилади дозволяють оцінити як потужність опромінення, так і його кількість у різних системах величин — енергетичних, еритемних та бактерицидних.

На практиці сільськогосподарського виробництва ультрафіолетове випромінювання прийнято оцінювати кількісно по одержуваному ефекту. Для цього приймач вимірювального приладу повинен мати спектральну чутливість, близьку до спектральної чутливості об'єкта опромінення або спектру дії ультрафіолетового випромінювання. За критерій його оцінки беруть еритемну, вітальну, антирахітну дію. Однак найбільш поширеним вважається перше поняття. Наявна довідкова інформація і випускаючі вимірювальні прилади засновані саме на понятті еритемної дії.

Ерметр - вимірювальний прилад, призначений для вимірювання еритемного опромінення в одиницях системи ефективних величин.

Для наочності та зручності порівняння основних характеристик приладів, що застосовуються для вимірювання ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання в сільському господарстві, доцільно представити їх у вигляді узагальненої таблиці. У ній наведено призначення кожного приладу, тип приймальної частини, діапазони вимірювань, точність та особливості експлуатації (див. табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Прилади вимірювання УФ та ІЧ випромінювання

Прилад	Призначення	Приймальна частина	Діапазон / межі вимірювання	Особливості / коментарі
Ерметр УФМ-71	Вимірювання середнього сферичного еритемного опромінення від штучних УФ джерел	Фотоелемент Ф-27 з напівпрозорим катодом на сферичній колбі	УФ-А до 900 мер·м ⁻² , УФ-В до 6000 мер·м ⁻²	Градування на УФ лампі ДРТС-250; поправочні коефіцієнти: ЛЕ – 1,6, ДРТ – 1,45; спектральна чутливість близька до еритемної
Бактметр УФБ-1А	Вимірювання бактерицидного опромінення на площині	Фотоелемент «Ванда»	Межа 5000 мбк·м ²	Для штучних джерел випромінювання; спектральна чутливість визначається спеціальним фотоелементом
Уфіметр УФІ-73	Вимірювання УФ опромінення на площині в одиницях	Ф-7 (220–280 нм) або Ф-26 + УФС-2 (280–380 нм)	До 10 Вт·м ⁻² (3 піддіапазони)	Косинусна кутова характеристика; проградуирований на лампі ДРТ

Прилад	Призначення	Приймальна частина	Діапазон / межі вимірювання	Особливості / коментарі
	енергетичних величин			
Уфідозиметр УФД-73	Вимірювання кількості УФ випромінювання від штучних джерел	Як у УФІ-73	В одиницях енергетичних величин	Підрахунок імпульсів фотоелемента; лічильник на 10^6 імпульсів; ціна ділення 0,02 $\text{Вт} \cdot \text{хв} \cdot \text{м}^{-2}$
Ердозиметр УФД-1А	Вимірювання кількості опромінення на поверхні сфери та сферичної еритемної опроміненості	Фотоелемент Ф-27	Опромінення до $1000 \text{ мер} \cdot \text{м}^{-2}$, кількість еритемного опромінення до $100 \text{ ер} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-2}$	Сигнал фотоелемента інтегрується через підсилювач; 7 піддіапазонів
Піранометр Янішевського / болометри / термоелементи	Вимірювання ІЧ випромінювання	Неселективні приймачі; термоелементи з КС-19	-	Для високої і постійної чутливості в ІЧ області
Пристрій ТФА-2	Автоматична реєстрація ІЧ опромінення та кількості опромінення	-	$700\text{--}3000 \text{ нм}$; межа реєстрації $500 \text{ Вт} \cdot \text{хв} \cdot \text{м}^{-2}$	Реєстрація автоматична
Фотошуп ІВФ-1	Вимірювання опромінення у видимій та ІЧ областях	Два змінних приймачі ($360\text{--}760 \text{ нм}$, $760\text{--}2500 \text{ нм}$)	До $100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ (може збільшуватись в 5 разів)	Два піддіапазони; нейтральний фільтр для розширення меж
ІКМ-71	Вимірювання ІЧ-опромінення від штучних джерел	Термоелектричний приймач (термобатарея РК-15)	$0\text{--}250$, $0\text{--}500$, $0\text{--}1000 \text{ Вт/м}^2$	Склад: датчик + вимірювальний блок; термопари хромель-копель; габарити $215 \times 110 \times 100 \text{ мм}$; вага 2,5 кг; використовується для ІЧ-обігріву тварин та сушіння продукції

Спрощена функціональна схема приладу Ердозиметр УФД-1А показана на рис. 3.22.

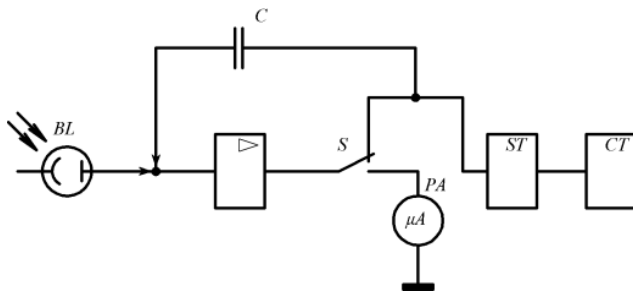


Рис. 3.22 – Спрощена функційна схема ердозиметра УФД-1А.

Термоелектричний приймач (термобатарея типу РК-15, рис. 3.23) складається з десяти хромель-копелєвих термопар, з'єднаних послідовно.

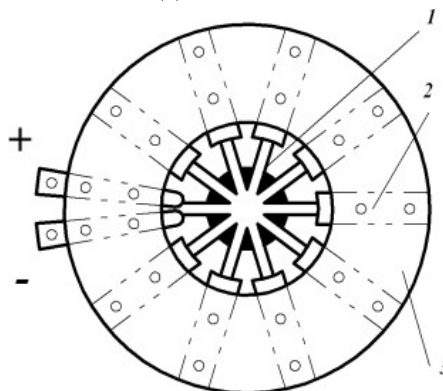


Рис. 3.23 – Термоелектричний приймач приладу ІКМ-71 (термобатарея РК-15): 1 - термопара хромель - копель; 2 - електропровідна пластина; 3 - ізолюючий диск

Аналіз характеристик приладів, призначених для вимірювання випромінювань оптичної частини спектру, показує, що спектральна чутливість переважній більшості з них, незважаючи на використання коригованих приймачів випромінювання, значно відрізняється від спектральної чутливості відповідних еталонних приймачів (рис. 22, 23), що змушує використовувати спектральні поправочні коефіцієнти для отримання достовірних результатів вимірювання.

Аналіз конструкцій приладів для вимірювання оптичних випромінювань показує, що електричні схеми приладів багато в чому подібні між собою. Істотні відмінності одного приладу від іншого є лише в приймальній частині, які визначаються характеристиками і якістю приладів в цілому.

Контроль УФ та ІЧ опромінення в сільському господарстві є важливим для оптимізації умов вирощування рослин і утримання тварин. Використання спеціалізованих приладів дозволяє не лише оцінити потужність і кількість випромінювання, але й забезпечити безпечні та ефективні умови роботи штучних джерел опромінення. Вибір конкретного приладу залежить від спектрального діапазону, вимог до точності, умов експлуатації та способу живлення.

3.5. Оброблення результатів вимірювань оптичного випромінювання

Оптичні вимірювання – це технічна наука, яка займається визначенням та контролем конструктивних параметрів оптичних елементів і систем, а також оцінкою фізичних характеристик об'єктів за допомогою оптичних методів і приладів. Головною особливістю таких вимірювань є їхня висока точність і наочність. Оптичні вимірювання відносяться до категорії високоточних вимірювань, точність яких порівнянна з довжиною світлової хвилі ($\lambda_{\text{ср}}$

= 0,555 мкм). Саме тому в машинобудуванні та приладобудуванні їх застосовують там, де потрібна максимальна точність. Наприклад, кінцеві контрольні операції проводяться з використанням інтерферометрії, що дозволяє досягати точності на рівні $\lambda_{\text{ср}}/20$, тобто похибка не перевищує 0,03 мкм.

У наукових дослідженнях і розробках високих технологій вимірювання часто проводяться з максимально можливою точністю, наближеною до теоретичних меж. Узгодженість вимірювань і необхідний рівень їхньої якості забезпечуються державними та відомчими метрологічними службами.

У сучасному оптичному приладобудуванні виробництво приладів високоточного рівня має забезпечуватися методами і обладнанням для високоточних оптичних вимірювань і контролю. Галузь характеризується зростанням обсягів виробництва, удосконаленням технічних характеристик продукції та створенням нових класів оптичних приладів і систем.

До оптики нового класу належать, наприклад, оптичні системи космічних телескопів, високоякісні об'єктиви дослідницьких мікроскопів, прилади для мікроелектронних технологій, системи запису та відтворення інформації, а також оптичні комплекси для лазерних технологій. Для досягнення високої якості роботи таких систем необхідно, щоб хвильовий фронт, сформований оптичною системою, відтворював ідеальну форму (найчастіше сферичну) з відхиленнями не більше кількох сотих часток довжини хвилі.

Для проведення вимірювань необхідно мати наступне:

Метод виміру – це сукупність прийомів та процедур, які дозволяють застосовувати принципи і засоби вимірювань.

Принцип виміру – наукова основа виміру, що включає знання про фізичні явища та технічні досягнення, на яких базується визначення величини.

Засоби вимірювань – це обладнання та установки, що об'єднують функціонально взаємопов'язані прилади, вимірювальні перетворювачі та процедури.

Методика вимірювань – встановлена послідовність операцій, умов і правил, дотримання яких забезпечує отримання результатів вимірювань згідно з обраним методом.

Умови виміру – правила користування засобами вимірювань, дотримання яких гарантує, що вплив факторів, що можуть знизити точність, залишатиметься в допустимих межах.

Оптичні методи вимірювань базуються на використанні оптичних сигналів для отримання інформації про об'єкт дослідження. Наприклад, у вимірювальному мікроскопі розподіл освітленості в оптичному зображенні об'єкта несе інформацію про його геометричні координати. Інтерферометр дозволяє оцінювати невеликі деформації поліруваних поверхонь через зміни форми хвильового фронту оптичного випромінювання, що проявляються у вигляді змін інтерференційних смуг і освітленості інтерференційної картини.

Необхідні ознаки виміру включають:

- Принцип методу та його теоретичну основу, що визначають можливості та обмеження методу.
- Математичні засоби обробки результату, включаючи значення вимірюваної величини та її похибку.
- Інформацію про об'єкт вимірювання та його математичну й фізичну модель.
- Функціональну схему вимірювальної установки та вимоги до характеристик її елементів.
- Вимоги до умов проведення виміру.

- Методику вимірювання, що охоплює розташування об'єкта, налаштування установки, виконання спостережень, зчитування та обробку даних, а також отримання кінцевого результату.

Існує багато методів оптичних вимірювань, які поділяють на прямі та непрямі.

Прямий вимір – це спосіб, при якому значення фізичної величини отримують безпосередньо з результатів експерименту. Такий підхід дозволяє одразу визначити шукану величину.

Непрямий вимір – це метод, при якому шукане значення визначають на основі результатів прямих вимірювань інших величин, пов'язаних з шуканою певною математичною залежністю. Значення обчислюють за формулою, підставляючи знайдені величини $Q=f(X,Y,Z)$. Непрямі методи застосовують, коли прямі вимірювання або технічно незручні, або недостатньо точні. У практиці оптичних вимірювань вони зустрічаються частіше, ніж прямі. Похибки при цьому можуть виникати через неточності використовуваних формул.

Сукупні виміри передбачають багаторазове вимірювання одних і тих самих величин прямим або непрямим методом, при цьому змінюють комбінації вимірюваних величин. Шукані значення визначають шляхом розв'язування системи рівнянь, що пов'язують вимірювані та шукані величини. Цей метод дозволяє обійтися без атестованого еталону. Наприклад, абсолютні методи вимірювання похибок оптичних поверхонь, коли три пробні скла накладають один на одного у різних комбінаціях.

Метод безпосередньої оцінки полягає у прямому визначенні величини за показанням відлікового пристрою приладу прямої дії. Це найпростіший і найпоширеніший спосіб.

Диференціальний метод – метод порівняння, заснований на реєстрації різниці між вимірювальним сигналом від об'єкта та сигналом від еталонної величини, значення якої відоме з високою точністю. У цьому випадку вимірюється не сама величина, а її відхилення від відомої величини.

Спільні виміри передбачають багаторазове вимірювання величин при зміні умов кожного наступного виміру. Шукані величини визначають розв'язуванням системи рівнянь, що пов'язують отримані результати. Наприклад, це використовується при вимірюванні товщини трьох кінцевих заходів на контактному довгомірі.

Питання для самоперевірки

1. Які ви знаєте оптичні властивості матеріалів?
2. Поясніть принцип дії і будову болометрів.
3. Поясніть принцип дії і будову термоелектричних приймачів оптичного випромінювання.
4. Поясніть принцип дії і будову фотоелектричних приймачів оптичного випромінювання.
5. Будова і принцип дії люкметрів, їх застосування.
6. Які прилади використовуються для вимірювання фотосинтезної опроміненості?
7. Які прилади використовуються для вимірювання ультра фіолетового опромінення?
8. Які прилади використовуються для вимірювання інфрачервоного опромінення?
9. Пояснити поняття оптичне вимірювання?
10. Перерахувати класифікацію оптичних вимірювань.
11. Перерахувати та пояснити необхідні ознаки виміру.
12. Пояснити численні методи оптичних вимірів.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису оптичних властивостей тіл.
2. Самостійно відновити матеріал з опису вимірювальних приймачів оптичного випромінювання.
3. Самостійно описати будову та принцип дії люкметрів.
4. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Використання теорії похибок в оцінюванні результатів вимірювань.

ТЕМА № 4. ЕНЕРГЕТИЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП РОЗЖАРЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з фізичною природою теплового випромінювання, його основними законами та практичним застосуванням у джерелах світла. Сформулювати розуміння принципів роботи ламп розжарювання, галогенних і інфрачервоних випромінювачів, а також показати їх роль у техніці та сільському господарстві з точки зору енергоефективності та раціонального використання енергії.

Анотація

В даній темі розглянуто фізичну суть теплового випромінювання як процесу перетворення теплової енергії у електромагнітну. Наведено основні закони, що описують його властивості — Кірхгофа, Стефана–Больцмана, Планка та Віна, які визначають зв'язок між температурою тіла, спектральним складом і інтенсивністю випромінювання. Досліджено принцип роботи, будову та характеристики основних теплових джерел світла: ламп розжарювання, галогенних і інфрачервоних випромінювачів. Проаналізовано їх енергоефективність, спектральні особливості та сфери використання, зокрема у промисловості та сільському господарстві — для сушіння, обігріву й освітлення.

Keywords: thermal radiation, Stefan–Boltzmann law, incandescent lamp, halogen lamp, infrared radiation, energy efficiency.

План лекції

1. Теплове випромінювання та його основні закони
2. Будова і робота ламп розжарювання, їх енергетичні і експлуатаційні характеристики.
3. Галогенні лампи: принцип дії та конструктивні особливості
4. Інфрачервоні лампи.
5. Використання ламп розжарювання в сільському господарстві

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

4.1. Теплове випромінювання та його основні закони

Теплове випромінювання виникає внаслідок перетворення енергії теплового руху атомів і молекул речовини на енергію оптичного випромінювання. Температура тіла, що випромінює, визначає як інтенсивність випромінювання, так і його спектральний склад.

Основні закони теплового випромінювання сформульовано для абсолютно чорного тіла — ідеального поглинача, який повністю вбирає все падаюче на нього випромінювання, незалежно від напрямку, довжини хвилі чи поляризації. Інше трактування цього поняття полягає в тому, що абсолютно чорне тіло є ідеальним випромінювачем, здатним за однакових умов випромінювати найбільшу кількість енергії порівняно з будь-яким іншим тілом.

Закон Кірхгофа встановлює взаємозв'язок між здатністю тіла випромінювати та поглинати енергію: для тіл з однаковою температурою відношення густини їхнього випромінювання дорівнює відношенню їхніх коефіцієнтів поглинання.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

Закон Кірхгофа можна записати інакше:

$$\frac{R_1}{\alpha_1} = \frac{R_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{R_n}{\alpha_n} = \text{const} = R_T$$

де R_T - щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі, Вт·м⁻².

Інакше кажучи, для всіх тіл, що мають однакову температуру, відношення густини їхнього випромінювання до коефіцієнта поглинання є сталою величиною, яка дорівнює густині випромінювання абсолютно чорного тіла при тій самій температурі.

Закон Стефана–Больцмана описує залежність густини випромінювання тіла від його температури. Дослідження Стефана і Больцмана показали, що густина випромінювання абсолютно чорного тіла визначається лише його температурою та є пропорційною четвертому степеню цієї температури:

$$R_T = \sigma T^4$$

де σ - постійна, рівна $5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт·м⁻²·град⁻⁴; T – абсолютна температура, К.

У практичних цілях надзвичайно важливо знати, як енергія розподіляється у спектрі теплового випромінювання. Розподіл енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла визначається формулою Планка:

$$R_{\lambda T} = C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}$$

де $R_{\lambda T}$ - спектральна щільність потоку випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт·м⁻²·мкм⁻¹; C - постійна, що дорівнює $3,74 \cdot 10^8$ Вт·м⁻²·мкм⁴; C_2 - постійна, рівна $1,43 \cdot 10^4$ мкм·град; e - основа натуральних логарифмів.

Продиференціювавши рівняння ($R_{\lambda T}$) за λ і прирівнявши першу похідну нулю, отримаємо:

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{град},$$

де $\lambda_{\max}$ - довжина хвилі, відповідна максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання, мкм.

Закон зміщення Віна. Рівняння $\lambda_{\max} T = \text{const}$ визначає положення максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла та формулює закон зміщення Віна: із підвищенням температури тіла максимум спектральної щільності його випромінювання зміщується в область коротших довжин хвиль.

На рис. 4.1 наведено графік спектральної щільності випромінювання абсолютно чорного тіла при різних температурах нагрівання.

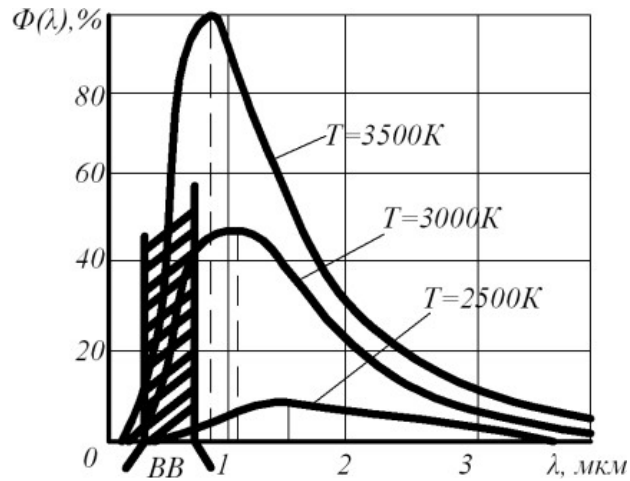


Рис. 4.1 – Спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур

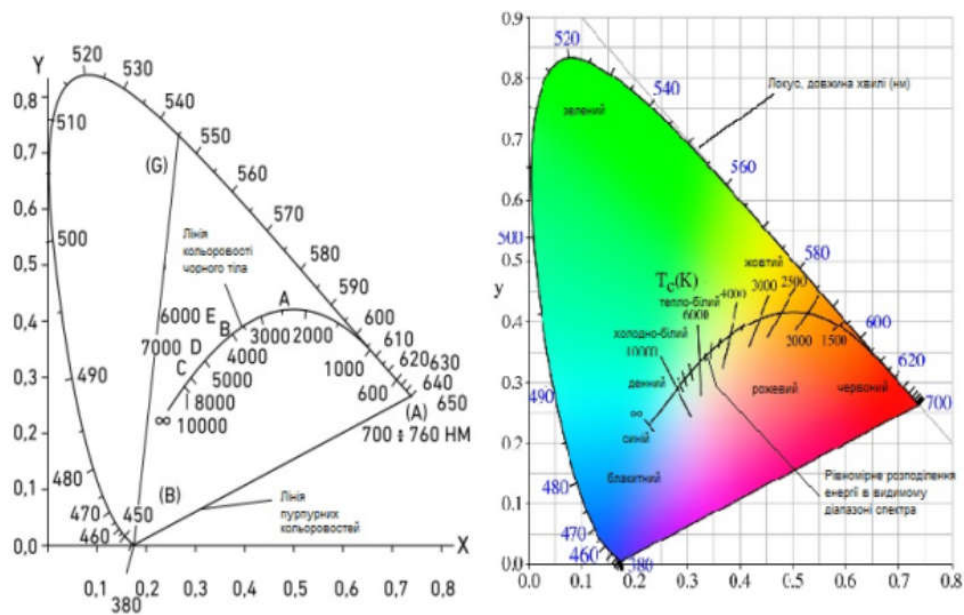


Рис. 4.2 – Колірна температура

Колірна діаграма, наведена на рис. 4.2, має цікаву особливість: якщо об'єднати випромінювання двох різних кольорів, то координати кольору, отриманого в результаті змішування, завжди знаходитимуться на прямій, що сполучає координати початкових кольорів. При змішуванні трьох кольорових випромінювань можна отримати будь-який відтінок, який розташований усередині трикутника, утвореного точками координат цих трьох кольорів. Очевидно, що білий колір може бути створений безліччю комбінацій трьох монохроматичних (однорідних) випромінювань.

Для зручності вважають основними три кольори — червоний, зелений і синій. Якщо ці вихідні кольори є строго монохроматичними, тобто розміщені безпосередньо на спектральному локусі, то, комбінуючи їх у певних пропорціях, можна отримати практично необмежену кількість нових кольорів, що лежать усередині трикутника вихідних кольорів.

У видимій ділянці спектра максимум інтенсивності спостерігається за температури абсолютно чорного тіла в межах 3750–7800 К. Виходячи із закону Стефана–Больцмана та закону зміщення Віна, встановлено, що максимальне значення спектральної щільності потоку

випромінювання абсолютно чорного тіла зростає пропорційно п'ятому степеню його температури, тобто:

$$(R_{\lambda T})_{\max} = c_3 T^5$$

де c_3 - постійна, рівна $1,041 \cdot 10^{-11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1} \cdot \text{град}^{-5}$

Основні закони теплового випромінювання дають змогу зробити такі висновки:

- потік випромінювання абсолютно чорного тіла прямо пропорційний четвертому степеню його температури;
- максимальне значення спектральної щільності потоку випромінювання зростає пропорційно п'ятому степеню температури;
- зі збільшенням температури нагріву абсолютно чорного тіла максимум спектральної щільності його випромінювання зміщується в область коротших хвиль.

Велике практичне значення має визначення залежності ефективності випромінювання теплового джерела від його температури. Розглянемо це на прикладі теплового випромінювача, що використовується як джерело видимого світла. У цьому випадку ефективна віддача випромінювання (світловий ККД) визначається співвідношенням потоку видимого випромінювання до загального потоку енергії.

Із підвищенням температури випромінювача світловий ККД зростає, оскільки максимум спектральної щільності випромінювання зміщується в діапазон видимого світла. Найвищого значення — близько 14,5% — світловий коефіцієнт корисної дії досягає при температурі абсолютно чорного тіла приблизно 6500 К, коли максимум кривої спектральної щільності припадає саме на видиму частину спектра. Подальше підвищення температури спричиняє зміщення максимуму кривої $\phi(\lambda)$ у короткохвильову (ультрафіолетову) область, унаслідок чого світловий ККД починає зменшуватися (рис. 4.3).

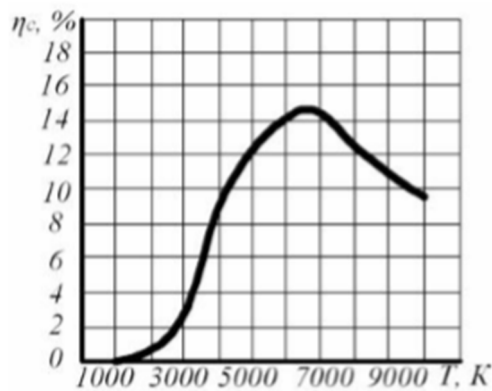


Рис. 4.3 – Залежність світлового ККД від температури абсолютно чорного тіла

У таблиці 1. наведені максимальні значення світлового ККД і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів. Тіла, з якими доводиться мати справу в практиці світлотехнічних розрахунків, не володіють повною мірою властивостями абсолютно чорного тіла, проте, користуючись спеціальними перехідними величинами, закони теплового випромінювання абсолютно чорного тіла можна приложити і до реальних тіл.

Таблиця 4.1 - Максимальні значення світлового ККД і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів

Характер випромінювання або випромінювач	Тем., K	Світлова віддача, $лм/Вт$	Світловий ККД, %
Монохроматичне випромінювання при $\lambda=555 \text{ нм}$	-	680	100
Рівно енергетичне випромінювання	-	242	35,5
Повний випромінювач	6500	99	14,5
Сонце в зеніті	-	94	13,8
Вольфрам при плавленні	3665	55	8,1
Лампа з вугільною ниткою	2135	3,54	0,52
Керосинова лампа	1850	0,27	0,04

4.2 Будова і робота ламп розжарювання, їх енергетичні і експлуатаційні характеристики

У світі щороку виробляють і використовують сотні мільярдів електричних ламп, більшу частину з яких і досі становлять лампи розжарювання. Попри невисокий світловий потік і низький коефіцієнт корисної дії (близько 2–2,5%), такі лампи широко застосовуються в промисловості, сільському господарстві та на транспорті. Вони також часто використовуються як сигнальні та індикаторні джерела світла. Широке поширення ламп розжарювання пояснюється повністю автоматизованим виробництвом, низькою вартістю, простотою конструкції та зручністю підключення до електромережі.

На рис. 4.4 подано кілька варіантів конструкцій ламп розжарювання загального призначення. Типова лампа складається зі скляної колби, діаметр якої залежить від потужності лампи. Усередині колба заповнена інертним газом (аргоном, азотом або криптоном) і з'єднана з цоколем за допомогою спеціальної мастики. На цоколі виконано гвинтову нарізку, що забезпечує надійне кріплення лампи в патроні та підключення до мережі.

Усередині колби розташована скляна ніжка, у верхній частині якої впаяні молібденові гачки, на яких закріплюється тіло розжарювання — вольфрамова нитка. Для з'єднання нитки розжарювання з цоколем використовуються нікелеві електроди, платинові вводи та мідні виводи.

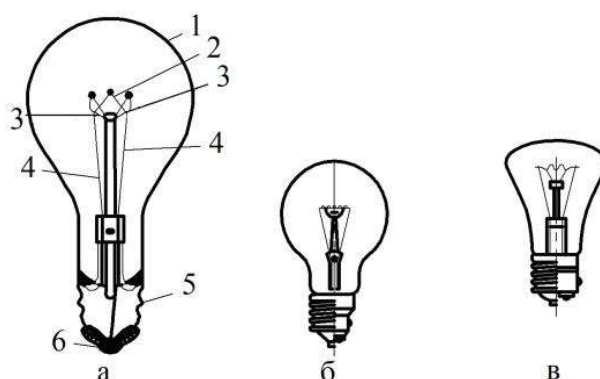


Рис. 4.4 – Конструкція ЛР загального призначення: а) моноспіральна; б) біспіральна; в) біспіральна криптонова: 1 - скляна колба; 2 - вольфрамова нитка розжарювання; 3 - молібденові тримачі; 4 - електроди (нікель, сплави, платинід); 5 - стакан цоколя (сплав заліза); 6 - контактна шайба

Колба лампи розжарювання є скляним балоном, призначеним для ізоляції тіла розжарювання від зовнішнього середовища. Форма колби може бути різною залежно від типу

лампи. Окрім прозорих, у освітлювальних лампах часто використовують колби з матового, опалового або «молочного» скла. Такі колби мають більший коефіцієнт поглинання світла порівняно з прозорими, проте вони усувають осліплюючу яскравість вольфрамової нитки. Якщо необхідно отримати спрямований світловий потік, частину внутрішньої поверхні колби покривають дзеркальним шаром срібла або алюмінію. Залежно від форми відбиваючої частини можна змінювати просторовий розподіл світлового потоку. Дзеркальні лампи розжарювання можуть одночасно виконувати роль джерела світла та елемента освітлювальної арматури.

Принцип роботи: під час проходження електричного струму через вольфрамову нитку вона нагрівається до температури 2400–2700 К і починає випромінювати світло.

Типова світлова віддача ламп розжарювання становить 10–22 лм/Вт. Основна частина спожитої електроенергії перетворюється в тепло, тому спектр випромінювання є суцільним, з максимумом в інфрачервоній області, і поступово зменшується зі скороченням довжини хвилі. Це зумовлює теплий відтінок світла (колірна температура 2400–2700 К, показник передачі кольору $R_a = 100$).

Лампи розжарювання відрізняються між собою за електричними, світлотехнічними та експлуатаційними характеристиками. До основних електричних характеристик належать номінальна напруга живлення, номінальна потужність та рід струму (постійний або змінний).

Основною світлотехнічною характеристикою ламп розжарювання є світловий потік Φ_s . Його величина залежить від електричної потужності лампи, напруги живлення та температури нитки розжарювання. У каталогах вказують нормований світловий потік, який лампа повинна випромінювати протягом перших годин роботи при підключенні до мережі на номінальну напругу. Відповідно до державних стандартів, відхилення нормованого світлового потоку для однотипних ламп допускається в межах 5–10%.

Під час експлуатації робоча температура нитки та прозорість колби зменшуються, що призводить до зниження світлового потоку. Для ламп, що пропрацювали 75% від свого номінального терміну служби, стандарт допускає зменшення світлового потоку до 72–85% від номінального значення залежно від типу лампи, її потужності та категорії виготовлення.

До експлуатаційних характеристик, які визначають економічні показники роботи ламп розжарювання, відносять світлову віддачу та номінальний термін служби. На сьогодні світлова віддача ламп розжарювання становить 7,5–19,1 лм/Вт. Під номінальним терміном служби розуміють середню тривалість горіння t_s , яка визначається як середнє арифметичне повних термінів служби групи ламп (не менше десяти одиниць). Для стандартних ламп розжарювання цей показник становить 1000 годин.

Відомі світові виробники, наприклад польська компанія «Philips», випускають рефлекторні, кольорові та трубчаті лампи, які створюють комфортну атмосферу та мають підвищений термін служби – до 2000–2500 годин.

Варто зазначити, що відхилення напруги живлення від номінального значення значно впливає на світлотехнічні характеристики ламп розжарювання (див. рис. 4.5).



Рис. 4.5 – Залежність світлотехнічних, електричних і експлуатаційних параметрів ламп розжарювання загального призначення від зміни напруги живлячої мережі: 1 - середня тривалість горіння; 2 - світловий потік; 3 - світлова віддача; 4 - споживана потужність; 5 - сила струму

Якщо напруга живлення лампи перевищує номінальне значення, збільшуються сила струму, потужність, світловий потік та світлова віддача, але при цьому значно скорочується середня тривалість горіння.

До переваг ламп розжарювання відносяться простота конструкції, невисока вартість та стабільна робота в широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

Серед недоліків цих ламп – надмірна яскравість, низька світлова віддача (до $20 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$), невисокий світловий ККД (у середньому 3,5 %), а також невдалий спектральний склад випромінювання. У видимому спектрі переважають оранжево-червоні промені з довжиною хвилі $\lambda = 600\text{--}780 \text{ нм}$, тоді як сині промені ($\lambda = 380\text{--}450 \text{ нм}$) представлені приблизно в десять разів менше. Такий спектр не забезпечує якісної кольоропередачі. Крім того, лампи розжарювання мають невеликий термін служби — близько 1000 годин.

4.3. Галогенні лампи: принцип дії та конструктивні особливості

Як відомо, світловий потік, світлова віддача та світловий ККД лампи при однакових умовах залежать лише від температури нагрівання нитки розжарювання. Проте підвищити ефективність роботи лампи шляхом збільшення температури непросто, оскільки нагрівання нитки супроводжується її розпиленням, і чим вища температура, тим інтенсивніше цей процес. Наприклад, при підвищенні температури нитки з 2400 до 2700 К на 1 % швидкість розпилення подвоюється, що значно скорочує термін служби лампи.

У галогенних лампах з йодним циклом розпилення нитки повністю не усунено, проте розроблені ефективні методи зменшення його наслідків, що дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики таких ламп.

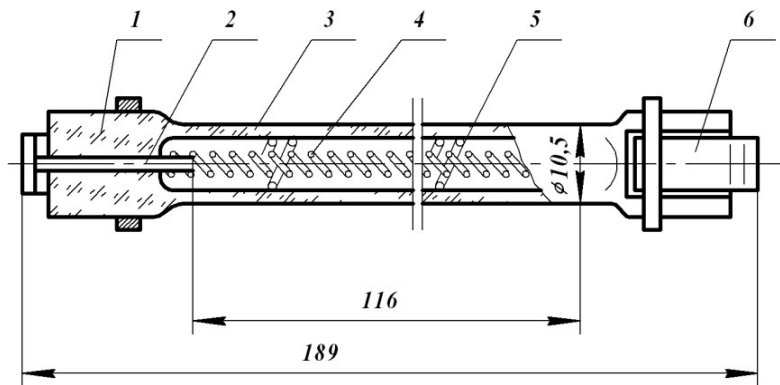


Рис. 4.6 – Лампа кварцова галогенна КГ220-1000

На рис. 4.6 представлена лампа типу КГ 220-1000. Циліндрична колба 3 виготовлена з кварцового скла, яке має температуру розм'якшення понад 1373 К. Усередині колби міститься точна кількість йоду, а також вона заповнена аргоном до тиску близько 800 ГПа. Тіло розжарення 4 виконане у вигляді моноспіралі з високочистого вольфраму та закріплене на вольфрамових тримачах 5 уздовж осі трубки. Ввід у лампу здійснено молібденовими електродами 2, впаяними в кварцові ніжки 1. Для підключення до мережі використовуються контактні поверхні 6. Лампа призначена для роботи від мережі з напругою 220 В.

В процесі роботи частинки вольфраму F, що утворюються в результаті розпилення нитки, переміщуються від спіралі до стінок колби G, де вступають у реакцію з галогеном E, утворюючи вольфрамовий галоген D при температурі нижче 1400 °С. При дуже низьких температурах реакція відбувається недостатньо активно, а при підвищенні температури розкладання вольфрамового галогену на поверхні колби стає більш ймовірним, ніж його утворення. Ступінь дисоціації вольфрамового галогену в зоні спіралі значно вища, ніж поблизу стінок, тому концентрація речовини там менша. Утворений вольфрамовий галоген D переміщується до спіралі, де при високій температурі розкладається: частинки вольфраму F осідають на спіралі, а галоген E звільняється та знову бере участь у циклі.

Схематично регенеративний цикл включає три основні стадії:

- утворення вольфрамового галогену на поверхні колби;
- переміщення вольфрамового галогену до спіралі;
- розкладання вольфрамового галогену поблизу спіралі з осадженням вольфраму та звільненням галогену.

Особливістю галогенних ламп є можливість регулювання світлового потоку шляхом зміни напруги живлення. При підвищенні напруги понад номінальну термін служби лампи скорочується значно повільніше, ніж у звичайних ламп розжарювання.

На рис. 4.7 наведено графік світлової віддачі та терміну служби галогенної лампи низької напруги залежно від поданої напруги. Графік наочно демонструє вплив заниженої або завищеної напруги на світлові та експлуатаційні характеристики лампи.

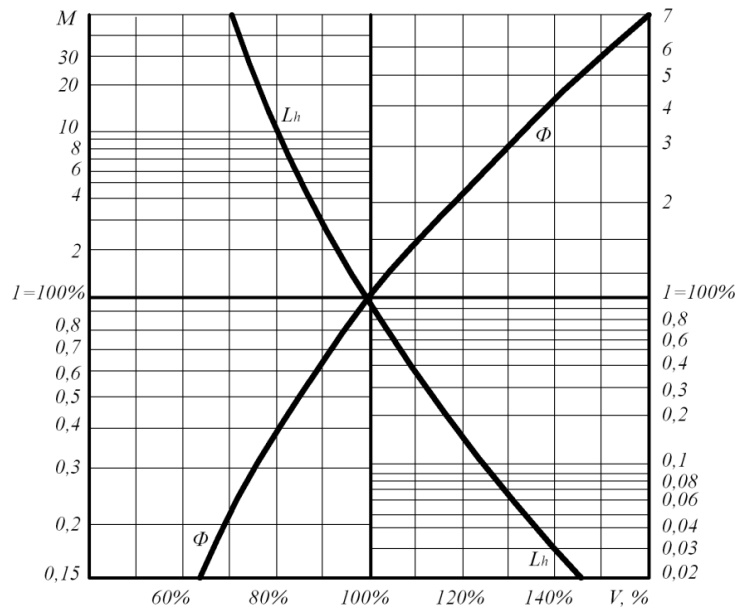


Рис. 4.7 – Графік світлової віддачі та терміну служби в залежності від напруги галогенної лампи низької напруги

До основних переваг ламп розжарювання з вольфрамово-галогенним циклом можна віднести:

- висока питома щільність випромінювання;
- стабільність потоку випромінювання протягом терміну служби;
- відносно малі габаритні розміри;
- здатність витримувати тривалі і великі перевантаження;
- можливість плавного регулювання потоку випромінювання в широких межах шляхом зміни напруги, що підводиться.

Основні недоліки ламп розжарювання з вольфрамово-галогенним циклом загального призначення такі:

- можливість роботи тільки в горизонтальному положенні, щоб уникнути деформацій тіла накалу під дією власної ваги і порушення вольфрамово-галогенного циклу;
- більш висока вартість у зв'язку з необхідністю використовувати кварцове скло і особливо чистий вольфрам.

4.4. Інфрачервоні лампи розжарювання

Для виконання різноманітних завдань у сільському господарстві застосовують джерела інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, зокрема для сушіння сільськогосподарських продуктів, обігріву молодняку тварин і птиці тощо. У якості таких джерел зазвичай використовуються різні типи ламп розжарювання.

Приблизно 60–80 % випромінювання ламп розжарювання припадає на інфрачервону область спектра, тому практично будь-яка лампа розжарювання може виконувати функцію ІЧ-джерела. Водночас для спеціальних технологічних задач доцільніше використовувати лампи, у яких тіло розжарювання розраховане на нижчу температуру порівняно зі стандартними освітлювальними лампами. У таких ламп максимум випромінювання зміщений у довгохвильову частину спектра (1000–1400 нм). Залежно від спектрального складу промисловість випускає так звані «світлі» та «темні» джерела ІЧ-випромінювання.

«Світлі» джерела за конструкцією та принципом дії подібні до звичайних ламп розжарювання, проте їхнє тіло розжарювання розраховане на нижчу температуру ($T = 2270\text{--}2770\text{ K}$), що дозволяє збільшити частку інфрачервоного випромінювання у загальному світловому потоці та зменшити частку видимого світла. Такі лампи можуть бути ламповими або трубчастими термовипромінювачами.

Лампові термовипромінювачі. Частина внутрішньої поверхні колби дзеркальних ламп покривається шаром алюмінію або срібла з коефіцієнтом відбиття інфрачервоного випромінювання близько 0,9. Колби інфрачервоних ламп ІКЗК покриваються червоним термостійким лаком, що зменшує світловий потік. Знижена температура тіла розжарювання таких ламп дозволяє значно продовжити їхній термін служби — до 5000 годин.



Рис. 4.8 – Інфочервона лампа ІКЗК

У позначенні типу ламп букви означають їхні основні характеристики: ІКЗК-220-250 – інфрачервона, дзеркальна з червоною колбою; цифри після букв вказують напругу мережі та потужність джерела випромінювання.

Оскільки потік випромінювання залежить від температури тіла розжарювання, підвищення температури призводить до швидшого випаровування вольфраму та збільшення частки видимого світла в спектрі. Тому в лампах типу ІКЗ, де важливе інфрачервоне випромінювання, робоча температура нитки зменшена з 2973 K (як у звичайних освітлювальних ламп) до 2473 K, що супроводжується зниженням світлової віддачі приблизно на 60 %. Це дозволяє перетворювати до 70 % споживаної електроенергії в інфрачервоне випромінювання.

Максимальна довжина хвилі випромінювання становить 1,05 мкм, при цьому основна частина енергії зосереджена у спектральній ділянці від 0,8 до 2 мкм. Випромінювання з довжиною хвилі понад 3,5 мкм (що становить 7–8 % від загального потоку) поглинається склом колби, що може стати причиною передчасного виходу ламп з ладу через температурні коливання.

Опроміненість ламп ІКЗ на відстані 50–400 мм від обігрівальної поверхні варіюється від 2 до 0,2 Вт/см².

Трубчасті ІЧ-випромінювачі з тугоплавкого скла. За конструкцією трубчасті джерела інфрачервоного випромінювання поділяються на дві категорії: з тілами розжарювання з металевих резистивних сплавів та з вольфраму.

Перші представляють собою трубку з звичайного або тугоплавкого скла діаметром 0–20 мм, всередині якої уздовж осі розташоване спіралеподібне тіло розжарювання, підключене до джерела живлення на кінцях. Такі випромінювачі використовуються рідко, переважно для обігріву приміщень.

Випромінювачі з вольфрамовими тілами розжарювання за конструкцією схожі на трубчасті лампи розжарювання. Вольфрамова спіраль розташована вздовж осі трубки та

закріплена на молібденових тримачах, впаяних у скляний стрижень. Трубчастий випромінювач може мати зовнішній або внутрішній відбивач, сформований шляхом випаровування срібла або алюмінію у вакуумі.

Спектральний розподіл випромінювання трубчастих джерел близький до лампових, а температура розжарення становить 2100–2450 К. На рис. 4.9 показано конструкцію трубчастого ІЧ-випромінювача.

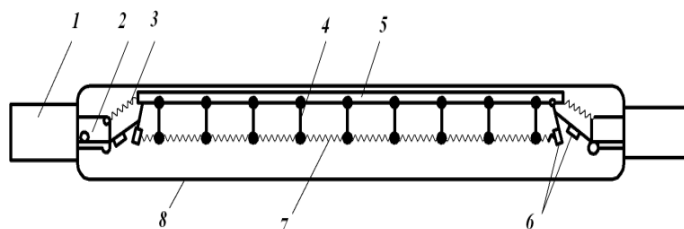


Рис. 4.9 – Конструкція трубчастого ІЧ випромінювача: 1- цоколь; 2 – штангель; 3 – пружина, яка підтримує стрижень; 4 – молібденові тримачі; 5 – скляний стрижень; 6 – електроди; 7 – вольфрамове тіло розжарювання; 8 – скляна трубка.

Трубчасті ІЧ-випромінювачі з кварцового скла. За конструкцією вони подібні до трубчастих джерел з тугоплавкого скла, але в якості колби використовується трубка з кварцового скла.



Рис. 4.10 – Лампа ІЧ випромінювання з кварцового скла

Інфрачервоні кварцові лампи з йодним циклом мають такі переваги: високу питому щільність випромінювання; стабільність світлового потоку протягом усього терміну служби (в кінці терміну потік складає 98 % від початкового); компактні розміри; здатність витримувати тривалі перевантаження; можливість плавного регулювання потоку випромінювання шляхом зміни напруги.

До основних недоліків ламп відносяться: руйнування кварцу при температурах вище 623 К через теплове розширення; обмеження щодо положення при експлуатації — лампи можуть працювати лише горизонтально, інакше тіло розжарювання може деформуватися під власною вагою, а йодний цикл порушується через накопичення йоду в нижній частині трубки.

«Темні» джерела ІЧ-випромінювання виконані у вигляді металевої трубки, заповненої вогнетривкою ізоляційною масою (оксид алюмінію або оксид магнію), яка добре проводить

тепло та забезпечує ізоляцію спіралі від стінок трубки. В середині трубки розташований нагрівач у вигляді спіралі з дроту з високим електричним опором.

Торці трубки герметизуються вологонепроникним термостійким лаком або герметиком. Контактні виводи виготовляють зі сталевого дроту. Регулюючи розміри та поперечний переріз нагрівальної спіралі, можна змінювати температуру зовнішньої поверхні трубки у широкому діапазоні від 673 до 1023 К.

4.5. Використання ламп розжарювання в сільському господарстві

Лампи розжарювання тривалий час залишалися основним джерелом штучного освітлення в сільському господарстві. Вони активно використовувалися як для освітлення робочих приміщень, так і для технологічних цілей — обігріву тварин, підсвічування рослин, сушіння сільськогосподарської продукції тощо. Простота конструкції, низька ціна та доступність зробили їх популярними серед фермерів і власників невеликих господарств. Проте розвиток енергоощадних технологій і посилення вимог до енергоефективності поступово змінили підхід до вибору джерел світла в аграрному секторі.

На сучасному етапі використання ламп розжарювання вважається малоефективним, через низку причин:

1. Низька енергоефективність. Лампи розжарювання перетворюють лише близько 10% споживаної електроенергії у світло, решта переходить у тепло. Це робить їх економічно не вигідними при тривалому використанні, особливо у великих господарствах.

2. Короткий термін служби. Тривалість роботи лампи розжарювання становить у середньому 1000 годин, що значно менше, ніж у світлодіодних (до 50 000 годин) або люмінесцентних джерел світла.

3. Високе тепловиділення. У більшості випадків надлишкове тепло є недоліком, оскільки потребує додаткового охолодження або контролю мікроклімату, особливо у теплицях.

4. Застарілі технології. У країнах ЄС, а також в Україні поступово відмовляються від промислового виробництва ламп розжарювання через їхню енергетичну неефективність.

Зважаючи на все вище сказане, у певних випадках вони залишаються практичним рішенням через свої особливі властивості.

Однією з найпоширеніших сфер застосування ламп розжарювання залишається обігрів молодняка тварин. Їх встановлюють у брудерних ящиках, клітках, загонах і родильних відділеннях для поросят, телят, ягнят, курчат. Завдяки тепловому випромінюванню лампи забезпечують локальне підтримання комфортної температури в зоні утримання тварин. Це особливо важливо в холодну пору року або в приміщеннях без системи опалення.

Крім того, світло від ламп розжарювання створює сприятливу психологічну атмосферу для тварин: воно м'яке, тепле і не подразнює зір. У тваринницьких комплексах такі лампи також використовуються для продовження світлового дня, що позитивно впливає на продуктивність — збільшує надії у корів і сприяє кращому росту молодняка.

У птахівництві лампи розжарювання традиційно застосовуються для обігріву курчат у брудерах, особливо у перші дні життя, коли підтримання стабільного мікроклімату є критично важливим. Тепло від лампи допомагає уникнути переохолодження, а світло стимулює рухову активність і апетит молодняка. У пташниках також використовують лампи розжарювання для створення режиму штучного освітлення, який регулює поведінку птиці, сприяє підвищенню яйценосності та загальному поліпшенню фізіологічного стану.

У рослинництві лампи розжарювання застосовувалися як джерело тепла і допоміжного освітлення у невеликих теплицях, парниках, приміщеннях для пророщування насіння та вирощування розсади. Їх випромінювання містить значну частку червоного та інфрачервоного спектра, що позитивно впливає на процеси проростання та укорінення рослин. Крім того, теплове випромінювання сприяє підтриманню стабільної температури в холодну пору року.

Однак у сучасному тепличному господарстві лампи розжарювання поступово витіснені світлодіодними (LED), натрієвими та люмінесцентними лампами, які забезпечують кращу енергоефективність, довший термін служби та можливість регулювання спектра світла для оптимізації фотосинтезу.

Лампи розжарювання продовжують використовуватися у допоміжних технологічних процесах: для підсушування зерна, фруктів, овочів, лікарських рослин, обігріву невеликих приміщень або інструментальних майстерень. У багатьох фермерських господарствах їх застосовують як резервне освітлення під час аварійного відключення електроенергії.

Попри зручність і низьку вартість, лампи розжарювання мають низку суттєвих недоліків:

- низький коефіцієнт корисної дії (лише 5–10% енергії перетворюється у світло, решта — у тепло);
- короткий термін служби (приблизно 1000 годин);
- значне енергоспоживання;
- високий рівень тепловиділення, який може бути шкідливим у замкнених приміщеннях.

У зв'язку з цим використання ламп розжарювання у великих аграрних підприємствах вважається економічно не вигідним. У країнах Європейського Союзу та Україні навіть прийнято рішення про поступову відмову від їхнього промислового виробництва та використання.

Замість ламп розжарювання у сільському господарстві нині широко використовують:

- світлодіодні (LED) лампи, які забезпечують економію електроенергії до 80%, мають термін служби до 50 000 годин і дозволяють точно налаштовувати спектр випромінювання;
- люмінесцентні лампи, які дають рівномірне світло з невеликим тепловиділенням;
- натрієві та металогалогенні лампи, ефективні для великих теплиць і промислових тваринницьких комплексів.

Ці джерела світла забезпечують кращу освітленість при менших витратах енергії, а також створюють умови, наближені до природних.

Одже, хоча лампи розжарювання історично відігравали важливу роль у розвитку сільського господарства, їх актуальність у сучасних умовах значно знизилася. Вони залишаються доцільними лише для невеликих фермерських господарств, де потрібне недороге і просте рішення для локального обігріву або тимчасового освітлення. Проте в умовах зростання цін на енергоносії та впровадження енергоефективних технологій пріоритет поступово переходить до світлодіодних систем освітлення, які поєднують економічність, довговічність і можливість адаптації під конкретні біологічні потреби рослин і тварин.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть будову і принцип дії ламп розжарювання.

2. Як впливає відхилення напруги на строк служби ламп розжарювання?
3. У чому різниця роботи галогенних ламп від звичайних ламп розжарювання?
4. Які інфрачервоні джерела випромінювання використовуються в сільському господарстві?
5. Як класифікуються джерела випромінювання, засновані на електричному розряді в газах і парах металів?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису основних закономірностей електричного розряду в газах і парах металів.
2. Самостійно відновити матеріал з опису будови та видів делел опромінення.
3. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Історія створення електричних джерел випромінювання.

ТЕМА № 5. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з фізичними основами газового розряду та принципом дії люмінесцентних ламп. Сформувати розуміння процесів, що відбуваються під час електричного розряду в газах, ролі люмінофорів у перетворенні ультрафіолетового випромінювання у видиме світло, а також показати практичне значення люмінесцентних ламп у техніці та сільському господарстві.

Анотація

У темі розглянуто фізичні процеси, що лежать в основі газового розряду, який використовується як джерело світлового випромінювання у люмінесцентних лампах. Пояснено механізм іонізації газу, утворення електричного розряду та роль електродів у підтриманні світіння. Детально описано принцип дії люмінесцентних ламп, зокрема процес перетворення ультрафіолетового випромінювання у видиме світло за допомогою люмінофора.

Наведено будову та особливості роботи люмінесцентних ламп різних типів, їхні основні переваги - енергоефективність, тривалий термін служби та спектральна гнучкість. Також розглянуто приклади застосування таких ламп у промисловості й сільському господарстві, де вони використовуються для штучного освітлення теплиць, пташників і тваринницьких приміщень.

Keywords: gas discharge, fluorescent lamp, phosphor, ultraviolet radiation, energy efficiency, agriculture.

План лекції

1. Електричні та газові процеси в розрядних лампах;
2. Будова та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп;
3. Основні характеристики люмінесцентних ламп;
4. Пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп, схеми їх вмикання;
5. Використання люмінесцентних ламп в сільському господарстві.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

5.1. Електричні та газові процеси в розрядних лампах

Носіями електрики є електрони та іони. У провідниках надлишок електронів забезпечує добру провідність електричного струму. Також електричний струм добре проходить у розчинах, де завжди присутні іони. У газах або парах відсутні вільні носії заряду, тому вони виконують роль ізоляторів. Під впливом космічних променів і радіоактивного випромінювання Землі в будь-якому газовому середовищі, включно з атмосферою, утворюється невелика кількість іонів, проте їхнє існування обмежене, оскільки вони швидко рекомбінують.

Кількість іонів в атмосфері дуже мала у порівнянні з кількістю нейтральних молекул. Штучно, наприклад за допомогою електромагнітного поля високої частоти, можна створювати іони в газовому проміжку і отримувати струм, тобто виникає розряд у газі. Такий розряд називають несамостійним. Якщо ж у ізольованому від атмосфери об'ємі відкачати газ до тиску нижче 10 Па, ймовірність рекомбінації різко зменшується, і іони зберігаються значно довше. У такий простір можна ввести два електроди (рис. 5.1) і прикласти до них певну різницю потенціалів.

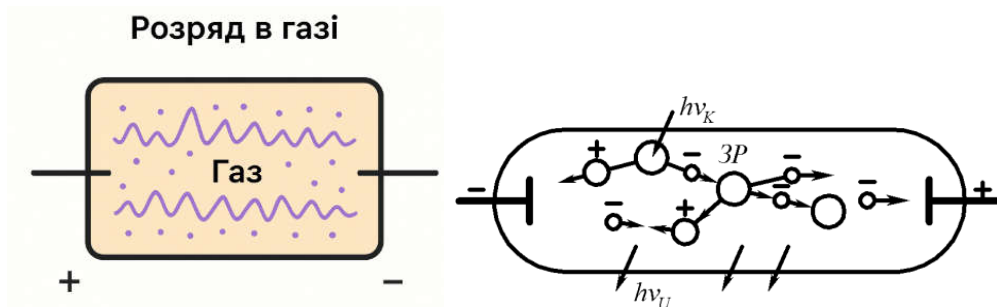


Рис. 5.1 – Розряд в газі: $h\nu_k$ - зовнішній збудник; $h\nu_u$ - випромінювання розряду; ЗР - збудження в розряді

У проміжку між електродами виникає електричне поле, через яке іони починають рухатися до відповідних електродів. Швидкість їх руху прямо пропорційна різниці потенціалів на електродах. Найбільш рухливі серед іонів — «легкі» частинки, зокрема електрони. Проте швидкість руху електрона, як і будь-якої іншої частинки, відображає його кінетичну енергію, що пов'язано з температурою. Підвищення температури тіла означає зростання кінетичної енергії молекул і їх рухливості. У цьому сенсі можна говорити про електронну температуру, яка збільшується зі зростанням напруженості електричного поля між електродами. Напруженість поля визначається як відношення різниці потенціалів до відстані між електродами.

Нейтральні молекули газу у проміжку не піддаються впливу електричного поля і зберігають власну кінетичну енергію, тобто свою температуру. Внаслідок цього в розглянутому об'ємі існують дві групи частинок із різними температурами (рис. 5.2).

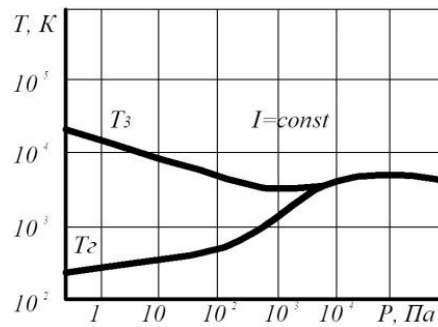


Рис. 5.2 – Вимірювання температури газу T_g і електронної температури T_e при зміні тиску

Зазвичай ці частинки взаємодіють одна з одною. Якщо електронів небагато, їхня кінетична енергія поглинається важкими нейтральними молекулами, і електрони не досягають анода — струму немає. При збільшенні напруженості поля кінетична енергія електронів може стати достатньою для іонізації нейтральних молекул (непружні зіткнення), що призводить до утворення додаткових носіїв заряду. Ці нові носії, прискорюючись у полі до електронної температури, і самі іонізують молекули. В результаті виникає пробій газового проміжку — «запалювання» газового розряду і поява струму. Опір газового проміжку перестає бути нескінченним, а тихий (темновий) розряд швидко переходить у тліючий, при якому частина іонів встигає рекомбінуватися з виділенням фотонів, що викликає світіння (рис. 5.3).

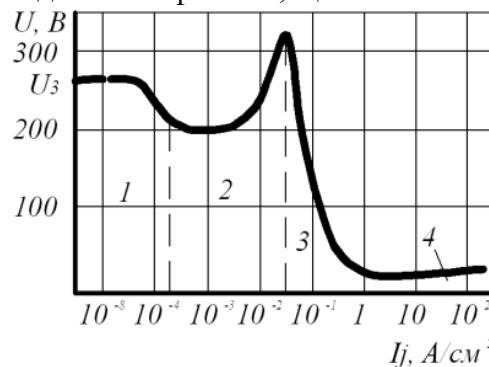


Рис. 5.3 – ВАХ газового провідника: 1 - темновий (тихий) розряд; 2 - тліючий розряд; 3 - дугувий розряд; 4 - зверх дугувий розряд

Для виникнення тліючого розряду потрібен низький тиск легко іонізованого газу (наприклад, неону) та відносно висока напруга на електродах. Саме на цьому принципі працюють газорозрядні пристрої: газосвітні установки (напруга живлення $U_{\text{ж}} = 1\text{--}20$ кВ), індикатори напруги ($U_{\text{ж}} = 80\text{--}1000$ В) та стартери люмінесцентних ламп ($U_{\text{ж}} \approx 0,7 U_{\text{ж}}$).

Інтенсивність випромінювання тліючого розряду невелика, тому він рідко використовується для освітлення. Струм у індикаторах обмежується великим зовнішнім опором і складає лише кілька мікроампер, що є безпечним для людей.

Збільшення тиску в ізолюваному просторі лампи ускладнює ініціацію розряду, але одночасно дозволяє отримати більше носіїв заряду, збільшити щільність струму і, відповідно, інтенсивність випромінювання. Цей процес носить лавинний характер (рис. 3, зона 3), опір міжелектродного проміжку різко падає, і для запобігання короткому замиканню струм обмежують зовнішнім опором (рис. 5.4). Такий розряд називається дуговим. Висока концентрація іонів забезпечує активну рекомбінацію та потужний фотонний потік. Принцип газового розряду є основою роботи розрядних ламп (РЛ).

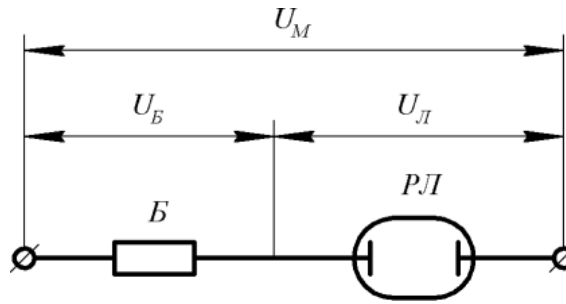


Рис. 5.4 – Принцип включення РЛ в мережу: Б – баласт

Розглянемо стабілізацію такого розряду. Вольт-амперна характеристика газового розряду - падаюча (рис. 5.5), тому для обмеження струму в ланцюзі лампи послідовно з нею необхідно включити опір баласту U_B .

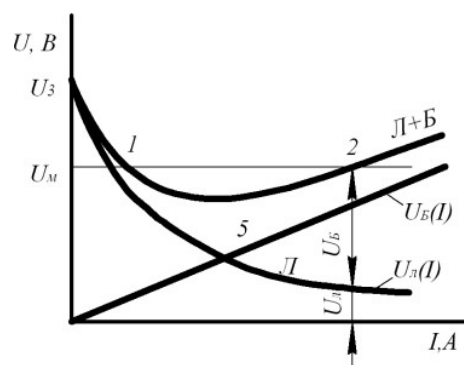


Рис. 5.5 – ВАХ баласту РЛ і схеми лампи з баластом

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) баласту, наприклад активного опору, зростає відповідно до закону Ома ($U = IR$). Напруга в схемі дорівнює сумі напруг на баласті (U_B) та лампі (U_L). Загальна ВАХ схеми на початковій ділянці має падаючий характер, а далі переходить у зростаючу.

Якщо прикласти до схеми напругу мережі U_M , то на цій характеристиці існують дві точки (1 і 2), де напруга мережі збігається з напругою на схемі. На падаючій ділянці (точка 1) струм зростає самовільно, тому робота схеми в цій точці нестійка. Стійка робота забезпечується в точці 2, де зростання струму можливе лише зі збільшенням напруги U_M . Для газового розряду напруга запалювання U_3 завжди перевищує напругу живлення схеми U_M . Зазвичай напруга на баласті U_B більша за напругу на лампі U_L .

Стійкий розряд у лампі високого тиску виникає при сильному електричному полі, що надає електронам високі швидкості. Тиск у потоці швидких частинок, згідно з законом Бернуллі, менший за атмосферний, і атмосфера своїм тиском «витісняє» частинки у центр лампи. Тому розряд локалізується в центральній частині вздовж найкоротшої лінії між електродами — цей стан речовини називають плазмою.

При збільшенні зовнішнього тиску розряд починає гальмуватися середовищем, що підвищує опір розрядного проміжку, і ВАХ переходить у зростаючу ділянку (рис. 5.3, зона 4). Водночас напруга на баласті знижується, і в деяких випадках баласт може бути взагалі відсутнім (у лампах надвисокого тиску).

5.2. Будова та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп

Люмінесцентні лампи є джерелами світла низького тиску, у яких ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду перетворюється люмінофором у видиме світло довшої хвилі.

У розвинених країнах понад 70 % виробленої світлової енергії припадає на освітлювальні установки з лінійними люмінесцентними лампами (ЛЛ).

За останні 3–4 роки світова електролампова промисловість досягла значного прогресу у вдосконаленні характеристик лінійних ЛЛ загального призначення:

- зменшено габаритні розміри ламп по діаметру і довжині, оптимізовано для використання зі стандартними монтажними модулями підвісних стель;
- підвищено світлову віддачу ЛЛ нового покоління до понад 100 лм/Вт при роботі зі схемами ЕПРА;
- середній термін служби збільшено з 7–9 тис. год до 12–15 тис. год і більше;
- зменшено спад світлового потоку до кінця терміну служби з 15–20 % до 5 %;
- зменшено середній вміст ртуті приблизно на 80 %.

Лампи працюють лише зі спеціально розробленими для них електронними пускорегулювальними апаратами (ЕПРА) та мають двоштирьковий цоколь типу G5. Вони зберігають усі переваги ЛЛ діаметром 26 мм на трикомпонентних люмінофорах, водночас забезпечують високу світлову віддачу та середній термін служби до 16 тис. год при тригодинному циклі вмикання.

Зменшення діаметра колби на 40 % дозволяє ефективніше використовувати лампи з дзеркальними відбивачами та екрануючими решітками, знижує висоту підвісу світильників, скорочує витрати матеріалів на виготовлення ламп і світильників, а також оптимізує використання складських приміщень та зменшує витрати на пакування й утилізацію відпрацьованих ламп.

Зменшення довжини нових ЛЛ на 50 мм порівняно зі стандартними лампами діаметром 26 мм дало змогу створювати конструкції вмонтованих світильників, що ідеально підходять для стандартних систем підвісних стель.

На рис. 5.6 показано загальну конструкцію люмінесцентних ламп загального призначення.

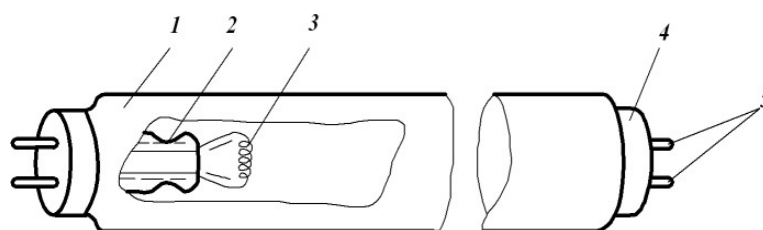


Рис. 5.6 – Конструкція люмінесцентної лампи загального призначення в розрізі

Люмінесцентна лампа загального призначення (рис. 5.6) має циліндричну колбу 1, герметично закрити з торців скляними ніжками 2. На ніжках встановлені вольфрамові біспіралі 3, покриті шаром оксиду лужно-земельних металів, що забезпечує ефективну емісію електронів. На кінцях лампи розташовані короткі цоколі 4 з штирками 5, через які вона підключається до електричної мережі; до штирків припаяні виводи електродів.

Внутрішня поверхня колби покрита тонким шаром люмінофора — кристалічної речовини певного хімічного складу. З колби відсмоктане повітря і введено аргон із невеликою кількістю ртуті (30–80 мг). Аргон зменшує розпилення покриття електродів і полегшує запалювання розряду, адже суміш інертного газу з парами ртуті створює більш сприятливе

середовище для виникнення розряду, ніж аргон або пари ртуті окремо. Під час розряду випромінюють лише атоми ртуті.

Перетворення електричної енергії у видиме світло відбувається в два етапи:

1. електрична енергія у процесі розряду в парах ртуті перетворюється на ультрафіолетове випромінювання;
2. ультрафіолет у шарі люмінофора перетворюється на видиме світло.

Лише невелика частина видимого випромінювання (5–7 %) утворюється безпосередньо у міжелектродному проміжку.

Люмінофор, що використовується в лампах, має порошкоподібну форму; у природі таким матеріалом є фосфор. Розмір зерен, товщина та структура шару впливають на світлові характеристики лампи. Зазвичай на 1 см² поверхні наносять 2–3 мг люмінофора. Шар люмінофора працює на просвіт: збуджується зсередини та випромінює світло у внутрішній простір лампи.

На рис. 5.7 показано спектральну щільність випромінювання лінійної люмінесцентної лампи.

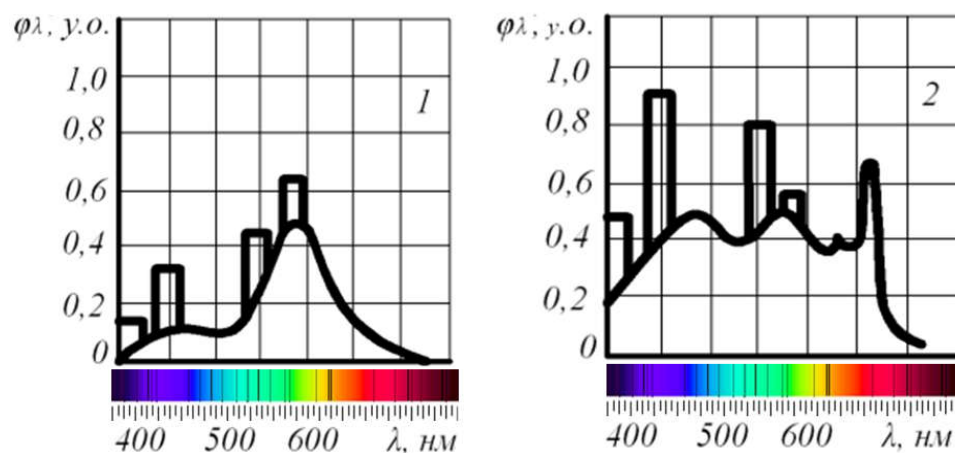


Рис. 5.7 – Спектри випромінювання ламп: 1 – ЛБ; 2 – ЛДЦ

Люмінесцентні лампи класифікують за формою, потужністю та спектральними або колірними характеристиками випромінювання. Принцип роботи такої лампи розглянемо на прикладі стартерної схеми підключення, показаної на рис. 5.8.



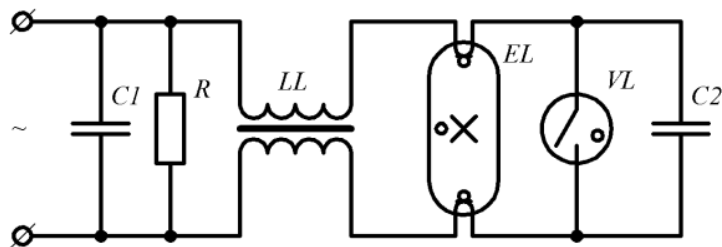


Рис. 5.8 – Стартерна схема включення люмінесцентної лампи

Стартерна схема підключення люмінесцентної лампи є типовою схемою, яка забезпечує імпульсне запалювання лампи та підтримку стабільного дугового розряду. Щоб надійно запалити лампу, її електроди попередньо нагрівають електричним струмом до приблизно 1000 К. Це призводить до іонізації міжелектродного простору завдяки термоелектронній емісії оксидного покриття електродів, що зменшує напругу запалювання. Підігрів електродів та ініціацію дугового розряду в лампі забезпечують стартер і дросель.

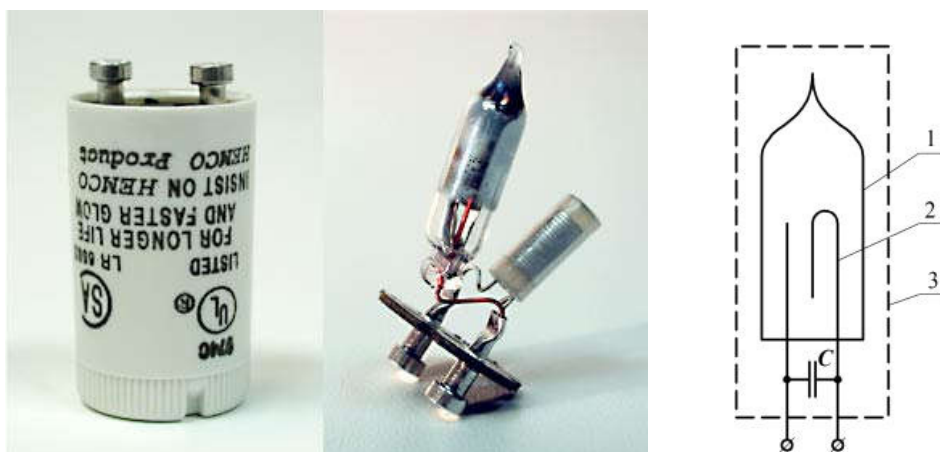


Рис. 5.9 – Стартер: 1 – колба; 2 – біметалевий електрод; 3 – корпус;
С – конденсатор

Стартер (рис. 5.9) являє собою компакту газорозрядну лампу тліючого розряду. Один з його електродів виконаний біметалевим і при нагріванні згинається, змінюючи своє положення щодо нерухомого електрода до моменту короткого замикання.

У стандартній стартерній схемі (рис. 5.9) люмінесцентна лампа EL підключена послідовно з індуктивним баластовим опором LL, який є дроселем із залізним сердечником. Паралельно до схеми підключено компенсуючий конденсатор C1, що підвищує коефіцієнт потужності установки з 0,5–0,6 до 0,92–0,95. Опір R, підключений паралельно конденсатору, забезпечує розряд ємності після відключення схеми від мережі, оскільки провідність вимкненої лампи практично дорівнює нулю. Конденсатор C2 зменшує радіоперешкоди, що виникають через дуговий розряд, подовжує тривалість імпульсу високої напруги в дроселі та знижує іскріння контактів стартера під час їх розмикання.

При подачі напруги мережі на лампу та стартер, висока напруга запалювання лампи ($U_{з.л} > U_m$) не дозволяє їй запалитися. В цей час у стартері виникає тліючий розряд, оскільки його напруга запалювання менша за напругу мережі ($U_{з.ст} < U_m$). Теплота тліючого розряду нагріває біметалевий електрод, який згинається до нерухомого електрода.

Коли контакти стартера замкнуться, утворюється послідовне коло з біспіралями електродів лампи та дроселем, по якому протікає струм, що приблизно в 1,5 раза перевищує

номінальний, забезпечуючи швидкий розігрів електродів лампи. Цей процес триває 1–3 секунди, поки біметалевий електрод не охолоне і не розімкне коло. До цього моменту електроди лампи встигають нагрітися і створити достатню іонізацію розрядного проміжку.

Після розмикання стартера струм через обмотку дроселя різко падає, і в ньому виникає ЕРС самоіндукції. Сумарна напруга мережі та ЕРС достатня для пробного розрядного проміжку лампи і запуску дугового розряду. Лампа починає працювати при напрузі горіння, що становить приблизно половину напруги мережі.

Після запалювання лампи контакти стартера залишаються розімкненими, і тліючий розряд у ньому не виникає, оскільки напруга горіння лампи ($U_{г.л.}$) менша за напругу запалювання стартера ($U_{з.ст.}$). Для забезпечення надійної автоматичної роботи стартера підтримується відповідна умова:

$$U_m > U_{з.ст.} > U_{г.л.}$$

5.3. Основні характеристики люмінесцентних ламп

Енергетичний ККД сучасних люмінесцентних ламп перевищує 20%, а світловий — до 12%, що робить їх більш ефективними джерелами видимого світла порівняно з лампами розжарювання. Спектр випромінювання залежить від складу люмінофора і може бути як ультрафіолетовим, так і видимим з різними колірними відтінками.

Ефективність люмінесцентних ламп також визначається типом люмінофора. У освітлювальних лампах світлова віддача досягає 80 лм/Вт, при цьому яскравість у 200–300 разів нижча, ніж у ламп розжарювання. Електротехнічні характеристики ламп залежать від їх габаритних розмірів; оптимальне поєднання параметрів спостерігається у лампі потужністю 40 Вт з прямою трубчастою колбою довжиною 1,2 м і діаметром 40 мм. Серед ламп з однаковим спектром випромінювання найбільша ефективна віддача у ламп на 40 Вт. Промисловість випускає люмінесцентні лампи потужністю від 3 до 200 Вт, найбільш популярні — 15–80 Вт.

Експлуатаційні характеристики ламп постійно покращуються. Середній термін служби освітлювальних ламп загального призначення становить 12 000–15 000 годин. Протягом експлуатації спостерігається зменшення світлового потоку: до кінця терміну служби він знижується до 60% номінального значення, причому найбільше падіння відбувається в перші 100 годин роботи, після чого приймають номінальне значення.

Термін служби лампи значною мірою залежить від режиму роботи електродів. Надмірний знос оксидного покриття в несприятливих умовах може призвести до передчасної відмови запалювання. При роботі від мережі змінного струму 50 Гц спостерігається пульсація світлового потоку. У ламп типу ЛБ коефіцієнт пульсації становить 22–23%, тоді як у ламп із покращеною передачею кольору (ЛДЦ, ЛТБЦ, ЛЕЦ) він досягає 45–75%.

На відміну від ламп розжарювання, параметри люмінесцентних ламп менш чутливі до коливань напруги: зміна напруги на 1% викликає зміну світлового потоку на 1%, потужності — на 2%, а терміну служби — на 3–4%. Вплив коливань напруги визначається схемою включення та типом баластного опору; у стартерній схемі як підвищення, так і зниження напруги однаково негативно впливає на електроди та термін служби лампи. Світлова віддача змінюється незначно і може трохи збільшуватися при зниженні напруги.

Відхилення напруги негативно позначаються на надійності лампи: зниження більш ніж на 10% може призвести до неможливості запалювання, а понад 20% — до погасання працюючої лампи.

На роботу ламп впливає також температура та вологість повітря. Відхилення температури від 20–25 °С зменшують світловий потік та ефективність лампи, а значні зміни ускладнюють запалювання. При невеликих позитивних відхиленнях напруга запалювання зростає на 20–25%, при негативних температурах ймовірність запалювання практично дорівнює нулю. Підвищення відносної вологості понад 50% також збільшує напругу запалювання.

Таблиця 5.1 - Основні характеристики сучасних люмінесцентних ламп

Параметр	Значення / Діапазон	Примітки
Енергетичний ККД	> 20 %	Відносно електричної потужності споживання
Світловий ККД	До 12 %	Частка електроенергії, перетвореної у видиме світло
Світлова віддача	До 80 лм/Вт	Залежить від складу люмінофора
Яскравість	У 200–300 разів менша, ніж у ламп розжарювання	
Потужність	3–200 Вт	Найбільш масові: 15–80 Вт
Оптимальна лампа	40 Вт, колба 1,2 м × 40 мм	Найкраще поєднання електротехнічних параметрів
Середній термін служби	12 000–15 000 год	Для ламп загального призначення
Спад світлового потоку	До 60 % номінального	Найбільш інтенсивний у перші 100 год роботи
Пульсація світлового потоку (Кп.в.)	22–23 % (ЛБ), 45–75 % (ЛДЦ, ЛТБЦ, ЛЕЦ)	Залежить від типу люмінофора
Вплив напруги мережі	±1 % зміна напруги → ±1 % світлового потоку, ±2 % потужності, ±3–4 % терміну служби	Залежить від схеми підключення та баласту
Чутливість до напруги	Зниження >10 % → відмова запалювання, >20 % → загасання	Стартерна схема
Температурний діапазон роботи	Оптимально 20–25 °С	Відхилення зменшують світловий потік та ефективність, ускладнюють запалювання
Вологість	>50 % підвищує напругу запалювання	

Таблиця 5.2 - Порівняльна таблиця основних характеристик люмінесцентних ламп (ЛЛ) та ламп розжарювання (ЛР)

Параметр	Люмінесцентні лампи (ЛЛ)	Лампи розжарювання (ЛР)
Енергетичний ККД	>20 %	~5–10 %
Світловий ККД	До 12 %	1–2 %
Світлова віддача	До 80 лм/Вт	10–15 лм/Вт

Параметр	Люмінесцентні лампи (ЛЛ)	Лампи розжарювання (ЛР)
Яскравість	В 200–300 разів менша	Вища, концентроване світло
Потужність	3–200 Вт (масово 15–80 Вт)	25–200 Вт
Термін служби	12 000–15 000 год	1 000–2 000 год
Спад світлового потоку	До 60 % на кінець терміну служби	Відносно стабільний до моменту перегорання
Вплив напруги мережі	Практично лінійний: ± 1 % напруги $\rightarrow \pm 1$ % світлового потоку	Сильний: ± 5 % напруги $\rightarrow$ помітна зміна світла
Пульсація світлового потоку	22–75 % залежно від типу	Практично відсутня
Чутливість до температури	Оптимально 20–25 °С, відхилення знижують світловий потік і ускладнюють запалювання	Менше чутливі
Вплив вологості	>50 % підвищує напругу запалювання	Не критично

5.4. Пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп, схеми їх вмикання

Пускорегулюючий апарат (ПРА) - це пристрій, що забезпечує подачу живлення на розрядну лампу від електричної мережі. ПРА відповідає за формування необхідного режиму запалювання та розігріву електродів, а після виникнення дугового розряду забезпечує роботу лампи в номінальному режимі.



Рис. 5.10 – Пускорегулюючий апарат для ЛЛ

Основні функції ПРА:

- стабілізація робочих характеристик лампи після запалювання;
- підтримка стійкої роботи лампи при коливаннях напруги мережі.

Деякі типи ПРА виконують додаткові функції, такі як підігрів електродів або підвищення напруги для запалювання лампи.

Для люмінесцентних ламп застосовують три основні типи ПРА:

1. ПРА імпульсного запалювання — подає на лампу імпульс напруги;
2. ПРА швидкого запалювання — подає на лампу неперервну напругу з попереднім підігрівом електродів;
3. ПРА миттєвого запалювання — подає неперервну напругу без попереднього підігріву холодних електродів лампи.

Найменш надійним елементом стартерних схем є сам стартер: його термін служби обмежений, залежить від кількості включень і характеризується нестабільністю електричних параметрів. Це може призводити до скорочення терміну служби лампи, перегріву та виходу з ладу всього ПРА.

Застосування напівпровідникових елементів дозволяє замінити стартери тліючого розряду. Відомі схеми з використанням позисторів, динисторів, перемикаючих діодів та тринисторів. Прикладом є ПРА імпульсного запалювання з динисторами — схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером (рис. 5.11).

Процес запалювання лампи видно на осцилограмах (рис. 5.11, б). Коли напруга позитивної напівхвилі синусоїдальної мережі досягає певного миттєвого значення U_M , динистор VS відкривається. По електродах лампи протікає струм попереднього підігріву $I_{п.п.}$, а напруга на лампі під час підігріву дорівнює падінню напруги на відкритому динисторі.

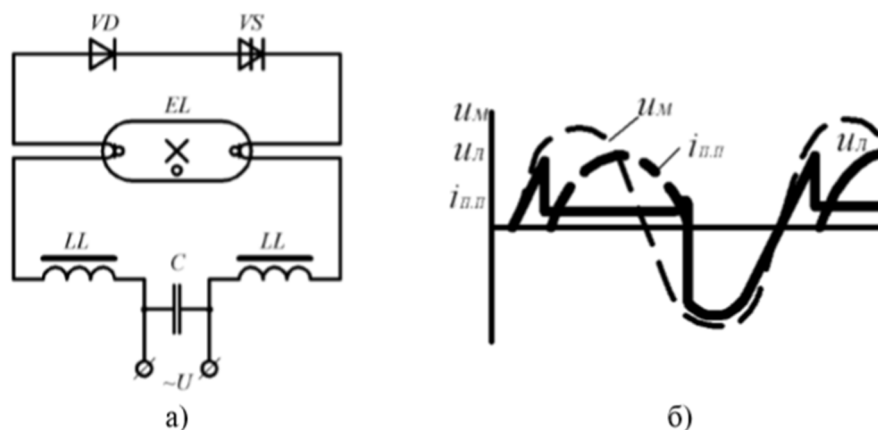


Рис. 5.11 – а) Схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером; б) осцилограми миттєвих значень напруги і струму при запалюванні люмінесцентної лампи за допомогою динистора. VS - динистор; VD - діод; LL - дросель; EL - люмінесцентна лампа

Коли струм підігріву припиняється ($I_{п.п.} = 0$), на лампу подається напруга негативної напівхвилі. Якщо електроди вже достатньо нагріті і напруга запалювання лампи стала меншою за амплітуду напруги мережі, лампа запалюється. Якщо ж нагрів недостатній, процес повторюється з частотою мережі до досягнення умов, необхідних для надійного запалювання.

Приклади ПРА з гарячим запалюванням (з постійним підігрівом електродів) та холодним запалюванням наведені на схемах рис. 5.12.

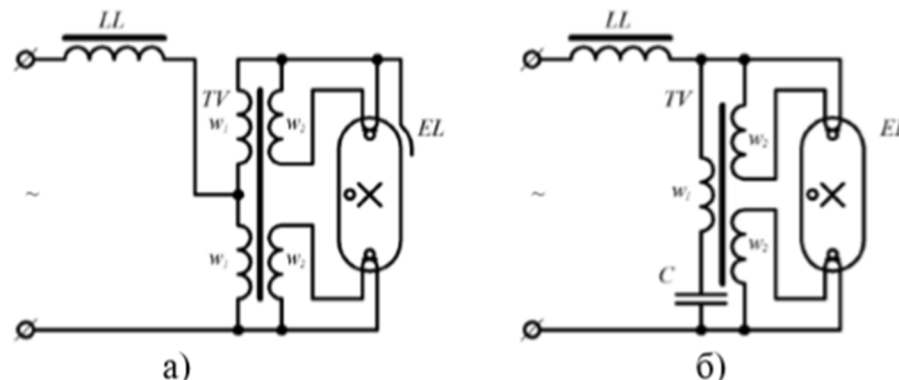


Рис. 5.12 – а) Безстартерна схема включення ЛЛ з розжарювальним трансформатором гарячого запалювання: EL - люмінесцентна лампа; LL - дросель; TV - розжарювальний трансформатор; б) резонансна безстартерна схема включення ЛЛ з

розжарювальним трансформатором холодного запалювання: С - конденсатор; w_1 - первинна обмотка трансформатора; w_2 - вторинна обмотка трансформатора

Безстартерна схема гарячого запалювання люмінесцентної лампи з постійним підігрівом електродів включає дросель і розжарювальний трансформатор (рис. 5.12, а). Надійність запалювання забезпечується попереднім нагрівом електродів, що знижує напругу запалювання до рівня мережевої, а також використанням провідникової смуги або покриття на колбі. Основними недоліками такої схеми є більші витрати матеріалів та підвищені втрати потужності. Крім того, після запалювання лампи по нитках розжарення постійно протікає струм підігріву, що прискорює знос електродів. На первинній обмотці розжарювального трансформатора під час роботи лампи зберігається приблизно половина напруги мережі.

Пускорегулюючі апарати миттєвого (холодного) запалювання для ламп із холодними електродами (рис. 5.12, б) містять індуктивні та ємнісні елементи, які утворюють у режимі холостого ходу послідовний резонансний контур. За рахунок резонансу напруг у контурі забезпечується надійне запалювання лампи, підключеної паралельно одному з елементів.

При подачі напруги на схему напруга на конденсаторі перевищує мережеву в 2–2,5 рази. Злегка знижена напруга розжарювального трансформатора подається на лампу, і при розігріві електродів цієї напруги достатньо для її запалювання. Після загоряння лампи ланцюг “ємність – первинна обмотка трансформатора” шунтується опором лампи, виводячи контур із резонансу.

Основними недоліками ПРА миттєвого запалювання є значні втрати потужності (до 40 % від потужності лампи) та швидке зношування оксидного покриття електродів.

5.5. Використання люмінесцентних ламп в сільському господарстві

Люмінесцентні лампи (ЛЛ) протягом тривалого часу широко застосовувалися в сільському господарстві як ефективне джерело штучного освітлення. Вони використовувалися в рослинництві — для досвічування культур у теплицях, оранжереях і розсадниках, а також у тваринництві — у пташниках, свинарниках і фермах. Проте сьогодні їхнє використання поступово зменшується, оскільки на зміну люмінесцентним приходять більш енергоефективні та технологічно досконалі світлодіодні (LED) лампи.

У рослинництві люмінесцентні лампи використовувалися для забезпечення додаткового освітлення в умовах недостатнього природного світла. Вони створювали спектр, близький до природного сонячного, що сприяло активізації процесів фотосинтезу, росту та розвитку рослин. Особливе поширення мали фітолампи, у яких використовувалися спеціальні люмінофори, що забезпечували підвищену частку синього та червоного світла — найважливіших спектральних компонентів для фотосинтетичної активності.

У тваринництві люмінесцентні лампи застосовувалися для створення стабільного світлового режиму в приміщеннях для утримання птиці та худоби. Оптимальне освітлення позитивно впливало на продуктивність, ріст, поведінку та відтворні функції тварин. У птахівництві завдяки регулюванню світлового режиму підвищувалися несучість і життєздатність молодняка. Крім того, на фермах використовувалися спеціальні еритемні та бактерицидні лампи, подібні за принципом дії до люмінесцентних, для ультрафіолетового опромінення тварин і профілактики захворювань.

Переваги люмінесцентних ламп (історичні):

- Вища енергоефективність порівняно з лампами розжарювання (у 3–5 разів).

- Гнучкість спектра випромінювання завдяки різним типам люмінофорів, що дозволяло наближати світло до денного або підбирати спектр під потреби рослин.

- Тривалий термін служби та стабільність світлового потоку.

Недоліки та сучасні тенденції:

Попри широке застосування у минулому, люмінесцентні лампи мають низку недоліків, які обмежують їх використання у сучасному аграрному виробництві:

- Вміст ртуті у колбі робить їх небезпечними для довкілля та ускладнює утилізацію.

- Чутливість до перепадів напруги та необхідність у пускорегулювальних пристроях.

- Мерехтіння світла, яке може викликати дискомфорт у людей і стрес у тварин.

- Зниження ефективності при низьких температурах, що є проблемою для господарських приміщень у зимовий період.

У зв'язку з розвитком технологій LED-освітлення, люмінесцентні лампи поступово втрачають своє значення. Світлодіодні лампи мають вищу енергоефективність, не містять шкідливих речовин, відзначаються тривалішим терміном служби, стабільною роботою за різних температур і можливістю точного регулювання спектра під потреби конкретних культур або тварин.

Таким чином, люмінесцентні лампи відіграли важливу роль у розвитку систем штучного освітлення в сільському господарстві, проте нині поступаються місцем світлодіодним технологіям. Перехід на LED-освітлення є закономірним етапом модернізації аграрного виробництва, спрямованим на підвищення енергоефективності, екологічної безпеки та якості освітлення.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні переваги і недоліки люмінесцентних ламп перед лампами розжарювання.

2. Поясніть суть вольфрамо-йодного циклу в галогенних лампах.

3. Сформулюйте умови стабілізації дугового розряду в газах і парах металів.

4. Яку статичну вольт-амперну характеристику має дуговий розряд у лампах?

5. Які функції виконує дросель у стартерних схемах вмикання люмінесцентних ламп?

6. Чому напруга горіння на люмінесцентній лампі рівна наближено половині напруги мережі?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису будови, принципу дії люмінесцентних ламп та основні характеристики.

2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Стабілізація дугового розряду в газах і парах металів. Вплив виду баластного опору на роботу газорозрядної лампи.

ТЕМА №6. ГАЗОРОЗРЯДНІ ТА СВІТЛОДІОДНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ, ПРИНЦИП РОБОТИ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ В УМОВАХ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із принципом роботи, конструкцією та особливостями застосування газорозрядних і світлодіодних джерел світла в сільському господарстві, а також показати їхню роль у підвищенні енергоефективності та продуктивності аграрних об'єктів.

Анотація

В темі розглянуто застосування газорозрядних ламп високого тиску та світлодіодних систем у сільському господарстві. Наведено принцип їх роботи, основні переваги й недоліки, а також умови ефективного використання у теплицях і тваринницьких приміщеннях. Показано, що перехід до LED-освітлення забезпечує вищу енергоефективність, довговічність та можливість точного регулювання світлового режиму.

Keywords: gas discharge lamps, LED, phytolamps, energy efficiency, agriculture.

План лекції

1. Газорозрядні лампи високого тиску;
2. Використання газорозрядних ламп високого тиску в сільському господарстві;
3. Світлодіодні лампи, їх основні характеристики;
4. Використання світлодіодних ламп в сільському господарстві.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

6.1 Газорозрядні лампи високого тиску

Основними недоліками ртутних люмінесцентних ламп низького тиску є невисока потужність, великі габарити та сильна залежність їхніх характеристик від температури навколишнього середовища. Використання дугового розряду в парах ртуті при тиску до 0,3 МПа дозволяє створювати джерела світла з високою світловою віддачею та тривалим терміном служби. Номінальна потужність таких ламп коливається від декількох десятків ват до кількох кіловат. До газорозрядних ламп високого тиску, що застосовуються як джерела видимого світла, відносять лампи типів ДРЛ, ДРІ, ДНаТ та ДКсТ.

Ртутні лампи високого тиску (ДРЛ). Лампи типу ДРЛ — це дугові ртутні люмінесцентні лампи високого тиску, у вітчизняній світлотехніці відомі як РЛВД. Завдяки виправленій кольоровості, вони широко застосовуються для освітлення промислових територій, будівельних майданчиків, проїзних частин доріг, а також промислових і сільськогосподарських об'єктів, де не потрібна висока точність передачі кольору.

Чотирьохелектродна лампа ДРЛ (рис. 6.1) складається із зовнішньої скляної колби 1, заповненої вуглекислим газом для стабілізації властивостей люмінофору, та оснащеної різьбовим цоколем 2. Уздовж геометричної осі зовнішньої колби на ніжці розташована кварцова внутрішня колба (розрядна трубка, РТ) 3, наповнена аргоном із домішкою ртуті. Лампа має основні електроди 4 та допоміжні (запалювальні) електроди 5, розташовані поруч із основними. Кожен допоміжний електрод з'єднаний із основним електродом на

протилежному кінці РТ через струмообмежувальні опори 6. Допоміжні електроди сприяють легшому запалюванню лампи та забезпечують більш стабільну роботу в період пуску.



Рис. 6.1 – Лампа високого тиску ДРЛ

Принцип роботи ртутної лампи високого тиску (РЛВД) можна описати так: внутрішня колба розрядної трубки (РТ) виготовляється з тугоплавкого, хімічно стійкого прозорого матеріалу (кварцове скло або спеціальна кераміка) і заповнюється точно дозованими порціями інертних газів. У середині колби також міститься металева ртуть, яка в холодній лампі виглядає як компактна крапка або осідає у вигляді нальоту на стінках колби та/або електродах. Світловим джерелом є стовп дугового електричного розряду.

Процес запалювання лампи з запалювальними електродами відбувається наступним чином: при подачі напруги між близько розташованими основним і запалювальним електродами виникає тліючий розряд, оскільки відстань між ними значно менша, ніж між основними електродами, і напруга пробою цього проміжку нижча. Велика кількість носіїв заряду (вільних електронів і позитивних іонів), що виникає в порожнині РТ, сприяє пробою між основними електродами та переходу тліючого розряду у дуговий майже миттєво.

Стабілізація електричних і світлових параметрів настає через 10–15 хв після включення. У цей час струм лампи значно перевищує номінальний і обмежується лише опором пускорегулюючого апарата. Тривалість пускового режиму залежить від температури навколишнього середовища: чим холодніше, тим довше лампа розпалюється.

Електричний розряд у внутрішній колбі створює видиме блакитне або фіолетове випромінювання та потужне ультрафіолетове світло, яке збуджує люмінофор на внутрішній поверхні зовнішньої колби. Червонувате світіння люмінофора змішується з біло-зеленим випромінюванням колби, створюючи світло, близьке до білого.

Зміни напруги мережі пропорційно впливають на світловий потік: відхилення $\pm 10\text{--}15\%$ може змінити потік на 25–30 %. Якщо напруга падає нижче 80 % від номінальної, лампа може не запалитися або погаснути.

Під час роботи лампа сильно нагрівається, що потребує використання термостійких проводів і якісних контактів у патронах. Підвищення тиску в гарячій лампі збільшує її напругу пробою, через що мережевої напруги може бути недостатньо для повторного запалювання. Через це після відключення живлення лампі потрібен час для охолодження, що є суттєвим недоліком ртутних ламп високого тиску.

У схемі включення (рис. 6.2) лампа підключається послідовно з одно- або двохобмотувальним дроселем. Оскільки при індуктивному баласті коефіцієнт потужності ПРА складає 0,45–0,6, для його підвищення до необхідного значення при індивідуальній компенсації використовують конденсатор С1. Його ємність підбирається залежно від потужності лампи.

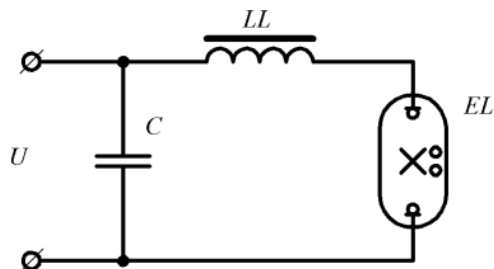


Рис. 6.2 – Принципова схема включення чотириелектродних ламп типу ДРЛ:
LL - дросель; C - конденсатор; EL - лампа

Таблиця 6.1 – Переваги ламп ДРЛ по відношенню до ЛЛ

Характеристика	Лампи ДРЛ	Пояснення / Переваги / Недоліки
Світловий потік	Високий	Завдяки великій потужності та малим розмірам внутрішньої колби, від одного джерела отримують набагато більше світла, ніж від ЛЛ.
Стійкість до температури	Дуже висока	Завдяки розміщенню внутрішньої колби всередині зовнішньої, лампа працює стабільно при температурі від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.
Світлова віддача	40–50 лм/Вт	Менша, ніж у люмінесцентних ламп низького тиску (недолік).
Температура зовнішньої колби	$\sim 200^{\circ}\text{C}$	Висока температура зовнішньої колби може призвести до її тріщин при потраплянні крапель води (недолік).
Кольоропередача	Середня	Гірша, ніж у ЛЛ (недолік).
Світловий ККД	До 10%	Значно нижчий, ніж у ЛЛ (недолік).

Дугові металогалогенні лампи високого тиску (МГЛ) мають перспективу широкого застосування завдяки можливості регулювати спектральний склад випромінювання – від майже однорідного до безперервного – при високому світловому ККД і значній питомій потужності.

Конструкція та принцип роботи МГЛ базуються на властивості галогенідів металів легше випаровуватись, ніж самих металів, та не руйнувати кварцове скло. Тому всередину розрядних колб МГЛ, крім ртуті та аргону, додають різні хімічні елементи у формі галоїдних сполук (з йодом, бромом або хлором).

Після запалювання розряду та досягнення робочої температури колби галогеніди частково переходять у пароподібний стан. Потрапляючи у центральну зону розряду з температурою в кілька тисяч Кельвінів, молекули галогенідів розпадаються на галоген і метал. Металічні атоми збуджуються та випромінюють характерне для них світло. Дифундують до холоднішої зони поблизу стінок колби, вони знову утворюють галогеніди, які випаровуються, замкнуто продовжуючи цикл.

Цей процес дає дві основні переваги:

1. У розряді підтримується достатня концентрація атомів металів для створення необхідного спектру, оскільки при робочій температурі кварцової колби ($800\text{--}900^{\circ}\text{C}$) тиск парів галогенідів багатьох металів значно перевищує тиск самих металів (талій, індій, скандій, диспрозій тощо).

2. Можна вводити лужні (натрій, літій, цезій) та інші агресивні метали (кадмій, цинк), які у чистому вигляді швидко руйнують кварц при температурах понад 300–400 °С, але у вигляді галогенідів цього не роблять.

Застосування галогенідів значно розширило спектральні можливості МГЛ, особливо при використанні сумішей галогенідів. Незважаючи на відносно низьку концентрацію металевих добавок порівняно з ртуттю, велика частина випромінювання створюється атомами добавок завдяки їх низьким потенціалам збудження. Пари ртуті виконують роль буфера, забезпечуючи високу температуру розряду, сильний потенціальний градієнт та мінімальні теплові втрати.

На рис. 6.3 представлена конструкція лампи ДРІ (дугова ртутна лампа з іодидами металів). Вона складається з трубчастої внутрішньої колби 1, виготовленої з кварцового скла, з вольфрамовими електродами 2, розташованими на її торцях. Порожнина внутрішньої колби заповнена аргоном, точно дозованою ртуттю, йодидами рідкоземельних металів (гальмій, тулій, талій), а також натрієм і цезієм. Внутрішня колба розміщена всередині зовнішньої прозорої термостійкої колби 3 з вакуумом, яка підтримує оптимальний температурний режим внутрішньої колби та запобігає електричному пробію між струмоведучими частинами лампи.

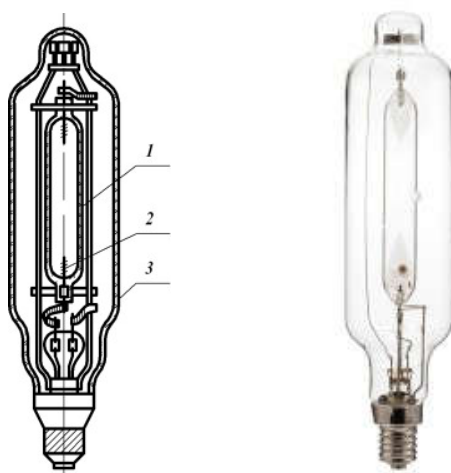


Рис. 6.3 – Будова лампи ДРІ

Схема підключення лампи ДРІ (рис. 6.4) включає трансформатор TV2, вторинна обмотка якого виконує функцію баластного опору для стабілізації розряду між електродами. Первинна обмотка TV2 входить до складу запалювального пристрою, який також містить трансформатор TV1, конденсатор С та розрядник F.

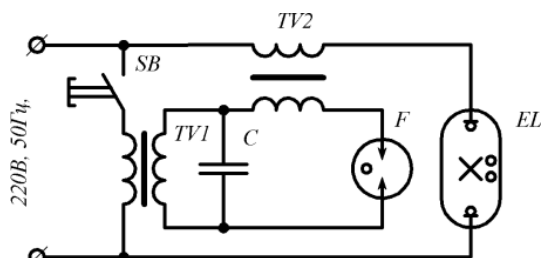


Рис. 6.4 – Схема включення лампи ДРІ

Напруга мережі сама по собі не забезпечує розряд між електродами лампи. При натисканні кнопки SB конденсатор С заряджається від вторинної обмотки TV1 до напруги

пробою розрядника F. Після пробою через первинну обмотку TV2 проходить імпульс струму, а у вторинній обмотці виникає імпульс до 2–3 кВ, який запалює розряд у внутрішній колбі лампи. Процес повторюється з кожним напівперіодом. Запалювач забезпечує надійне включення лампи при температурі до -40°C , а час розігріву становить 2–4 хв. Повторне запалювання можливе через 5–10 хв. Кожен компонент внутрішньої суміші доповнює спектр розряду: йодид натрію – жовтий, талій – зелений, індій – блакитний. Разом вони створюють майже безперервний спектр і природну кольоровість світла.

Таблиця 6.2 - Переваги лампи типу ДРІ по відношенню до лампи ДРЛ

Параметр	Переваги ламп ДРІ	Недоліки ламп ДРІ
Світловий потік	На 1,5–1,6 рази більший, ніж у ламп ДРЛ тієї ж потужності	Світловий потік зменшується в 1,3–1,5 рази швидше, що зменшує термін служби
Спектр випромінювання	Забезпечує правильну передачу кольору	Відхилення напруги $\pm 10\%$ викликає у 3 рази більші зміни світлового потоку та у 2,2 рази більші зміни потужності
Світлова віддача	Досягає $95 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, одна з найвищих серед джерел світла	—
Стійкість до умов навколишнього середовища	Внутрішня колба у вакуумі зовнішньої колби, характеристики майже не залежать від температури	—
Пуск і експлуатація	—	Потрібен запалюючий пристрій, що здорожує ПРА та ускладнює експлуатацію; високовольтна вторинна обмотка вимагає поліпшеної ізоляції; запалювач має розташовуватися близько до лампи для мінімізації довжини проводів

Натрієві лампи високого тиску (НЛВД) є одними з найефективніших джерел світла, здатними забезпечувати світлову віддачу до 160 лм/Вт при потужностях від 30 до 1000 Вт . Тривалість їхньої служби може перевищувати 25 000 годин. Запалювання НЛВД здійснюється спеціальними запалювачами, які формують імпульс напругою 2–4 кВ. Час розпалювання лампи зазвичай становить 3–5 хвилин.

До основних переваг сучасних НЛВД належать невеликі втрати світлового потоку протягом терміну служби. Наприклад, для лампи потужністю 400 Вт спад світлового потоку за 15 000 годин при 10-годинному циклі горіння становить 10–20 %. У випадку більш частих включень зменшення світлового потоку зростає приблизно на 25 % при дворазовому скороченні циклу, що використовується для розрахунку скорочення терміну служби.

Серед недоліків стандартних НЛВД слід зазначити низькі кольоропередавальні властивості ($R_a = 25\text{--}28$) та невисоку кольорову температуру ($T_k = 2000\text{--}2200 \text{ K}$). Золотисто-жовтий колір ламп обумовлений розширеними резонансними лініями натрію. Така передача кольору вважається прийнятною для зовнішнього освітлення, але недостатньою для внутрішнього.

Покращення кольорових характеристик досягається шляхом підвищення тиску натрієвої пари у внутрішній колбі, збільшення діаметра розрядної трубки, додавання випромінюючих домішок, нанесення люмінофорів та інтерференційних покриттів на зовнішню колбу, а також живлення лампи імпульсним струмом високої частоти. Можливе незначне зниження світлової віддачі компенсується підвищенням тиску ксенону для зменшення теплопровідності плазми.

Будова лампи ДНаТ (рис. 6.5) включає тонкостінну трубчасту внутрішню колбу 1 із полікристалічного оксиду алюмінію (кераміки), яка добре пропускає світло та стійка до тривалого впливу насичених парів натрію при температурах 1570–1670 К. Усередині колби містяться пари натрію, ксенон і ртуть. На торцях колби встановлені металеві ковпачки з активованими вольфрамовими електродами 2. Внутрішня колба розміщена у зовнішній колбі 3 з термостійкого скла, з якої відсмоктане повітря для теплоізоляції.



Рис. 6.5 – Будова лампи ДНаТ

Схема включення лампи ДНаТ наведена на рис. 6.6.

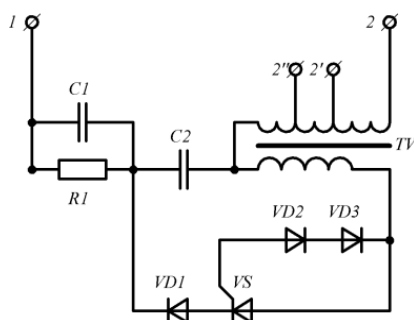


Рис. 6.6 – Принципова електрична схема пристрою імпульсного запалюючого універсального типу

При подачі живлення на ВІЗУ конденсатор C2 заряджається через ланцюг R1, C1 та вторинну обмотку імпульсного трансформатора TV. Коли напруга на C2 досягає стабілізаційного рівня стабілітрона VD2, в колі керуючого електрода тиристора VS з'являється струм, тиристор відкривається, і конденсатор C2 розряджається на первинну обмотку трансформатора TV через тиристор і діод VD1. У вторинній обмотці формуються імпульси напруги (близько 5 імпульсів на півхвилі) з амплітудою 1900–6000 В, що забезпечують запалювання лампи. Величина амплітуди регулюється перемикачем 2 (2', 2''), а

амплітуда та тривалість імпульсів також залежать від значень $R1$ і $C1$. Діод VD1 захищає тиристор від зворотної напруги.

Час розпалювання лампи ДНаТ становить 10–15 хвилин, повторне запалювання можливе через 1–2 хвилини після її згасання. Світловий потік парів натрію досягає світлової віддачі 130 лм/Вт, причому до 70% випромінювання зосереджено в діапазоні 560–610 нм. Жовто-помаранчеве світло лампи добре забезпечує розпізнавання форм та положення об'єктів, проте передача кольору оцінюється лише як задовільна.

Дугові ксенонові лампи. Лампи випромінюють яскраве біле світло, близьке до денного спектру, але мають відносно низький ККД. У сучасних ксенонових лампах застосовується колба з кварцового скла та електроди з торійованого вольфраму. Кварцове скло є економічно доцільним прозорим матеріалом, здатним витримувати високий тиск (до 2 МПа у лампах для ІМАХ) і температуру.

Для підвищення ефективності газ ксенон у колбі підтримується під високим тиском (до 3 МПа), що накладає суворі вимоги до безпеки. При пошкодженні лампи осколки можуть розлітатися з великою швидкістю, тому лампа транспортується у спеціальному пластиковому контейнері, який знімається тільки після встановлення та знову одягається при демонтажі. Під час роботи колба зазнає значних перепадів температури, що з часом робить її більш крихкою.

Існують два основні типи ксенонових ламп:

1. Кульові лампи з короткою дугою — відстань між електродами складає кілька міліметрів, охолодження природне або повітряне.
2. Трубчасті лампи з довгою дугою — охолодження природне або водяне.

На рис. 6.7 показано ксенонову лампу кульової форми. Вона складається з товстостінного кварцового балона з упаяними торійованими вольфрамовими електродами. Циліндричні струмопровідні виводи забезпечують кріплення лампи та під'єднання живлення. Балон заповнений ксеноном під тиском 0,8–0,9 МПа, який під час роботи зростає до 2–2,5 МПа.

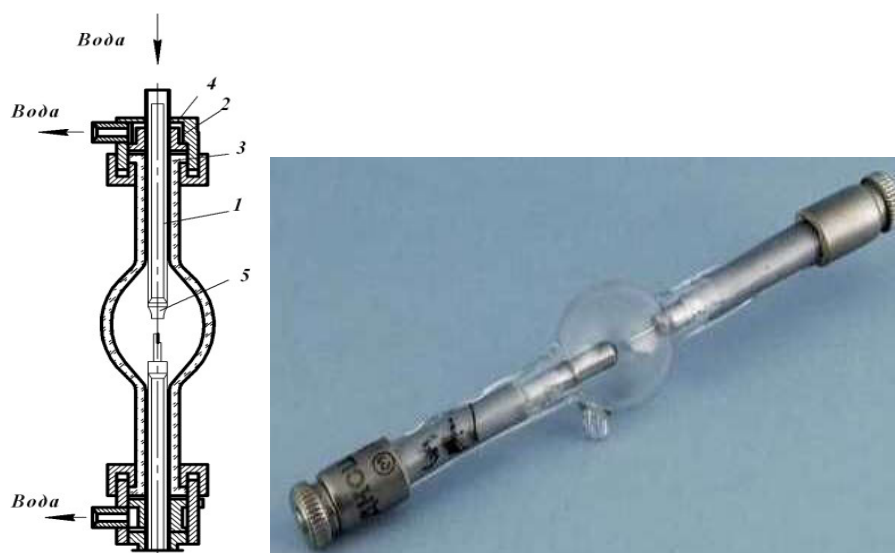


Рис. 6.7 – Ксенонова лампа типу ДКСР

Ксенонові лампи можуть працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Головна відмінність полягає в конструкції електродів: для постійного струму анод роблять масивним і розташовують у верхній частині лампи, а для змінного струму обидва електроди мають однакову конструкцію.

З торців кварцової лампи встановлюються розбірні вводи, що складаються з металевих трубок (1) діаметром 12–16 мм, які виконують функцію струмопроводу та охолоджуються водою. На кінцях трубок запресовані водоохолоджувані аноди (5). Щільне вакуумне з'єднання між корпусом вводу, струмопроводами і кварцовою колбою забезпечується фланцем (3), корпусом введення (2) і притисочною гайкою (4) з ущільнювальними свинцевими прокладками. Через штуцера подається охолоджуюча вода.

Короткодугові ксенонові лампи можуть випускатися в керамічній оболонці з вбудованим рефлектором, що підвищує безпеку, оскільки скляне вікно для виходу світла невелике. Таке вікно може бути прозорим або непрозорим для ультрафіолетового випромінювання. Рефлектори бувають параболічні (для паралельного світлового потоку) або еліптичні (для сфокусованого світла).

Трубчасті ксенонові лампи відрізняються від короткодугових конструкцією: електроди рознесені, а колба має трубчасту форму. Лампи з довгою дугою потребують меншого баласту, а іноді можуть працювати без нього. Такі лампи часто встановлюють в еліптичні рефлектори для імітації сонячного випромінювання, наприклад при тестуванні сонячних батарей або перевірці світлостійкості матеріалів.

На рис. 6.8 показано трубчасту ксенонову лампу типу ДКсТВ 6000.

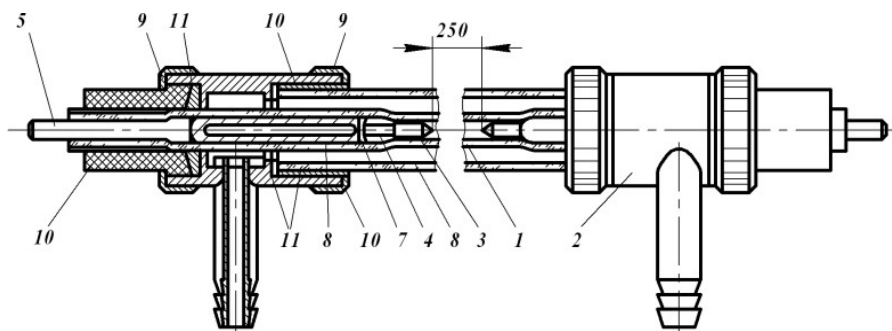


Рис. 6.8 – Трубчаста ксенонова лампа

Лампа має розрядну трубку (1) з кварцу з двома електродами (3) з торійованого вольфраму. Вводи виготовлені з молібденової фольги. Розрядна трубка заповнена ксеноном під тиском 0,05 МПа і розташована по осі всередині скляного циліндра (2), який утворює порожнину для циркуляції води. Вода охолоджує трубку гвинтоподібним потоком завдяки зміщенню осей патрубків (12) відносно площини, що проходить через вісь лампи. Витрата охолоджуючої води становить 5 л/хв при початковій температурі 5°C і 40°C на виході.

Для охолодження застосовується дистильована вода в замкнутому контурі (рис. 6.9).

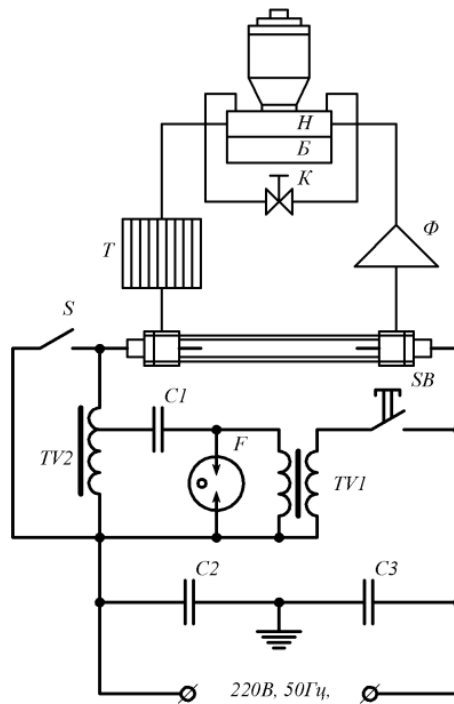


Рис. 6.9 – Принципова спрощена схема пускового пристрою і система охолодження лампи ДКсТВ

Система охолодження включає бак для води (Б), насос (Н), що забезпечує необхідний витік, фільтр (Ф) для очищення від механічних домішок, перепускний кран (К) для регулювання тиску та теплообмінник (Т) для охолодження води, що виходить з лампи. Використання водопровідної води можливо, але це призводить до швидкого забруднення трубок і зниження ефективності лампи, а часті розбирання та очищення водопідвідних вузлів можуть пошкодити скляні елементи лампи.

Окрім ламп з водяним охолодженням, промисловість випускає ксенонові лампи ДКсТ з природним повітряним охолодженням, які відзначаються простотою конструкції та зручністю експлуатації.

Переваги дугових ксенонових ламп:

- найвища серед усіх джерел світла одинична потужність і світловий потік;
- сприятливий спектральний склад видимого випромінювання.

Ці якості дозволяють застосовувати їх у великих освітлювальних установках та опромінювальних установках для вирощування рослин за умови корекції спектру у УФ та ІЧ діапазонах.

Недоліки ксенонових ламп:

- світловий потік пульсує з подвійною частотою мережі, що викликає стробоскопічний ефект;
- світлова віддача низька – $20\text{--}45 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ залежно від потужності та виду охолодження;
- обмежений термін служби, хоча при стабілізованій напрузі він може досягати кількох тисяч годин;
- для запалювання потрібен складний і дорогий запалюючий пристрій, а комутація високовольтних імпульсів для кількох ламп створює додаткові труднощі.

6.2. Використання газорозрядних ламп високого тиску в сільському господарстві

У сучасному сільському господарстві питання штучного освітлення залишається актуальним, особливо в умовах цілорічного вирощування рослин у теплицях та утримання тварин у закритих приміщеннях. Газорозрядні лампи високого тиску (ГЛВТ) — ртутні (ДРЛ), натрієві (ДНаТ) та металогалогенні (МГЛ) — тривалий час залишаються основним типом джерел світла в аграрному секторі, зокрема там, де потрібне потужне, рівномірне й відносно недороге освітлення.

У більшості українських теплиць, особливо побудованих у 1990–2010-х роках, досі встановлені натрієві лампи високого тиску типу ДНаТ-400 або ДНаТ-600, які забезпечують стабільний світловий потік і мають теплий спектр випромінювання. Ці лампи активно використовуються для вирощування томатів, огірків, перцю, салатів та квітів у зимовий період, коли природного освітлення недостатньо.

В умовах великих тепличних комплексів натрієві лампи поєднуються із дзеркальними відбивачами, що дозволяє рівномірно розподілити світло по грядках. Попри появу LED-технологій, багато господарств продовжують експлуатувати ГЛВТ через їхню надійність, доступну ціну та простоту обслуговування.

Металогалогенні лампи (МГЛ) застосовуються рідше, переважно у розсадниках або лабораторіях, де потрібно отримати спектр, близький до сонячного. Їхня перевага — хороша передача кольору і баланс синьої та червоної складових, важливих для розвитку рослин. Проте їхня висока ціна та складні умови експлуатації обмежують широке використання.

У тваринницьких господарствах газорозрядні лампи високого тиску застосовуються для освітлення корівників, свинарників і пташників. Найчастіше використовуються натрієві лампи, які забезпечують тепле, рівномірне освітлення без різких тіней. Це позитивно впливає на поведінку тварин, зменшує стрес і сприяє стабільним продуктивним показникам. Наприклад, у птахофермах використання таких ламп дає змогу підтримувати оптимальний світловий режим, що стимулює несучість і ріст молодняка. Завдяки високій інтенсивності світла, кількість ламп можна зменшити, що знижує енергоспоживання на одиницю площі.

У сучасних реаліях українського сільського господарства, де вартість електроенергії постійно зростає, питання енергоефективності стає визначальним. Хоча ГЛВТ поступаються LED-світильникам за економічністю, їх продовжують використовувати через:

- наявність уже встановленої інфраструктури (пускорегулювальні апарати, світильники, кріплення);
- високу вартість повної заміни на LED-системи;
- доведену на практиці надійність у складних умовах (пил, вологість, коливання напруги).

Багато фермерських господарств переходять на комбіновані системи освітлення, де газорозрядні лампи високого тиску доповнюються LED-модулями. Такий підхід дозволяє поступово модернізувати тепличні комплекси, підвищуючи ефективність освітлення без значних капітальних вкладень.

Переваги ГЛВТ у реальних умовах:

- стабільна робота при низьких температурах;
- велика потужність світлового потоку (до 100 000 лм з однієї лампи);
- довговічність (10–20 тис. годин роботи);
- простота заміни та доступність комплектуючих.

Недоліки:

- наявність ртуті, що створює екологічні ризики;

- значне енергоспоживання (до 400–600 Вт на лампу);
- втрата до 30 % світлового потоку після 5–7 тис. годин роботи;
- потреба у спеціальних пускорегулювальних пристроях і регулярному технічному обслуговуванні.

У реальних умовах українського аграрного виробництва газорозрядні лампи високого тиску залишаються актуальними завдяки своїй потужності, доступності та перевірній ефективності. Водночас тенденції розвитку галузі спрямовані на поступовий перехід до LED-технологій, які забезпечують вищу енергоефективність і гнучке керування спектром випромінювання. У найближчі роки очікується, що газорозрядні лампи будуть зберігатися в експлуатації переважно на великих промислових об'єктах, тоді як нові тепличні комплекси оснащуватимуться переважно світлодіодними системами.

6.3 Світлодіодні лампи, їх основні характеристики

Світлодіодні лампи, або LED-лампи, значно економичніші за традиційні джерела світла, споживаючи в рази менше електроенергії. Їх світловіддача може досягати 150 лм/Вт, що дозволяє, наприклад, лампі потужністю всього 9 Вт світити як 75-ватна лампа розжарювання. Термін служби таких ламп становить 50 000–100 000 годин, що при 10 годинах роботи на день еквівалентно 12,5–25 рокам експлуатації.

На відміну від газорозрядних люмінесцентних ламп, LED-лампи абсолютно безпечні. Вони забезпечують постійний світловий потік завдяки роботі від постійного струму, а їх випромінювання не містить значних ультрафіолетових і інфрачервоних складових. Світлодіоди можуть працювати при зміні напруги від 80 до 230 В, хоча яскравість може трохи змінюватися. Конструкція лампи повністю пластикова, тому вона не розбивається при падінні. Крім того, у LED-ламп відсутні тендітні скляні колби та нитки розжарювання.

До недоліків LED-ламп відносять високу ціну та виділення тепла. Також для роботи лампи потрібен драйвер, і чим складніше конструкція приладу, тим вищий ризик виходу з ладу будь-якого електронного компонента, що може призвести до поломки всієї лампи. Проте надійність багато в чому залежить від якості елементної бази та збірки.

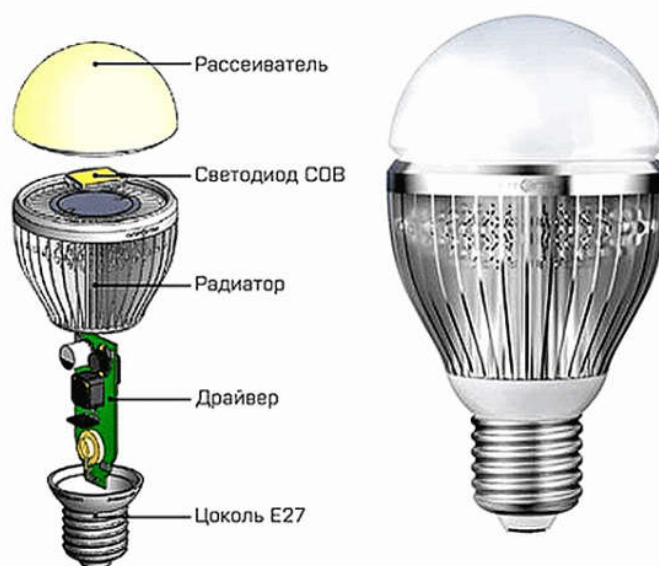


Рис. 6.10 – Світлодіодної лампи типу EKF.

Світлодіодна лампа складається з таких основних елементів: розсіювача, плати зі світлодіодами (кластера), радіатора для охолодження світлодіодів, драйвера (джерела живлення світлодіодної плати) та цоколя. Розмір радіатора залежить від потужності лампи.

У лампі використовується стандартний цоколь E27, який фіксується за допомогою точкових заглиблень по всьому периметру. Корпус виготовлений з алюмінію та теплоізоляційного пластику для ефективного відведення тепла, при цьому максимальна температура нагріву корпусу досягає 65 °С.

Драйвер кріпиться до корпусу за допомогою спеціальної силіконової пасти і виконує функцію перетворення змінної напруги мережі 220 В у постійний струм для живлення світлодіодної плати. На драйвері використана мікросхема BP2832A, а його конструкція побудована на імпульсному перетворювачі, виходи якого припаюються до плати зі світлодіодами. Діапазон робочої напруги драйвера — від 85 до 265 В. Для стабільної роботи при високих температурах застосовуються електролітичні конденсатори, розраховані на +105 °С.

Розсіювач лампи виконаний із пластику і забезпечує рівномірне розсіювання світлового потоку. На платі розташовано 28 світлодіодів типу SMD, з'єднаних у дві паралельні стрічки по 14 шт., які між собою сполучені послідовно.

Світлодіод — це напівпровідниковий прилад, який перетворює електричний струм у світлове випромінювання. Однак у потужних світлодіодах, які використовуються в лампах, є один недолік: р-п перехід не є ідеальним, і частина енергії електронів витрачається на тепло замість світла. Для відведення цього тепла встановлюється радіатор.

Драйвер виконує ще одну важливу функцію: він задає частоту живлення світлодіодів, яка визначає їхню яскравість. Яскравість регулюється саме частотою струму, а не зміною напруги. Крім того, обмеження частоти живлення допомагає зменшити деградацію світлодіодів і продовжує термін їх служби. На рис. 6.11 наведено приклад стандартної схеми драйвера світлодіодної лампи.

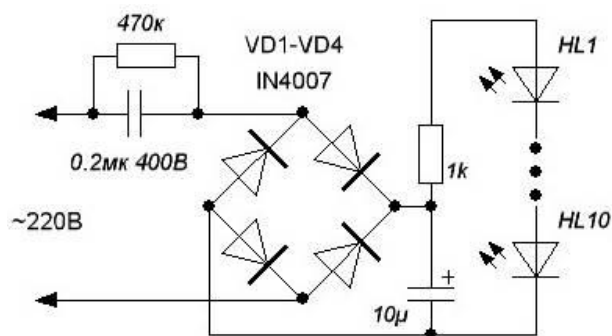


Рис. 6.11 – Схема електрична принципова драйвера

Зважаючи на все, світлодіодне освітлення є по більшій частині корисним, а не шкідливим. Але дане твердження відноситься тільки до відомих брендів, які відповідають за якість своєї продукції і її повна відповідність усім заявленим параметрам. Усі інші прилади теж є цілком придатними для використання, але не варто використовувати їх як основне світло (у кабінеті, їдальні або вітальні).

Широке застосування в пташниках і тваринницьких приміщеннях знаходять світильники з лінійними світлодіодними лампами типу ССГТ і точкові світлодіодні лампи типу ЛРС. Герметичні світлодіодні світильники ССГТ призначені для установки під стелею на тросі при напільному утриманні птиці, або в проходах між клітками, при клітковому

утриманні. Лампа типу ЛРС виконана на основі стандартного патрона Е27 і може встановлюватись в герметичний плафон. Регулювання яркості світіння виконується тиристорним регулятором освітлення УРЗ-40.



Рис. 6.12 – Світлодіодні лампи типу ССГТ

Таблиця 6.3 - Переваги світлодіодних ламп

Перевага	Опис
Максимальна економія електроенергії	LED лампи споживають значно менше електроенергії порівняно з традиційними лампами. Наприклад, лампа зі світловим потоком 800 лм (еквівалент 75 Вт лампи розжарювання) споживає всього 10 Вт.
Супер довгий ресурс роботи	Розрахунковий термін служби становить 30–50 тис. годин, ресурс включень/виключень — 15–25 тис. циклів. Реальний термін залежить від типу світлодіодів та якості виготовлення.
Миттєве включення	LED лампи спалахують відразу після подачі живлення, без затримки на «розгортання», як у енергозберігаючих ламп.
Комфорт для очей	Світло рівномірне, м'яке, без мерехтінь, оптимальне для зору. Підходить для роботи, відпочинку та повсякденного освітлення.
Безпека	У конструкції відсутня ртуть та інші небезпечні елементи. Колба зазвичай виготовлена з пластмаси, а світло не містить шкідливих УФ-випромінювань і теплового випромінювання.
Відсутність інфрачервоного випромінювання	LED лампи не створюють перешкод для камер і інфрачервоних датчиків охоронних систем, що робить їх зручними для сучасних технологічних приміщень.

Лампа розжарювання	Люмінесцентна лампа	Світлодіодна лампа	Світловий потік
			
20 Вт	5-7 Вт	2-3 Вт	~200 Лм
40 Вт	10-13 Вт	4-5 Вт	~400 Лм
60 Вт	15-16 Вт	8-10 Вт	~700 Лм
75 Вт	18-20 Вт	10-12 Вт	~900 Лм
100 Вт	25-30 Вт	12-15 Вт	~1200 Лм
150 Вт	40-50 Вт	18-20 Вт	~1800 Лм
200 Вт	60-80 Вт	25-30 Вт	~2500 Лм

Рис. 6.13 – Порівняння потужності світлодіодних ламп з лампами накаливання і люмінесцентними лампами

6.4. Використання світлодіодних ламп в сільському господарстві

Світлодіодні системи освітлення відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві завдяки своїй високій керованості та ефективності. Вони дозволяють точно регулювати інтенсивність і спектр світла за допомогою датчиків та диммерів, створюючи оптимальні умови для росту рослин і формуючи чіткі цикли «дня» та «ночі». Такі рішення сприяють автоматизації процесів освітлення та підвищують продуктивність тепличних господарств.

Водночас робоче середовище аграрних об'єктів часто є агресивним через наявність парів аміаку, вуглекислоти та інших активних сполук, що утворюються внаслідок життєдіяльності тварин або переробки органічних відходів. Тому для освітлення необхідно використовувати світлодіодні світильники з високим ступенем захисту — не нижче IP65, а опорні конструкції виконувати з хімічно стійких матеріалів. У місцях з підвищеною вологістю або випарами рекомендується додаткове зміцнення підвісів металевими дротами чи ланцюгами.

Останніми роками широкого поширення набули спеціальні фітосвітильники на базі LED, які дозволяють задавати потрібну довжину хвилі світла для фотосинтезу, що робить їх більш ефективними, ніж звичайні лампи. Такі системи використовуються як у промислових теплицях, так і в побутових умовах для вирощування овочів, зелені чи декоративних рослин. Світлодіоди забезпечують можливість збільшення площі посадок завдяки багаторушним конструкціям, де освітлення монтується під кожним рівнем, дозволяючи раціональніше використовувати простір без розширення земельних ділянок.

Додатковою перевагою LED-освітлення є здатність продовжувати світловий день до 18–20 годин або навіть забезпечувати цілодобове освітлення — це не лише стимулює ріст

рослин, а й зменшує активність шкідників, які орієнтуються на темряву. Таким чином, можна знизити використання пестицидів і отримати екологічно чисту продукцію.



Рис. 6.14 – Використання LED освітлення в с.г.

З технічного боку, освітлення теплиць не потребує складних систем — зазвичай достатньо верхнього та локального підсвічування. Для невисоких культур використовуються легкі світильники на прищіпках, а для більших рослин — потужні LED-прожектори або спот-світильники. Основна вимога до всіх типів обладнання — високий ступінь захисту від вологи, пилу та механічних пошкоджень (не нижче IP44), що забезпечує їхню довговічність і стабільну роботу.

Отже, використання світлодіодного освітлення в аграрному секторі дозволяє поєднати енергоефективність, автоматизацію, гнучкість керування та екологічну безпеку, що робить такі технології найперспективнішими для сучасного рослинництва та тваринництва.

Питання для самоперевірки

1. Чому повторне запалювання лампи ДРЛ можливе лише через 10... 15 хвилин після її погасання ?
2. Поясніть будову і принцип дії ламп ДРЛ.
3. Основні переваги і недоліки ламп ДРЛ порівняно з люмінесцентними лампами.
4. Поясніть призначення люмінофору в газорозрядних лампах.
5. Яка різниця між лампами типу ЛЕ і люмінесцентними лампами?
6. Які вимоги пред'являються до ламп, що використовуються в теплицях?
7. Які лампи використовуються для ультрафіолетового опромінення?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису будови, принципу дії газорозрядних ламп та їх основні характеристики.
2. Самостійно відновити матеріал з опису будови, принципу дії світлодіодних ламп.

3. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Наслідки впливу люмінесцентного освітлення на організм людини та тварин. Найбезпечніший спектр випромінювання для живих організмів.

ТЕМА №7. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СВІЛОТЕХНІЧНОГО РОЗРАХУНКУ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою вибору та розрахунку основних показників світлотехнічного розрахунку.

Анотація

У лекції розглянуто основні принципи проектування систем штучного освітлення для сільськогосподарських приміщень, вимоги до якості освітлення та його вплив на продуктивність тварин і ріст рослин. Наведено критерії вибору світильників, джерел світла та методи оцінювання освітленості відповідно до норм. Особлива увага приділена енергоефективності та раціональному використанню світлових ресурсів у аграрному виробництві.

Keywords: artificial lighting, agricultural premises, lighting quality, design, luminaires, energy efficiency, illumination.

План лекції

1. Основні вимоги до електричного освітлення сільськогосподарських приміщень.
2. Види і системи освітлення.
3. Вибір типу джерел світла та світильників.
4. Вибір нормованої освітленості.
5. Вибір коефіцієнту запасу.
6. Розміщення світильників у приміщенні.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

7.1. Основні вимоги до електричного освітлення сільськогосподарських приміщень

Якість штучного освітлення в сільськогосподарських приміщеннях суттєво впливає на зорове навантаження, фізичний і психологічний стан працівників, а отже — на продуктивність праці, якість продукції та рівень виробничого травматизму. Чим точніша й напруженіша зорова робота, тим більш відчутним є цей вплив. Багаточисельні дослідження довели залежність функцій зору від параметрів штучного освітлення. Ці дані використовуються при нормуванні освітлювальних установок, виборі джерел світла, систем і способів освітлення.

Підвищення рівня освітленості у виробничих приміщеннях або на відкритих робочих місцях позитивно позначається на гостроті зору, стійкості ясного бачення, швидкості

розпізнавання об'єктів і контрастній чутливості. Збільшення контрасту між об'єктом і фоном покращує зорову працездатність. Водночас надмірна різниця яскравості між робочою зоною та навколишнім фоном призводить до її зниження. Найсприятливіші умови забезпечує система загального освітлення, тоді як при комбінованій системі покращення досягається шляхом збільшення яскравості фону, зокрема завдяки підвищенню коефіцієнтів відбиття стін, стелі, підлоги та обладнання. Проте надто світлі поверхні можуть мати зворотний ефект.

У багатьох виробничих процесах важливе значення має напрямок світлового потоку, який забезпечує оптимальні умови зорової роботи: дозволяє краще розрізняти деталі, усуває тіні або відблиски від джерел світла. Такі умови досягаються правильним вибором системи освітлення (загальної або комбінованої), типів світильників та їх розташування відносно робочих місць. Часто найкращі рішення визначають експериментально.

Зниження зорової працездатності викликає блиск — як прямий (надмірна яскравість джерел світла), так і відбитий (дзеркальне відображення світла від робочої поверхні в напрямку очей). Чим точніша та триваліша зорова робота, тим сильніше негативний вплив блиску. Він знижує продуктивність праці та викликає швидко втому очей. Зменшення прямого блиску досягається правильним вибором світильників і їх розміщенням; усунення відбитого блиску є складнішим завданням.

Додатково на зір негативно впливають пульсації освітленості, що виникають при живленні світильників від мережі промислової частоти (50 Гц). Вони викликають втому очей, а при роботі з рухомими механізмами — стробоскопічний ефект, який підвищує ризик травматизму. Тому необхідно забезпечувати зниження пульсації до рівня, визначеного нормами.

Хоча покращення освітлення потребує додаткових витрат, вони швидко окупаються за рахунок зростання продуктивності, поліпшення якості продукції та зменшення кількості нещасних випадків.

Основні вимоги до електричного освітлення

1. Достатня освітленість — на робочому місці має бути забезпечено необхідний рівень світла, відповідно до встановлених норм для певного виду робіт.
2. Відсутність сліпучої дії — світильники не повинні засліплювати працівників. Це досягається правильним вибором типу приладів, висоти їх підвісу та розміщення.
3. Відповідність типу джерел світла умовам роботи — особливо важливо для пташників, корівників, свинарників тощо.
4. Правильний напрямок світла — для різних робіт потрібне або розсіяне, або спрямоване освітлення; цього досягають добором відповідних світильників і кутів їх встановлення.
5. Рівномірність освітленості — світло повинно розподілятися по приміщенню рівномірно, щоб уникнути надмірно яскравих ділянок і перевитрати енергії.
6. Стабільність освітлення — рівень освітленості не повинен змінюватися через коливання напруги чи роботу потужного обладнання, оскільки це спричиняє втому зору.
7. Відповідність умовам середовища — світильники повинні бути стійкими до вологи, пилу, диму, вибухонебезпечних газів і агресивних речовин.
8. Зручність обслуговування — має бути забезпечений легкий доступ до ламп для їх заміни й очищення від пилу та бруду.

Якщо врахувати перераховані вимоги до електричного освітлення виробничих приміщень, то можна спланувати наступний перелік питань, які необхідно вирішувати при розробці світлотехнічної частини проекту:

- вибір системи і виду освітлення;
- вибір величини освітленості;
- вибір типів джерел світла;
- вибір типів світильників;
- вибір кількості світильників і схеми їх розміщення;
- визначення потужності джерел світла.

7.2. Види і системи освітлення

Вид освітлення — це класифікація систем освітлення за їх функціональним призначенням у виробничому процесі, спрямована на забезпечення безперебійної роботи освітлювальної системи.

Система освітлення — це сукупність джерел оптичного випромінювання, об'єднаних за певною схемою розташування.

І види, і системи освітлення призначені для створення необхідних умов видимості в зоні робочих місць або у навколишньому просторі виробничого об'єкта.

У практиці освітлення виробничих приміщень застосовують загальну, місцеву та комбіновану системи освітлення.

Загальне освітлення може бути двох типів залежно від способу розміщення джерел світла:

- рівномірне — коли відстань між світильниками в рядах і між рядами залишається постійною;
- локалізоване — коли кожне джерело світла розміщується так, щоб забезпечити найкращий напрямок світлового потоку, усунути тіні й оптимально освітити робочу зону. При цьому розташування світильників визначається особливостями технологічного обладнання.

Місцеве освітлення - забезпечує необхідний рівень видимості лише в межах конкретної робочої поверхні. Світильники місцевого освітлення можуть бути як стаціонарними, так і переносними.

Комбіноване освітлення - поєднує в собі загальне та місцеве, створюючи найбільш сприятливі умови для зорової роботи.

При виборі систем освітлення необхідно користуватися наступними міркуваннями:

- загальну рівномірну систему освітлення найбільш доцільно застосовувати у приміщеннях:

- а) де виконуються відносно грубі роботи;
 - б) в яких робочі поверхні розташовані з великою щільністю або робота ведеться по всій площині;
 - в) громадського призначення, навчальних та побутових;
 - г) тваринницьких та інших сільськогосподарських приміщеннях, де нормована освітленість не перевищує 50 лк для ламп розжарювання та 150 лк для газорозрядних ламп;
- до переваг загального рівномірного освітлення необхідно віднести:
- а) забезпечення рівномірного розподілу освітленості загальногорівня по всій площині приміщення;
 - б) застосування світильників і джерел випромінювання одного типу і потужності;
 - в) однакова висота підвісу;
 - г) малий коефіцієнт пульсації; д) не заважає робочі місця;
 - е) конструктивно не пов'язане з технологічним обладнанням; ж) не потребує зміни при

перестановці робочих місць;

- до недоліків загального рівномірного освітлення можна віднести: а) потребує використання джерел випромінювання більшої

- потужності ніж при локальному;

- б) не забезпечує необхідний рівень освітленості і напрямок світлового потоку на робочих поверхнях, які можуть бути закритими близько розташованим обладнанням і самим працюючим;

- локалізована система освітлення використовується у випадках: а) великих розмірів освітлюваних поверхонь;

- б) розміщення технологічного обладнання зосередженими групами, або рядами;

- до переваг локалізованої системи освітлення можна віднести:

- а) потрібна потужність джерела випромінювання, як правило менша, ніж при загальному рівномірному освітленні;

- б) дозволяє краще освітити робочі поверхні за рахунок усунення тіней від обладнання та самого працівника;

- в) забезпечити необхідний напрямок світлового потоку;

- до недоліків локалізованої системи освітлення відносяться:

- а) потребує розрахунку освітленості на різних ділянках виробничої поверхні;

- б) необхідність індивідуального вибору типу світильників і джерел випромінювання згідно з розташуванням та особливостями робочих місць;

- в) те, що може бути різна висота підвісу світильників; г) конструктивна прив'язка до робочого місця;

- д) потребує зміни при перестановці робочих місць;

- у виробничих приміщеннях забороняється використання тільки місцевого освітлення:

- до переваг місцевого освітлення можна віднести: а) менша потужність джерела випромінювання;

- б) можливість переносу світильників у місця, безпосереднього виконання робіт;

- в) можливість забезпечити необхідний напрямок світлового потоку;

- до недоліків відносяться такий самий перелік, що і системи локалізованого загального освітлення та необхідність виконання окремої електричної мережі і на іншу напругу; обов'язкова необхідність доповнення системою загального освітлення;

- комбіновану систему доцільно використовувати:

- а) при створенні належних умов видимості у границях робочих поверхонь сумісною дією загального та локалізованого освітлення;

- б) при високому рівні необхідної освітленості;

- в) при нещільному і фіксованому розташуванні робочих місць;

- г) при необхідності в певному або змінному напрямку світлового потоку;

- д) при недоступності робочих поверхонь для загального освітлення завдяки затінення їх частинами технологічного обладнання;

- е) при виконанні робіт високої точності;

- ж) при особливих вимогах до якості освітлення;

- до переваг комбінованої системи освітлення відносяться:

- а) можливість отримання значно високої освітленості на робочих поверхнях;

- б) забезпечення певного і змінного напрямку світлового потоку; в) можливість освітлення внутрішніх порожнин предметів;

- недоліками комбінованої системи є:

- а) необхідність більш високих капітальних вкладень, ніж при системі загального освітлення;

- б) такі ж самі, що позначені у пунктах а-д недоліків локалізованої системи;

- слід знати, що загальне рівномірне освітлення у комбінованій системі повинно забезпечувати не менш, ніж 10% нормованої освітленості незалежно від типу ламп локалізованого або місцевого освітлення, але не нижче 50 лк при лампах розжарювання та 150 лк при газорозрядних лампах.

За видом освітлення, за нормами ДНБ В.2.5.-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування», може бути:

- робоче, призначення якого є забезпечення необхідної освітленості на робочих поверхнях;

- чергове, яке призначено для освітлення приміщень у темний період доби;

- охоронне, яке виконується для освітлення територій виробничих об'єктів зовні приміщень;

- аварійне, яке застосовується при відмові робочого освітлення і призначене або для евакуації людей, або продовження виробничого процесу.

Для визначення виду освітлення при проектуванні, необхідно враховувати наступні рекомендації:

- робоче освітлення є основним видом і застосовується на всіх виробничих ділянках і робочих місцях;

- чергове освітлення застосовують:

- а) для догляду за тваринами у нічний період доби. При цьому загальна кількість світильників складає:

- 1) у приміщеннях для утримання тварин – 10 % від загальної кількості;

- 2) у пологових відділеннях - 15 % від загальної кількості;

- аварійне освітлення для продовження робіт на сільськогосподарських об'єктах влаштовують:

- а) на інкубаторних станціях, ветеринарних пунктах, зернопунктах, які мають протравлювачі, сушильних установках, диспетчерських пунктах, установках водозабезпечення, каналізації та теплофікації;

- б) у випадках порушення нормального обслуговування хворих;

- в) у випадках, коли перебої у освітленні приміщення ведуть до припинення обслуговування обладнання, що може викликати пожежу, вибух, отруєння людей;

- аварійне освітлення для евакуації людей влаштовують:

- а) при загрозі масового травматизму, у місцях скупчення людей(більш ніж 100 чоловік);

- б) у виробничих приміщеннях з числом працюючих більш ніж 50людей;

- в) у дитячих установах, незалежно від кількості перебування у них дітей;

- аварійне освітлення для продовження роботи повинно забезпечувати на робочих місцях, які потребують обов'язкового обслуговування, освітленість не менш ніж 5 % від нормованих умов освітлення;

- для живлення системи аварійного освітлення повинно застосовувати або резервне, або автономне джерело живлення;

- освітленість, яка створюється аварійним освітленням для евакуації людей, повинна

бути, не менш, як 0,5 лк на стелі по вісі основних проходів і на сходах сходів, а в зовнішніх установках 0,2 лк;

- світильники аварійного освітлення повинні відрізнятися від світильників робочого освітлення.

7.3. Вибір типу джерел світла та світильників

Електричним джерелом світла є пристрій, який перетворює електричну енергію в променисту енергію оптичного спектру з довжиною хвиль від 1 до 10^6 нм. Із п'яти класів електричних джерел світла у сільськогосподарському виробництві найбільше розповсюдження знайшли два:

- джерела теплового випромінювання (лампи розжарювання);
- газорозрядні джерела оптичного випромінювання низького, високого і надвисокого тиску.

Лампи розжарювання відрізняються між собою електричними, світлотехнічними та експлуатаційними характеристиками.

До електричних характеристик відносяться: номінальна напруга, номінальна потужність, рід струму (постійний, змінний). Основною світлотехнічною характеристикою є випромінюваний світловий потік $\Phi_{\text{л}}$, який залежить від електричних характеристик та температури розігріву нитки розжарення.

Експлуатаційними характеристиками, які визначають економічні показники роботи ламп, є світлова віддача та номінальний термін служби. Промисловістю випускаються різноманітні лампи розжарювання.

Найбільше застосування знайшли лампи: загального призначення, кварцові галогенні лампи та лампи-термовипромінювачі з різними характеристиками. Для підвищення ефективності джерел оптичного випромінювання все більше звертають увагу на газорозрядні лампи, доля яких в структурі виробництва неухильно зростає.

В процесі проектування при виборі джерела світла необхідно враховувати наступне:

- для загального освітлення приміщень основного виробничого призначення (утримання тварин, птиці і звірів) слід, як правило, застосовувати газорозрядні джерела світла низького тиску (люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛБР, ЛД та ін.);

- для приміщень підсобного призначення рекомендується застосовувати лампи розжарювання;

- дозволяється для освітлення приміщень основного виробничого призначення застосування ламп розжарювання, але це необхідно з'ясовувати з рекомендаціями;

- для освітлення території сільськогосподарських підприємств, виробничих площадок, проїздів слід, як правило, застосовувати газорозрядні джерела світла високого і низького тиску, але дозволяється застосування ламп розжарювання при з'ясуванні з рекомендаціями;

- для аварійного освітлення можна використовувати тільки лампи розжарювання;

- для аварійного освітлення допускається використовувати газорозрядні лампи низького тиску при умові, що їх живлення у всіх режимах буде здійснюватися від мережі змінного струму напругою не нижче, ніж 90% від номінального;

- застосування ламп типів ДРЛ, ДРИ та ксенонових для аварійного освітлення **заборонено**;

- відхилення живлячої напруги від номінальної значно впливає на характеристики ламп;
- у ламп розжарювання в матованих колбах світловий потік на 3 %, в опалових – на 10 %, із молочного скла – на 20 % нижче, ніж в прозорій колбі;
- лампи розжарювання загального призначення необхідно експлуатувати при відносній вологості оточуючого середовища не більш, ніж 98%, температурі від мінус 60 °C до плюс 50 °C та зовнішньому тиску 68 – 101 кПа;
- лампи розжарювання не дозволяють майже короткочасного зіткнення з водою у робочому режимі;
- люмінесцентні лампи зберігають номінальні параметри при температурі оточуючого повітря 20 – 25° C;
- лампи розжарювання у сільськогосподарському виробництві найбільш *переважні*: при низьких та середніх рівнях освітленості (не більш 50 лк); у світильниках місцевого освітлення при загальній системі освітлення приміщення люмінесцентними лампами; у переносних світильниках; у приміщеннях з частими вмиканням та відключенням ламп і т.п.

7.4. Вибір нормованої освітленості

Вибір нормованої освітленості здійснюється відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування». При цьому враховуються характеристика зорових робіт, тип і система освітлення, розміри об'єктів розпізнавання, контраст між об'єктом і фоном, властивості фону, а також тип використовуваних ламп.

Для внутрішнього освітлення приміщень при рівні освітленості $E_n \geq 50$ лк рекомендовано застосовувати люмінесцентні лампи. Якщо освітленість нижча ($E_n < 50$ лк), використання таких ламп вважається недопустимим.

Слід враховувати, що в тваринницьких приміщеннях освітленість у проходах, призначених для прибирання гною, має становити 25 % від нормованої освітленості для даного типу приміщення, але не менше 10 лк.

Нормовані значення освітленості при проектуванні систем штучного освітлення будівель і споруд, призначених для зберігання сільськогосподарської продукції, а також для тваринницьких і птаховничих приміщень, визначаються згідно з чинними нормативними документами.

Таблиця 7.1 – Вибір нормованої освітленості для приміщень сільськогосподарського призначення

№	Приміщення / зона роботи	Характер зорових робіт	Рекомендована нормована освітленість, лк	Тип освітлення	Рекомендовані джерела світла	Примітка
1	Коровник (зона доїння, роздачі кормів)	Середньої точності	100–150	Комбіноване	Люмінесцентні або LED	Рівномірне освітлення без блиску

№	Приміщення / зона роботи	Характер зорових робіт	Рекомендована нормована освітленість, лк	Тип освітлення	Рекомендовані джерела світла	Примітка
2	Свинарник (зона утримання свиноматок, поросят)	Середньої точності	75–100	Загальне	Люмінесцентні, LED	М'яке, рівномірне світло
3	Пташник (виращування курей, індиків)	Невисокої точності	30–75	Загальне або комбіноване	Люмінесцентні, LED (теплий спектр)	Регулювання світлового режиму добовим циклом
4	Конюшня	Невисокої точності	50–75	Загальне	LED, лампи розжарювання	Уникати прямих блисків
5	Молочний блок, лабораторія	Високої точності	200–300	Комбіноване	Люмінесцентні, LED	Освітлення робочих столів і приладів
6	Склад зерна, кормів	Невисокої точності	50	Загальне	Люмінесцентні, LED	Світильники у пилозахищеному виконанні
7	Овочесховище	Невисокої точності	30–50	Загальне	Люмінесцентні, LED	Температура кольору до 4000 К
8	Майстерня, ремонтна зона	Високої точності	200–300	Комбіноване	Люмінесцентні, LED	Додаткове місцеве освітлення робочої зони
9	Адміністративно-побутові приміщення	Середньої точності	150–300	Загальне	Люмінесцентні, LED	Відповідно до офісних норм
10	Проходи для прибирання гною	Низької точності	≥ 10 (25 % від нормованої)	Загальне	Лампи розжарювання або LED	Мінімальна освітленість для безпеки

Таблиця 7.2 – Вибір нормованої освітленості для побутових приміщень

№	Приміщення	Характер зорових робіт	Рекомендована освітленість, лк	Тип освітлення	Рекомендовані джерела світла	Примітка
1	Житлова кімната	Невисокої точності	100–150	Загальне	LED, люмінесцентні	М'яке, рівномірне світло

№	Приміщення	Характер зорових робіт	Рекомендована освітленість, лк	Тип освітлення	Рекомендовані джерела світла	Примітка
	(вітальня, спальня)					
2	Кухня	Середньої точності	150–200	Комбіноване	LED, люмінесцентні	Додаткове місцеве освітлення робочої поверхні
3	Ванна кімната, санвузол	Невисокої точності	50–100	Загальне	LED (вологостійкі)	Світильники з вологозахистом IP44 і вище
4	Коридор, передпокій	Низької точності	50–75	Загальне	LED, лампи розжарювання	Освітлення для орієнтації в просторі
5	Сходова клітка	Низької точності	50	Загальне	LED	Можливе використання датчиків руху
6	Комора, гардеробна	Низької точності	50–75	Загальне	LED	Локальне освітлення для зручності
7	Робочий кабінет, дитяча кімната	Високої точності	300–500	Комбіноване	LED, люмінесцентні	Обов'язкове настільне світло
8	Пральня, підсобне приміщення	Середньої точності	100	Загальне	LED	Рівномірне розсіяване освітлення
9	Балкон, лоджія (засклені)	Низької точності	50	Загальне	LED	Можливе декоративне освітлення
10	Підвал, технічне приміщення	Низької точності	30–50	Загальне	LED, лампи розжарювання	Світильники у пилозахисному виконанні

7.5. Вибір коефіцієнту запасу

Коефіцієнт запасу визначається як відношення світлового потоку нового світильника з новою лампою до світлового потоку цього ж світильника наприкінці строку служби лампи за умови регулярного очищення освітлювальних приладів.

Величина коефіцієнта запасу залежить від типу світильника, умов навколишнього середовища та частоти очищення світильників протягом року. Рекомендовані значення коефіцієнта запасу наведено у таблицях 7.3 і 7.4.

Для сільськогосподарських приміщень галузевими нормами приймаються такі орієнтовні значення коефіцієнта запасу:

- для ламп розжарювання — 1,15;
- для люмінесцентних ламп — 1,30;
- для світлодіодних (LED) ламп — 1,20.

Світлодіодні джерела світла мають вищу стабільність світлового потоку протягом терміну експлуатації та меншу чутливість до забруднення, тому коефіцієнт запасу для них приймається нижчим, ніж для люмінесцентних ламп.

Таблиця 7.3 - Значення коефіцієнтів запасу для різних виробничих приміщень

Характеристика об'єкту	Коефіцієнт запасу		Розрахункова частота чистки світильників (разів в місяць)
	При ЛР	При ЛЛ	
Приміщення з великим виділенням пилу, диму, капоті (млини, кузні і т. п.)	1,7	2,0	4 рази
Приміщення із середнім виділенням пилу, диму або капоті (деревообробні, майстерні і т.п.)	1,5	1,8	3 рази
Приміщення з малим виділенням пилу, диму або капоті (механічні цехи, громадсько-побутові і т.п.)	1,3	1,5	2 рази
Зовнішнє освітлення світильниками	1,3	1,5	3 рази в рік

Таблиця 7.4 - Значення коефіцієнтів запасу для світильників сільськогосподарських приміщень

Приміщення, технологічні процеси	Коефіцієнт запасу	
	При газорозрядних лампах	При лампах розжарювання
Зона розміщення тварин: маточне поголів'я, молодняк (кормушка)	1,3	1,15
Теж, при доїнні в стійлах (вим'я)	1,3	1,15
Відгодівельне стадо: огляд тварин, допомога при отеленні	1,3	1,15
Доїльні площадки, допоміжні виробничі приміщення (стрижка, миття і т.д.)	1,3	1,15
Ветеринарні приміщення	1,5	1,15
Лабораторії	1,5	1,3
Кормокухні, кормоцехи	1,5	1,3

Вагові, щитові	1,5	1,3
Овочесховища: без переробки	1,3	1,15
з переробкою (зона роботи)	1,3	1,15
Пташники: напільного утримання однорусні багаторусні	1,5 1,5 1,5	1,3 1,3 1,3

7.6. Розміщення світильників у приміщенні

Завдання освітлення робочої поверхні зазвичай може мати кілька варіантів рішень, які відрізняються між собою розташуванням світильників і потужністю застосованих джерел світла.

Під час проектування із сукупності можливих варіантів обирають найраціональніший, керуючись такими основними вимогами:

- забезпечення нормованої освітленості на робочих місцях;
- досягнення необхідної якості освітлення (рівномірність, відсутність блиску, правильний напрямок світлового потоку);
- мінімізація встановленої електричної потужності освітлювальної установки.

Як зазначалося раніше, існують два основні способи розміщення світильників загального освітлення — рівномірне та локалізоване.

При локалізованому розміщенні місця встановлення світильників визначаються індивідуально для кожного об'єкта, з урахуванням особливостей виробничого процесу, розташування технологічного обладнання та специфіки виконуваних робіт.

У разі рівномірного розташування світильників необхідно керуватися низкою загальних принципів, які забезпечують виконання наведених вище умов.

Досягнення оптимальних параметрів освітлення забезпечується вибором найбільш доцільної відстані між світильниками у ряду та між рядами. Ці відстані визначаються з урахуванням двох коефіцієнтів — λ_c (світлотехнічний) та λ_e (економічний), значення яких залежать від типу кривої сили світла світильника (див. табл. 7.5).

Таблиця 7.5 - Рекомендовані значення λ для світильників з типовими кривими сили світла

Типова крива сили світла	λ_c	λ_e
Концентрована (К)	0,4 – 0,7	0,6 – 0,9
Глибока (Г)	0,3 – 1,1	1,0 – 1,4
Косинусна (Д)	1,4 – 1,6	1,6 – 2,1
Рівномірна (М)	1,3 – 2,6	2,6 – 3,4
Напівширока (Л)	1,6 – 1,8	1,8 – 2,3

При рівномірному розміщенні світильники розміщують по кутах прямокутника або вершинам ромба з урахуванням доступу до них для обслуговування (рис. 7.1).

На рис. 7.1 показані варіанти розміщення світильників.

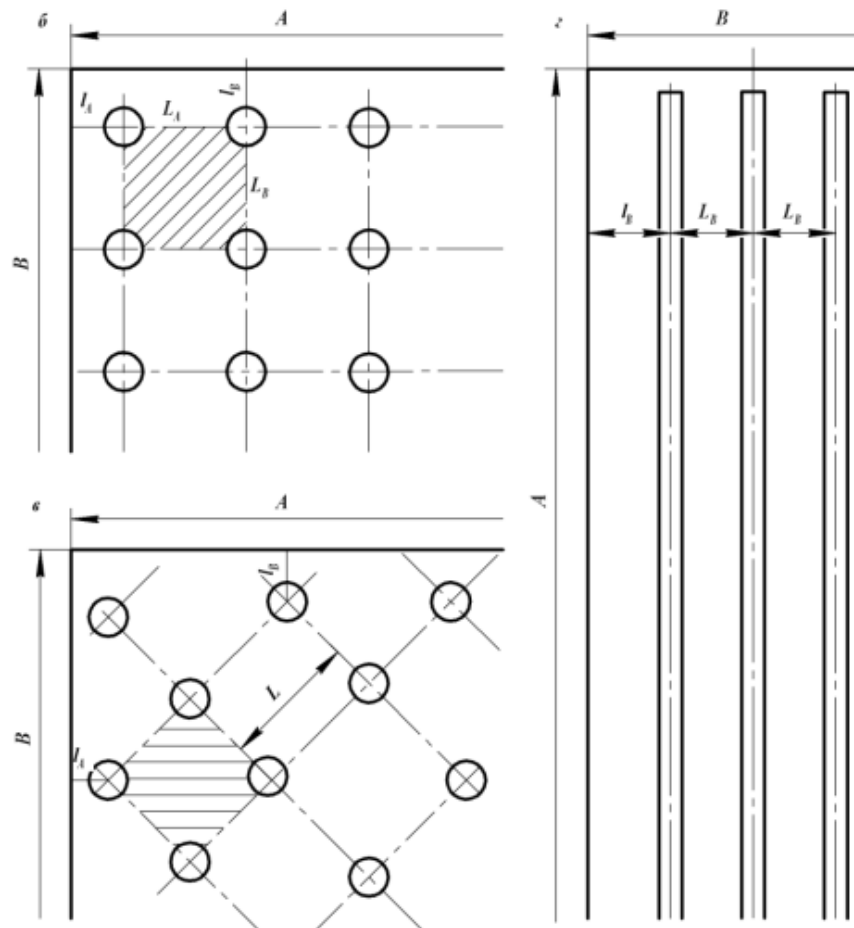


Рис. 7.1 – Варіанти розміщення світильників: б) по кутам прямокутника; в) по вершинам ромба; г) в лінію (для світильників з ЛЛ)

При рівномірному освітленні відстань між світильниками в ряду L_A і між рядами світильників L_B визначають за формулою:

$$L_{A,B} \approx (\lambda_c - \lambda_e) H_p$$

де H_p - розрахункова висота встановлення світильників, м.

Світлотехнічно найвигідна відносна відстань (λ_c) визначає таке розташування світильників, за якого освітленість робочої поверхні розподіляється з максимальною рівномірністю.

Збільшення значення λ_c понад рекомендоване призводить до погіршення рівномірності освітлення, хоча водночас зменшує загальну встановлену потужність освітлювальної системи.

Коли $\lambda_c = \lambda_e$ (тобто світлотехнічна і економічна відстані збігаються), освітлювальна установка працює з мінімальною потужністю джерел світла при збереженні допустимої рівномірності освітлення.

Подальше збільшення відстані між світильниками понад значення λ_e викликає погіршення якості освітлення та потребує використання джерел світла більшої потужності.

Розрахункова висота встановлення світильників (H_p) визначається за формулою:

$$H_p = H - h_n - h_{p.n.}$$

де H - висота приміщення, м; h_n - висота підвісу світильника (відстань від світлового центру до перекриття), м; $h_{p.n.}$ - висота розрахункової поверхні над підлогою, на якій нормується освітлення, м.

При рівномірному розміщенні світильників по кутах прямокутника рекомендується, щоб $LA : LB \leq 1,5$ (рис. 7.1) відстань від стіни до найближчого ряду світильників l_B або до найближчого світильника в ряду l_A приймають в межах $(0,3 \dots 0,5) L_{A,B}$: за наявності робочих поверхонь біля стін - $l_{A,B} \approx 0,3 L_{A,B}$, а за відсутності - $l_{A,B} \approx 0,5 L_{A,B}$.

Тоді за відомими l'_A, B і l'_A, B , довжині А і ширині В приміщення можна визначити:

- число рядів світильників:

$$N_B = \frac{B - 2l_{A,B}}{L_{A,B}} + 1$$

- число світильників в одному ряді:

$$N_A = \frac{A - 2l'_{A,B}}{L'_{A,B}} + 1$$

- загальна їх кількість в приміщенні:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B$$

Якщо розрахунок відстані між світильниками в ряду і їх рядами проводився з урахуванням світлотехнічної найвигіднішої відносної відстані, то отримані значення N_B і N_A округлюють до цілого числа в бік найменшого значення. У випадку ж розрахунку по енергетично найвигіднішій відносній відстані N_B і N_A округляють до цілого у бік більшого. Після чого розміщують світильники на плані приміщення і визначають дійсні відстані від стіни до найближчого їх ряду l_B і до найближчого світильника в ряду l_A , відстань між рядами l_B і світильниками в ряду l_A :

$$L_A = \frac{A}{N_A - a} \quad L_B = \frac{B}{N_B - a}$$

де $a=0,4$ при $l_{A,B}=0,3 L_{A,B}$ і $a=0$ при $l_{A,B}=0,5 L_{A,B}$.

При проектуванні освітлювальних систем зі світильниками на люмінесцентних лампах спочатку визначають лише кількість рядів світильників N_B . Кількість світильників у ряду N_A та загальна кількість у приміщенні N_{Σ} встановлюються на основі світлотехнічного розрахунку. Світлотехнічно найвигідна відносна відстань λ_s визначається з урахуванням поперечної кривої сили світла світильників.

При локалізованому розташуванні світильники встановлюють так, щоб забезпечити оптимальне освітлення робочих місць, уникнути їх затінення великими предметами та гарантувати необхідний рівень освітленості у технологічних проходах. Освітленість проходів у приміщеннях, де виконуються роботи I–V розрядів, повинна становити не менше 25 % від освітленості на робочих місцях, але не менше 75 лк для газорозрядних ламп і 30 лк для ламп розжарювання.

При рівномірному освітленні слід враховувати:

- Розрахунок розташування світильників обов'язковий для будь-якого методу освітлення.
- Найбільш ефективне розташування світильників — по вершинах квадратів або ромбів.
- При розташуванні по вершинах прямокутника відношення довжини більшої сторони до меншої не повинно перевищувати 1,5.
- Якщо відстань між рядами менша за відстань між світильниками в ряду, можливо застосування шахового розташування.
- Відстань від ряду світильників до стін при наявності робочих поверхонь біля стін приймається 0,25–0,30 L, в інших випадках — 0,3–0,5 L.

- Для світильників із відбитим або розсіяним світлом (щоб уникнути яскравих плям) відстань до стелі має бути не менше 0,2 L.
- Світильники з люмінесцентними лампами доцільно розташовувати рядами паралельно більшій стороні приміщення або стінам з вікнами.
- Відстань між кінцями світильників у ряду для забезпечення рівномірного освітлення не повинна перевищувати 0,5 Нр.
- Для зовнішніх проходів і проїздів шириною до 4–8 м зазвичай застосовується однорядне розташування світильників по одній із сторін.
- Оптимальна висота установки світильників для освітлення територій підприємства — 6,5 м.
- При освітленні головних проходів і вулиць з інтенсивним рухом відстань між світильниками рекомендується 21–27 м, зі середнім рухом — 28–35 м.
- Для другорядних проїздів відстань між світильниками — 30–40 м.
- Розташування світильників має враховувати умови їх обслуговування.

При розташуванні світильників місцевого освітлення не можна дотримуватися лише загальних правил, а кожен випадок потребує індивідуального підходу, заснованого на детальному аналізі особливостей робочого місця, проведенні експериментальних установок та вимірюванні видимості у виробничих умовах. При цьому слід враховувати:

- Розташування світильника має визначатися переважним напрямком світлового потоку на робочу поверхню.
- Оскільки світильник знаходиться у безпосередній близькості до робочої поверхні і перебуває у робочій зоні, його потрібно встановлювати так, щоб він не заважав працівнику.
- Місце кріплення світильника слід вибирати позбавлене впливу вібрацій, уникати деталей або вузлів механізмів, що рухаються.
- Неприпустимо встановлювати світильники на щитках або відкидних кришках технологічного обладнання.

Питання для самоперевірки

1. Перерахувати та пояснити основні вимоги до електричного освітлення сільськогосподарських приміщень.
2. Описати види і системи освітлення.
3. Пояснити методику вибору типу джерел світла та світильників, нормованої освітленості, коефіцієнту запасу.
4. Розміщення світильників у приміщенні.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису вимог до електричного освітлення сільськогосподарських приміщень.
2. Самостійно відновити матеріал з опису вибору типу джерел світла та світильників.
3. Самостійно відновити матеріал з опису розміщення світильників у приміщенні.
4. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Газорозрядні джерела випромінювання, що використовуються в рослинництві.

ТЕМА №8. ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДИВ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з основними методами світлотехнічних розрахунків - методом питомої потужності, точковим методом лінійних та просторових ізолюкс; сформулювати розуміння принципів вибору джерел світла, типів світильників і параметрів освітлювальних установок для забезпечення нормативної освітленості приміщень.

Анотація

У лекції розглядаються основні методи світлотехнічних розрахунків, що застосовуються при проектуванні систем штучного освітлення. Детально описано метод питомої потужності, точковий метод лінійних та просторових ізолюкс, їх принципи, алгоритми виконання та область застосування. Наведено основні залежності, умови вибору типу світильників і ламп, а також критерії оцінювання якості освітлення. Особлива увага приділена точності розрахунків, впливу геометричних параметрів приміщень і енергоефективності освітлювальних систем.

Keywords: lighting calculations, specific power method, point method, linear isolux, spatial isolux, illumination, luminaires, lamps, artificial lighting, energy efficiency.

План лекції

1. Метод питомої потужності.
2. Точковий метод лінійних ізолюкс.
3. Точковий метод просторових ізолюкс.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

8.1. Метод питомої потужності

Метод питомої потужності є спрощеною формою розрахунку методом коефіцієнту використання світлового потоку. Даним методом користуються для приблизних розрахунків освітлювальних установок приміщень, у яких відсутні суттєві затінення робочих поверхонь і до освітлення яких не пред'являються особливі вимоги (наприклад, допоміжні і складські приміщення, комори, коридори і т.п.). В основу даного методу покладено результати багаточисельних розрахунків середніх значень потужності джерел, які приходяться на 1 м² освітлювальної поверхні. При наявності даних про: тип світильника, нормовану освітленість Ен, значення розрахункової висоти Н_р, коефіцієнт запасу k_з, коефіцієнти відбиття поверхонь (ρ_с, ρ_п, ρ_{ст}) та площі приміщення S, по вище згаданим таблицям, визначають необхідну питому потужність джерела світла Р_{пит}, яка буде забезпечувати необхідні умови освітлення. Після вирішення питання з розташуванням світильників та їх кількістю N, визначають потужність джерела світла Р_л по формулі:

$$P_{л} = \frac{P_{пит} S}{N}$$

Метод питомої потужності в зрівнянні з методом коефіцієнта використання світлового потоку дає похибку в розрахунках $\pm 20\%$, що допустимо при визначенні потужності освітлювальної установки.

Алгоритм світлотехнічного розрахунку даним методом:

1. Визначити вихідні дані заданого приміщення.
2. Визначити систему та вид освітлення.
3. Вибрати джерело світла.
4. Вибрати тип світильника.
5. Вибрати нормовану освітленість E_H .
6. Визначити коефіцієнт запасу k_3 .
7. Визначити коефіцієнт нерівномірності Z .
8. Визначити значення висот:

- підвісу h_n ;
- робочої поверхні $h_{p.n.}$;
- розрахункової H_p .

$$H_p = H - h_n - h_{p.n.}$$

9. Для вибраного типу світильника визначити най-вигіднішу світлотехнічну λ_c та економічну λ_e від-стань між світильниками в ряду.

10. Розрахувати відстань між світильниками по довжині L_A і ширині L_B приміщення:

$$L_A = L_B = (\lambda_c - \lambda_e) \cdot H_p$$

11. Визначити значення відстані ряду світильників від стін l_A , l_B :

При наявності робочих місць у стін:

$$l_A = 0,3L_A ;$$

$$l_B = 0,3L_B .$$

При відсутності робочих місць у стін:

$$l_A = 0,5L_A ;$$

$$l_B = 0,5L_B .$$

12. Визначити кількість рядів світильників N_B .

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1$$

13. Визначити кількість світильників в ряду N_A .

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L_A} + 1$$

14. Розрахувати загальну кількість світильників у приміщенні N_Σ .

$$N_\Sigma = N_A \cdot N_B$$

15. Для вибраного світильника знаходимо питому потужність $P_{пит.}$.

16. Визначаємо розрахункову електричну потужність всієї освітлювальної установки

$P_{вст.}$

$$P_{вст.} = P_{пит.} \cdot S$$

17. Визначаємо потужність однієї лампи $P_{л.}$:

$$P_{\Sigma} = \frac{P_{BCT}}{N_{\Sigma}}$$

18. Вибрати тип лампи близькою запотужністю.

19. Розрахувати відхилення ΔP потужності вибраної стандартної лампи з розрахунковою потужністю лампи.

$$\Delta P = \frac{(P_{CT} - P_L) \cdot 100}{P_L}$$

20. Порівняти потужність лампи розрахунковий $P_{\text{лр}}$ та $P_{\text{ст}}$ і перевірити виконання умови.

$$-0,2P_{\text{лр}} \leq P_{\text{лс}} \leq 0,2P_{\text{лр}}$$

21. Якщо умови п.20 не виконується, то необхідно обрати інше значення λ_c і λ_e , або змінити висоту підвісу сві-тильника та здійснити розра-хунки по пунктам 9-13 і 18-20.

22. Розрахувати сумарну потужність всієї установки (установлену потужність) $P_{\text{уст.}}$.

$$P_{\text{уст.}} = P_L \cdot N_{\Sigma}$$

де P_L - потужність вибраної лампи, Вт.

23. Визначити питому потужність $P_{\text{р.пит.}}$.

$$P_{\text{р.пит.}} = \frac{P_{\text{уст.}}}{S}$$

Для малих приміщень, в яких передбачено встановлення тільки одного світильника з лампою розжарювання, потужність лампи визначають по таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 - Визначення потужності ламп для малих приміщень при установці в приміщенні одного світильника

S, м ²	Потужність лампи, Вт, при освітленні, лк, яка дорівнює			
	10	20	30	50
2	25	60	60	100
4	40	60	100	150
6	40	100	100	150
8	60	100	150	200
10	60	100	150	200

8.2. Точковий метод лінійних ізолюкс

Точковий метод розрахунку в застосуванні до освітлювальних установок з лінійними випромінювачами (люмінесцентними лампами) називають методом лінійних ізолюкс. Цей метод застосовується у тих випадках, коли окремо встановлені світильники з люмінесцентними лампами або їх ряди можливо розглядати як світні лінії. Основною підставою для визначення світлової лінії є наступні умови:

- довжина L окремого світильника або їх ряду повинна бути *більше половини* розрахункової висоти H_p , тобто: $L > 0,5 H_p$;
- відстань між світильниками в ряду l_p повинна бути *менше половини* розрахункової висоти H_p , тобто: $l_p < 0,5 H_p$ (рис. 8.1).

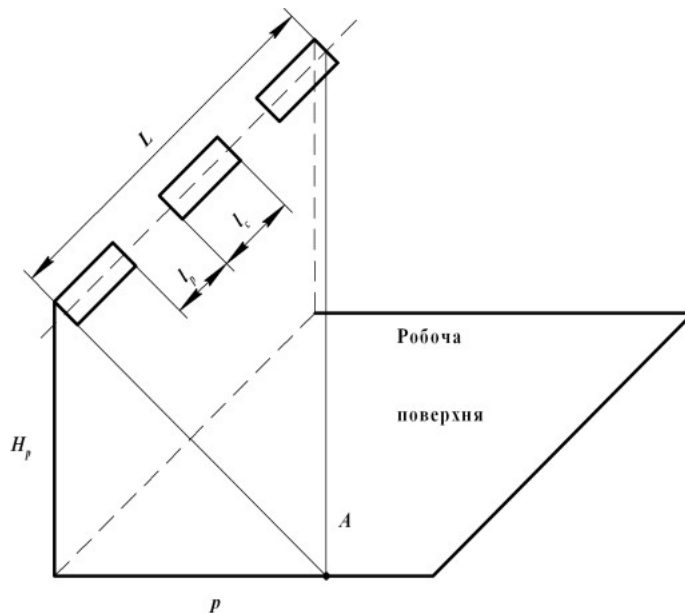
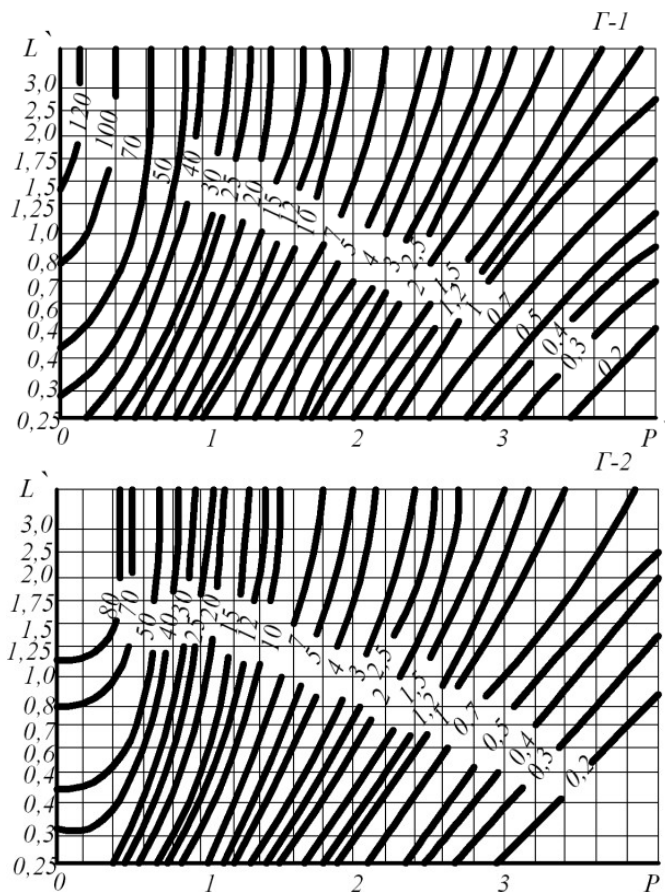


Рис. 8.1 – До розрахунку освітленості, яка створюється у точці світловою лінією

Розрахунок освітленості проводять за допомогою графіків лінійних ізолюкс, які представлені на рис. 8.2.



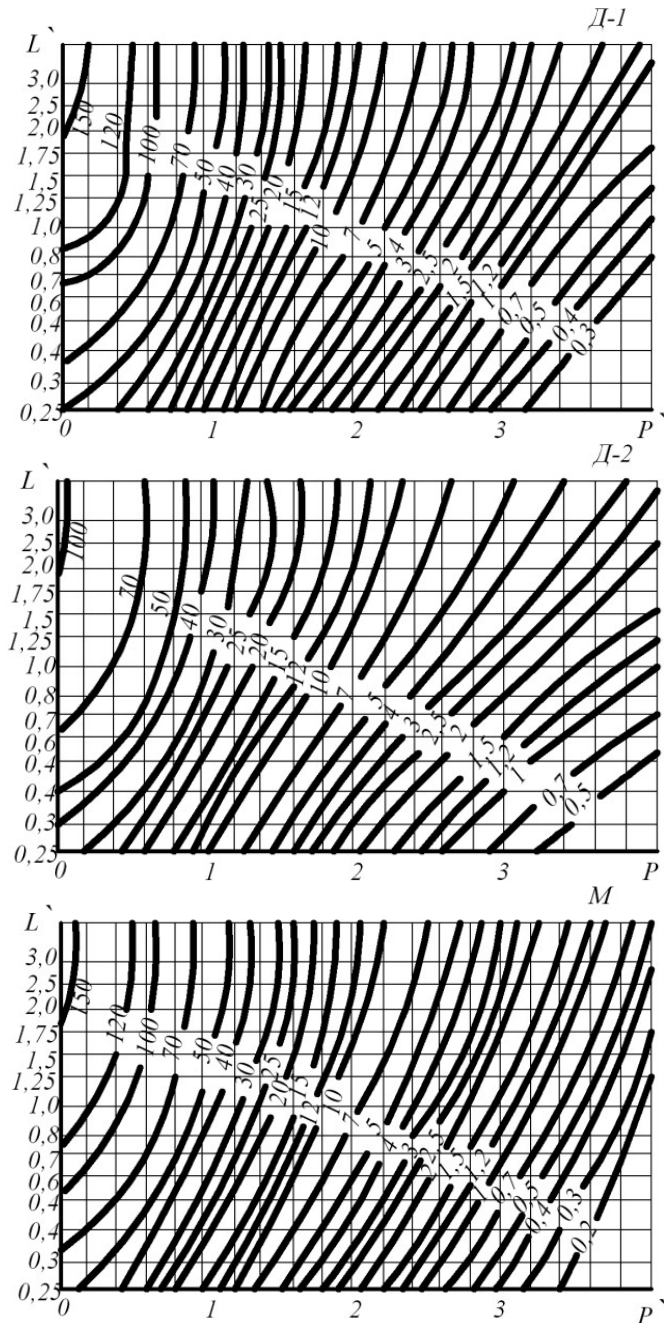


Рис. 8.2 – Криві рівної освітленості для світлових ліній з найбільш розповсюдженими світильниками з люмінесцентними лампами і різними повздовжніми деталізованими кривими сили світла Г-1, Г-2, Д1, Д-2, М

Лінійні ізолюкси - це залежності відносної освітленості e^* від відносних значень L^* (відносна довжина світлової лінії $L^* = L/Hp$) та p^* (відносна відстань контрольної точки від проекції світлової лінії на робочу поверхню $p^* = p/Hp$), тобто $e^* = f(p^*, L^*)$, які побудовані при умовах, що 1 м довжини світлової лінії дає світловий потік в 1000 лм, а висота лінії над робочою поверхнею дорівнює 1 м.

При користуванні графіками лінійних ізолюкс слід враховувати, що лінії, для яких $L^* > 4,0$ або $p^* > 4,0$, при розрахунках практично розглядаються як безмежно довгі і значення умовної освітленості e^* знаходять на пересіканні або $L^* = 4,0$, або $p^* = 4,0$, або $L^* = 4,0$ і $p^* = 4,0$.

Основна розрахункова формула методу:

$$\Phi_{роз} = \frac{1000 \cdot E_n \cdot \kappa_z \cdot H_p}{\mu \cdot \Sigma_e}$$

де $\Phi_{роз}$ – щільність світлового потоку, лм/м; E_n – нормована освітленість, лк; κ_z – коефіцієнт запасу; H_p – розрахункова висота; μ – коефіцієнт, який враховує дію віддалених світильників і відбитий світловий потік ($\mu = 1,1 - 1,3$); Σ_e – сумарна умовна відносна освітленість в розрахунковій точці, яка визначається за графіками лінійних ізолюкс (див. рис. 8.2).

При розрахунках слід враховувати наступне:

- розрахункова точка вибирається в місцях, де задається нормована освітленість;
- при загальному рівномірному освітленні розрахункова точка, як правило, вибирається між рядами;
- якщо $Nl_c = L$ (що трапляється дуже рідко), то світильники розташовуються у безперервний ряд; (N – кількість світильників в ряду; l_c довжина світильника);
- якщо $Nl_c < L$, то світильники розташовують у ряд з невеликими розривами l_p , але при цьому повинна виконуватися умова 2 ($l_p < 0,5H_p$);
- якщо $Nl_c > L$, то можливо наступні варіанти:
 - а) обрати лампу більшої одиничної потужності;
 - б) зближення рядів і, як наслідок, збільшення кількості світильників;
 - в) розміщення у кожному ряді світильників з більшою кількістю ламп;
 - г) створення кожного ряду із двох і більше ліній світильників;
- при довгих рядах світильників зменшення освітленості на кінцях рядів компенсується продовженням лінії на $0,5H_p$ за межі освітлювальної поверхні, або доповнюють повздовжніми рядами світильників по торцях ліній.

Алгоритм світлотехнічного розрахунку даним методом:

1. Визначити вихідні дані заданого приміщення.
2. Визначити систему та вид освітлення.
3. Вибрати джерело світла.
4. Вибрати тип світильника.
5. Вибрати нормовану освітленість E_n .
6. Визначити коефіцієнт запасу κ_z .
7. Визначити коефіцієнт нерівномірності Z .
8. Визначити значення висот: підвісу h_n ; робочої поверхні $h_{p.n.}$; розрахункової H_p .
9. Для вибраного типу світильника визначити най-вигіднішу світлотехнічну λ_c та економічну λ_e від-стань між світильниками в ряду.
10. Розрахувати відстань L_B між рядами світильників:

$$L_B = (\lambda_c - \lambda_e) H_p$$

11. Визначити значення відстані ряду світильників від стіни l_B .

При наявності робочих місць у стін:

$$l_B = 0,3L_B.$$

При відсутності робочих місць у стін:

$$l_B = 0,5L_B.$$

12. Визначити кількість рядів світильників N_B .

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L_B} + 1$$

13. Визначити довжину півряду L .

$$L = \frac{A}{2}$$

14. Визначити відстань p від розрахункової точки A до світлового ряду. Розрахункову точку вибираємо посередині приміщення між рядами.

$$p = L_B / 2$$

15. Визначити відношення p^* :

$$p^* = p / H_p$$

16. Визначити відношення L^* :

$$L^* = L / H_p$$

17. Визначити умовну освітленість e по графікам лінійних ізолюкс в залежності від L^* , p^* : Дивись рис. 8.1.

18. При освітленні точки A декількома рядами або їх частинами відносну освітленість визначають від кожного ряду окремо і складають Σe .

$$\Sigma e = e^* \cdot N_B$$

19. Визначити необхідний світловий потік ряду $\Phi_{розр.}$ довжиною в 1 м.

$$\Phi_{розр.} = \frac{1000 \cdot E_n \cdot \kappa_z \cdot H_p}{\mu \cdot \Sigma e}$$

20. Вибрати тип лампи з світловим потоком $\Phi_{лр.}$

21. Визначити повний потік ламп в ряду $\Phi_{ряду.}$

$$\Phi_{ряду.} = \Phi_{розр.} \cdot A$$

22. Визначити світловий потік 1 світильника $\Phi_{св.}$

$$\Phi_{св.} = \Phi_{л.} \cdot n$$

23. Визначити кількість світильників в ряду N_p .

24. Визначити розриви між світильниками l_p в ряду.

$$N_{ряда} = \frac{\Phi_{ряду.}}{\Phi_{св.}}$$

25. Перевірити умову неприкривності ряду.

$$l_p < 0,5 H_p$$

26. При виконанні умови п. 25 визначаємо встановлену потужність $P_{вст.}$

$$P_{вст.} = 1,25 \cdot P_{л.} \cdot n \cdot N_B \cdot N_A$$

27. Визначаємо питому потужність всієї установки $P_{пит.}$:

$$P_{пит.} = \frac{P_{вст.}}{S}$$

28. Визначити із довідкової літератури питому потужність в залежності від типу світильника і площі приміщення $P_{пит.}$

29. Визначити встановлену потужність $P_{вст.}$

$$P_{вст.} = P_{пит.} \cdot S$$

30. Визначити кількість світильників в ряду N_p .

$$N_p = \frac{P_{\text{вст.}}}{P_{\text{св.}} \cdot N_{\text{в}}}$$

31. Приймаємо нову кількість світильників і визначаємо фактичні розриви між світильниками l_p факт.

$$l_{p \text{ факт.}} = \frac{A - l_{\text{св.}} \cdot N_{\text{ряда}}}{N_{\text{ряда}}}$$

32. При виконанні умови п.25 визначаємо встановлену потужність ламп $P_{\text{вст.}}$.

$$P_{\text{вст.}} = P_{\text{л}} \cdot N$$

33. Визначити питому потужність всієї установки $P_{\text{пит.}}$.

$$P_{\text{пит}} = \frac{P_{\text{вс}}}{S}$$

8.3. Точковий метод просторових ізолюкс

Метод дозволяє визначити світловий потік джерел, необхідний для створення певної освітленості в будь-якій точці довільно розміщеній на площині при відомій розстановці світильників і умові, що відбитий від стіни, стелі і робочої поверхні світловий потік не створить суттєвої освітленості в розглянутій точці. Даний метод використовують при перевірці розрахунків освітлення, а також при прямих розрахунках: загального локалізованого освітлення; місцевого освітлення; освітлення негоризонтальних площин; зовнішнього освітлення (вулиць, площ, відкритих просторів). Точковий метод враховує тільки освітленість від світлового потоку, що безпосередньо потрапляє від світильника в розрахункову точку.

Суть методу полягає в тому, що потрібний світловий потік від світильника визначають, виходячи з умов, що в кожній точці освітлюваної поверхні освітленість не повинна бути меншою нормованої. При цьому в розрахунковій точці визначають не дійсну, а умовну освітленість, так як світловий потік обраних світильників на початку розрахунку невідомий. Умовна освітленість визначається за графіками *просторових ізолюкс*. Графік просторових ізолюкс для певного світильника представляє собою сімейство кривих, які є геометричним місцем точок, які мають рівну горизонтальну освітленість. Такі графіки для світильників з умовною лампою із світловим потоком 1000 лм побудовані в осях $d - h$, де d - відстань на плані від проекції світильника до точки, в якій визначається освітленість, h - розрахункова висота (H_p) (рис. 8.3).

Основна розрахункова формула методу:

$$\Phi = \frac{1000 E_k}{\mu \Sigma e}$$

де E_n - нормована освітленість, лк; k_z - коефіцієнт запасу; μ - коефіцієнт, що враховує освітленість віддалених світильників і залежить від їх типу ($\mu = 1,1 - 1,2$); Σe - сумарна умовна освітленість, лк.

При розрахунках слід враховувати наступне:

- розрахункова точка вибирається в місцях, де нормована освітленість може виявитися найменшою;
- якщо точка освітлюється одночасно декількома світильниками, то її освітленість дорівнює сумі освітленостей, які створюються кожним з них окремо;
- при визначенні освітленості у контрольній точці враховують лише найближчі до неї

світильники;

- дію віддалених світильників враховують коефіцієнтом додаткової освітленості μ .

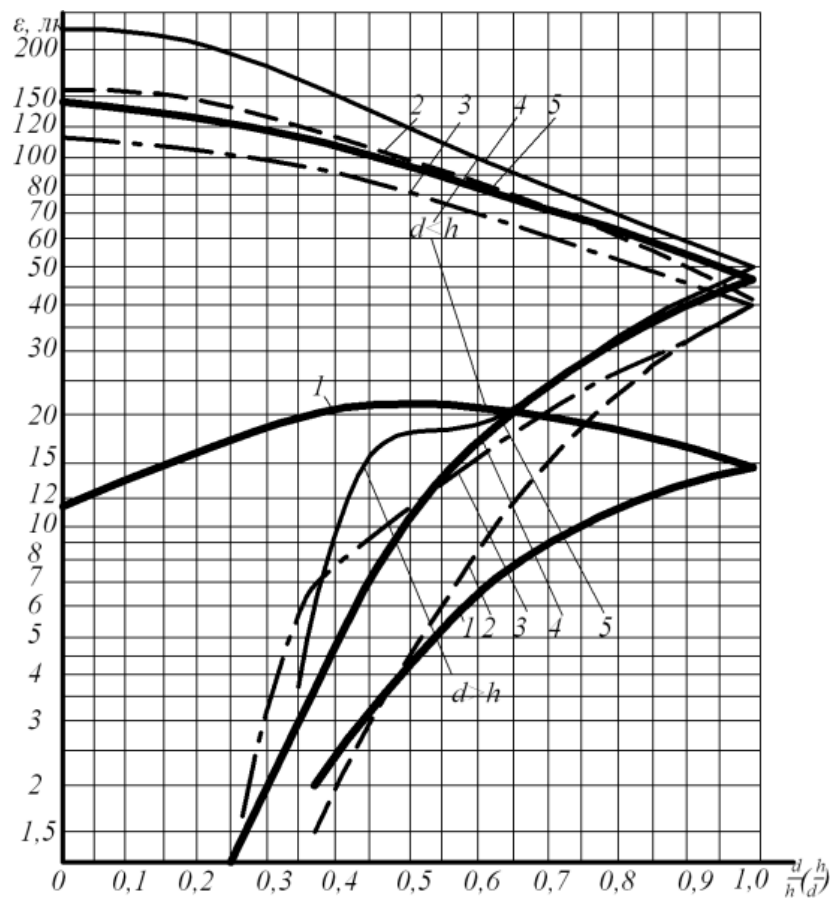


Рис. 8.3 – Приклад графіки просторових ізолюкс для світильників: 1 – СВ і СВР; 2 – СПОР; 3 – СПО-2-200; 4 – СПП-200М; 5 – СПО-200

При розрахунках освітлення похилих поверхонь поступають наступним чином. Через розрахункову точку похилої поверхні проводять допоміжну горизонтальну поверхню, на якій і ведуть розрахунок освітленості E_g (рис. 8.4).

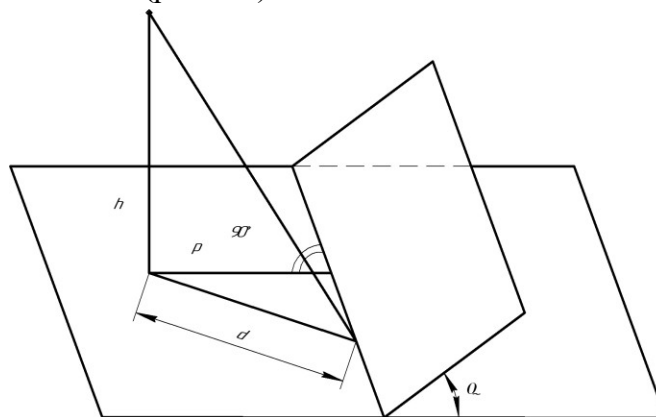


Рис. 8.4 – До розрахунку освітленості похилої поверхні

Освітленість похилої поверхні E_p у тій самій точці визначають по співвідношенню:

$$E_p = \Psi E_g.$$

де $\Psi = \cos\theta \pm (p/h) \sin\theta$.

Алгоритм даним методом:

1. Визначити вихідні дані заданого приміщення.
2. Визначити систему та вид освітлення.
3. Вибрати джерело світла.
4. Вибрати тип світильника.
5. Вибрати нормовану освітленість E_n .
6. Визначити коефіцієнт запасу k_z .
7. Визначити коефіцієнт нерівномірності Z .
8. Визначити значення висот: підвісу h_n ; робочої поверхні $h_{p.n.}$; розрахункової H_p .
9. Визначити відстань в плані від розрахункової точки до проекції світильника d .
10. Визначитись з умовою вибору сумарної відносної освітленості.

$$\frac{h_{nid}}{d} \leq 1 \quad \text{або} \quad \frac{d}{h_{nid}} \leq 1$$

11. По графікам просторових ізолюкс визначити e_i . Дивись рисунок 3 $e_i = \Sigma e_i$.
12. Визначаємо необхідний світловий потік лампи $\Phi_{л.}$.

$$\Phi_{розр.} = \frac{1000 \cdot E_n \cdot k_z \cdot h_{nid}^2}{\Sigma_e}$$

13. Вибрати тип лампи з світловим потоком найближчим до розрахункового $\Phi_{лр.}$.
14. Порівняти світловий потік лампи розрахунковий $\Phi_{лр}$ та фактичний $\Phi_{лф}$ і перевірити виконання умови.

$$-0,1\Phi_{лр} \leq \Phi_{лф} \leq 0,2\Phi_{лр}$$

15. Якщо умови п.14 не виконується: Змінити висоту підвісу світильника і перейти до виконання пунктів 8-14.

По результатам світлотехнічних розрахунків виробничих приміщень любым із методів повинна складатися світлотехнічна відомість.

Питання для самоперевірки

1. Як розміщуються світильники в приміщенні?
2. Назвіть методи розрахунку освітлення і випадки їх застосування.
3. У чому полягає суть розрахунку освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку?
4. Від яких факторів залежить коефіцієнт використання світлового потоку?
5. Як визначити необхідну кількість світильників у приміщенні?
6. У чому полягає суть розрахунку освітлення точковим методом?
7. У чому полягає суть розрахунку освітлення від світної лінії?
8. У чому полягає суть розрахунку освітлення методом питомої потужності?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису методів розрахунку освітлення.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Установки електричного освітлення. Класифікація і основні характеристики світильників. Прожектори.

ТЕМА №9. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОПРОМІНЕННЯ ТЕПЛИЦЬ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із принципами побудови та функціонування тепличних опромінювальних установок, навчити визначати основні параметри систем штучного опромінення рослин, розраховувати необхідну кількість джерел світла та оцінювати їх енергоефективність для забезпечення оптимальних умов росту культур у теплицях.

Анотація

У лекції розглядаються основні принципи побудови систем штучного опромінення в теплицях, типи джерел світла та їх спектральні характеристики. Викладено методику розрахунку параметрів опромінювальних установок, що забезпечують оптимальний рівень фотосинтетично активного випромінювання для різних культур. Особлива увага приділяється вибору джерел світла, визначенню їхньої кількості, розташуванню в теплиці та оцінці енергоефективності системи.

Keywords: greenhouse, irradiation facility, artificial lighting, photosynthetically active radiation, light sources, energy efficiency, fluorescent lamp, LED, illuminance calculation.

План лекції

1. Установки для опромінення рослин в умовах захищеного ґрунту.
2. Основні положення розрахунку тепличних опромінювальних установок.
3. Розрахунок установок для опромінення з точковими джерелами випромінювання.
4. Розрахунок установок для опромінення з лінійними джерелами випромінювання.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

9.1. Установки для опромінення рослин в умовах захищеного ґрунту

Теплиця — це складна інженерна споруда, яка дозволяє підтримувати оптимальні кліматичні умови для вирощування різних рослин протягом холодних місяців. Усередині теплиці необхідно регулювати не лише температуру, але й інші фактори, що впливають на ріст рослин і їхню врожайність.

Одним з ключових факторів є кількість світла, яке отримує рослина протягом світлового дня, оскільки саме під його впливом відбувається життєво важливий процес фотосинтезу. Світло можна розглядати як потік частинок — квантів або фотонів, енергія яких залежить від довжини хвилі світла. Кількість фотонів, що випромінюється за секунду в діапазоні 400–700 нм, називається фітопоток і вимірюється в мкмоль/с. Фітопотік схожий на люмени, але його основою є реакція рослин на світло. Він показує частку випромінювання, доступного рослинам для фотосинтезу.

Енергія фотона синього світла (400 нм) приблизно в 1,75 раза вища за енергію фотона червоного світла (700 нм), але обидва однаково ефективні для фотосинтезу; надлишок енергії «синього» фотона перетворюється на тепло.

Інтенсивність фотосинтезу визначається не сумарною енергією світла, а кількістю фотонів, поглинутих рослиною. Кількість фотонів, що надходить за секунду на одиницю поверхні, називають щільністю фітопотoku, яку вимірюють у мкмоль/(с·м²). Щільність фітопотoku найбільш точно характеризує світло, необхідне для фотосинтезу.

У регіонах між 40-ю та 80-ю паралелями взимку спостерігається значне скорочення денного світла — його мінімальна кількість становить лише близько 1/10 річної норми. Це зумовлено коротким зимовим днем, низьким положенням сонця над горизонтом та високою хмарністю. У таких умовах світло стає обмежувальним фактором росту рослин, і його дефіцит можна компенсувати лише за допомогою додаткового штучного освітлення. Відповідно, головне питання полягає в тому, яку кількість світла потрібно додавати щодня, щоб забезпечити рослинам оптимальну світлову енергію.

Для штучного опромінення рослин промисловість виготовляє стаціонарні тепличні опромінювачі, приклад яких представлено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Приклад стаціонарних опромінювачів рослин

Тип опромінювача / серія	Лампа	Потужність, Вт	Призначення	Тип теплиці / застосування	Коротка характеристика
ОТ-400	ДРЛФ400	400	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Стандартний тепличний опромінювач середньої потужності
ОТ-1000	ДРФ1000	1000	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Потужний опромінювач для великих площ
ГСП26-400	ДРИ400	400	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Лампа ДРИ, оптимальна для вегетаційного росту
ГСП26-1000	ДРИ1000	1000	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Висока потужність, забезпечує інтенсивне освітлення
ОТ-2000	ДРОТ2000	2000	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Промисловий опромінювач для великих теплиць
РСП15-2000	ДРЛ2000	2000	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Потужна лампа розжарювання для інтенсивного світла
ССП03-750	ДРВ750	750	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Компактний високоефективний опромінювач
РСП26-125	ДРЛ125	125	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Невелика потужність для локального освітлення
ЖСП18-400	ДНаТ400	400	Штучне опромінення	Стаціонарні теплиці	Газорозрядна лампа високої ефективності

Тип опромінювача / серія	Лампа	Потужність, Вт	Призначення	Тип теплиці / застосування	Коротка характеристика
ЖСП70-400	ДНаТ400	400	Штучне опромінення	Стационарні теплиці	Використовується у великих теплицях для рівномірного освітлення
ЖСП70-600	ДНаТ600	600	Штучне опромінення	Стационарні теплиці	Підвищена потужність для зони з дефіцитом світла
ОГС01 «Фотос»	ДРИ1000 - ДМЗ3000	1000–3000	Штучне опромінення	Теплиці, оранжереї	Серійний високопотужний опромінювач, універсальний для різних теплиць
02ДП «Світлотрон»	ДРИ2000	2000	Штучне опромінення	Теплиці	Високоєфективний опромінювач для промислових теплиць
ОТ 6×40	ЛФ / ЛФР	40	Штучне опромінення	Малі рамкові установки	Компактна рамкова касета для малих площ
Плоский світловод (СКОУ)	ДРОТ2000	2000	Високоєфективне опромінення	Світлопроводні споруди	Зменшує витрати, втрати оптичного випромінювання та металоємність конструкції
Світловий карниз (СОРТ-2-2-3К)	КОРТ-2000 / ДРОТ2000	2000	Високоєфективне опромінення	Світлопроводні споруди	Забезпечує рівномірний розподіл світла на великих площах
Світловий карниз (УОРТ-2-3000-1)	ОТ-3000К / ДМ4 3000	3000	Високоєфективне опромінення	Світлопроводні споруди	Потужна установка з системою контролю та сигналізації
СОРТ-1-10	ДКсТЛ1000	10000	Промислове опромінення	Ангарні теплиці, ширина прольоту 18 м	Для великих ангарних теплиць, промислове освітлення
УОРТ-2-3000	ДМ4 3000 / ДМ3 3000	3000	Промислове опромінення	Ангарні теплиці	Комплектна установка з управлінням та захистом
УОРТ-1-6000	ДМ4 6000	6000	Промислове опромінення	Ангарні теплиці	Високопотужна установка для великих площ
УВР, ФОУ	ДКсТВ6000	6000	Селекційне та вегетаційне опромінення	Теплиці, оранжереї, кліматичні камери	Використовується для точного регулювання світлового режиму

Тип опромінювача / серія	Лампа	Потужність, Вт	Призначення	Тип теплиці / застосування	Коротка характеристика
УІС-1	ДПКс1500	1500	Селекційне та вегетаційне опромінення	Теплиці, кліматичні камери	Для контролю і експериментального вирощування рослин
БОУ-1, БОУ-1М	ЛФР150 / дзеркальні лампи ЗШ220-230-300	150–300	Веgetаційне та селекційне опромінення	Теплиці, оранжереї	Малопотужні установки для локального освітлення
БОУ-П-1, БОУ-ПМ	ДРЛФ400 / дзеркальні лампи ЗШ220-230-300	400	Веgetаційне та селекційне опромінення	Теплиці, оранжереї	Для точного керування фітопотокотом у вегетаційних камерах
БОУ-П-2	ДРФ1000	1000	Веgetаційне та селекційне опромінення	Теплиці, оранжереї	Потужний опромінювач для великих площ і експериментальних теплиць

Загальний вигляд і технічні характеристики тепличних опромінювальних установок, наведені на рис. 9.1.

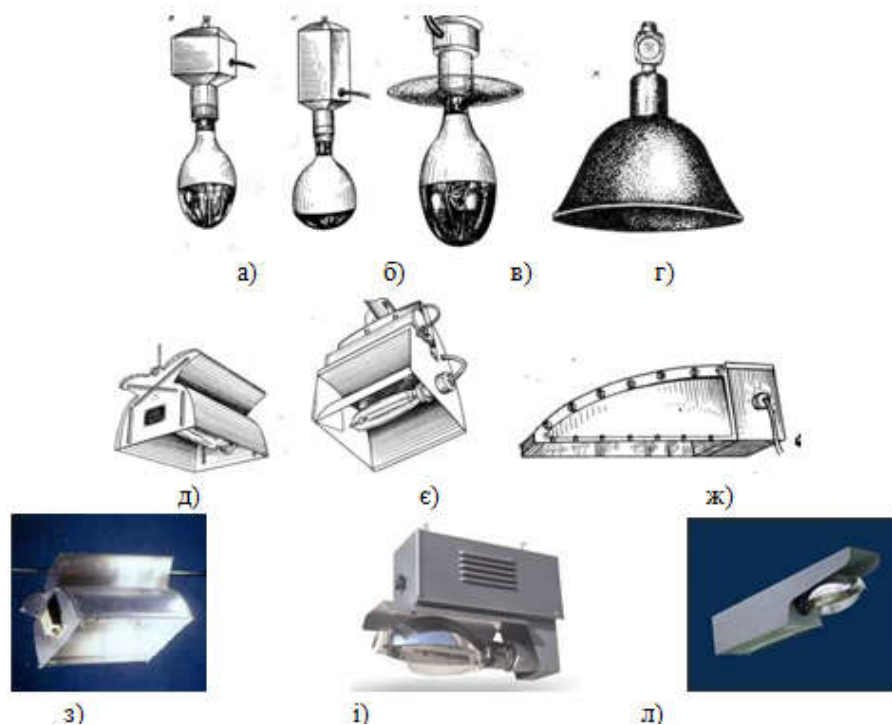


Рис. 9.1 – Загальний вигляд тепличних опромінювальних установок: а) ОТ-400; б) ОТ-1000; в) ССП03-750-001; г) ГСП26-400-001; д) ОГС «Фотос»; е) ЖСП18-400; ж) 02ОП «Світлотрон»; з) ГСП 30-2000-001; і) ЖСП-70-400; л) ЖСП62-400 «Флора»

У промислових теплицях та вегетаційних кліматичних приміщеннях найбільше застосовуються опромінювачі ОТ-400 та його модернізована версія ОТ-400М, які відзначаються простою конструкцією та надійністю в експлуатації.

Конструкція опромінювачів ОТ-400 (ОТ-400М) включає вузол підвісу, пуско-регулюючу апаратуру джерела випромінювання, фарфоровий патрон із ущільнювачем з термостійкої силіконової гуми, один або два відрізки шлангового кабелю КРПТ $3 \times 2,5 \text{ мм}^2$ (один із яких обладнаний триштирковою вилкою, а другий – триштирковою розеткою) та газорозрядну лампу високого тиску типу ДРЛФ400.

У корпусі опромінювача розташовується індуктивний або індуктивно-ємнісний баластний пристрій. Існують дві модифікації опромінювачів: ОТ-400И (ОТ-400МІ) та ОТ-400Е (ОТ-400МЕ). Обидві модифікації мають коефіцієнт потужності приблизно 0,5–0,55, проте в одній модифікації струм відстає від напруги, а в іншій — випереджає її. Це дозволяє при одночасному використанні обох типів опромінювачів досягати коефіцієнтів потужності, близьких до одиниці.

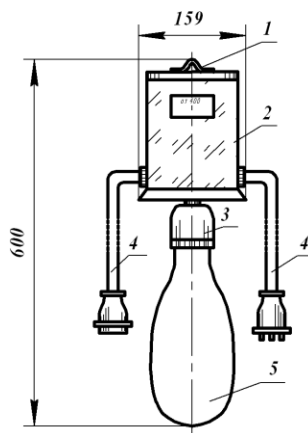


Рис. 9.2 – Тепличний опромінювач ОТ-400: 1 - вузол підвіски; 2 - ПРА джерела випромінювання; 3 - фарфоровий патрон із ущільнювачем; 4 - кабель живлення опромінювача; 5 - лампа ДРЛФ-400

Опромінювачі підключають до однофазної мережі з напругою 220 В за допомогою пар вилок і розеток, які утворюють герметичні обрешинені з'єднання та дозволяють об'єднувати до п'яти опромінювачів у групу з послідовним живленням і заземленням корпусів. ККД опромінювача становить не менше 90 %.

Опромінювач ССП03-750-001 (рис. 9.1, в) уніфікований у деяких комплектуючих деталях з опромінювачем ОТ-400. Номінальна напруга живлення – 220 В змінного струму, ККД – не менше 85 %. Герметичність кабельного введення забезпечується коробкою, що складається з двох кришок, між якими розміщений циліндричний пасок. Для підключення до магістральної мережі опромінювач оснащений кабельним роз'ємом через відгалужувальні коробки, по одній на шість пристроїв.

На зміну опромінювачам ОТ-400 і ОТ-1000 прийшли світильники-опромінювачі ГСП26-400-001 та ГСП26-1000-001. Для освітлення розсади у невеликих господарствах використовується світильник-опромінювач РСП26-125 з лампою ДРЛ125.

Світильники-опромінювачі ГСП26-400-001 і ГСП26-1000-001 мають єдиний уніфікований корпус зі скобами для монтажу, а також оригінальний пристрій для одночасного кріплення розподільної коробки та патрона (рис. 9.1, г). Залежно від потужності лампи світильники комплектуються кругло-симетричним відбивачем, проміжним фланцем і Г-

подібними скобами, що забезпечують вентиляційний зазор і кріплення відбивача до корпусу. Герметичність забезпечується кільцевим ущільненням лампи з термостійкої гуми. Незалежні ПРА ламп можуть встановлюватися на відстані до 4 м від світильника-опромінювача.

На рис. 9.2 показано загальний вигляд опромінювача ЖСП18, а на рис. 9.2, б елементи конструкції даного опромінювача.

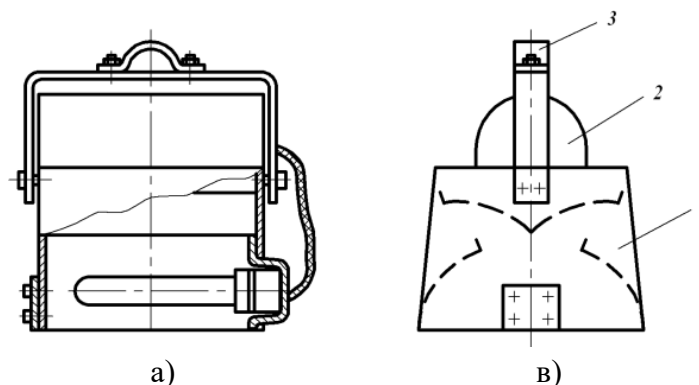


Рис. 9.2 – Елементи конструкції опромінювача ЖСП18: 1 - корпус з дзеркальним відбивачем; 2 - блок ПРА; 3 - вузол підвісу

Опромінювачі ЖСП18 мають корпус із дзеркальними відбивачами (основні циліндричні та торцеві вертикальні), а також блок пускорегулюючої апаратури з універсальним імпульсним запалювачем УІЗУ-220-02ХЛ і конденсатором ЛСМ-400-40. Кріплення дозволяє підвішувати опромінювач на тросі, шнурі або трубі. Підключення здійснюється до мережі 220 В через кабель КРПТ 2,5 мм². ККД – не менше 75 %.

Тепличні опромінювачі ОГС01 серії «Фотос» працюють від трифазної мережі 380/220 В і складаються з корпусу, блоку ПРА з імпульсним запалювачем та компенсуючими конденсаторами ЛСМ-400-7,8У1. Випускаються у шести модифікаціях і експлуатуються при температурі +10–35 °С та вологості до 95 %.

Для підвищення ефективності світлового потоку використовуються дзеркальні поверхні-склепіння, як у комплексах КОП2-001 (002) «Світлотрон». Там застосовуються металогалогенні лампи ДРИ2000-6, що дозволяє у 3–4 рази підвищити рівень опромінення в області ФАР. ККД таких установок – не менше 80 %, коефіцієнт використання світлового потоку – близько 70 %.

Системи СОРТ-1-10 забезпечують компактне опромінення з груповим одночасним запалюванням шести ксенонових ламп ДКсТЛ 10000 та блоком управління запалюванням, що може керувати відстанню до 80 м. Відбивачі покриті білим селективним покриттям для зменшення інфрачервоного випромінювання. Номінальна напруга – 380/220 В, потужність модуля – 60 кВА, площа покриття – до 200 м², освітленість – до 10 клк.

Комплекс УОРТ-1-6000 включає опромінювач ОТ-6000 з лампою ДМ4 6000 та блок управління, що дозволяє симетричне навантаження фаз, зменшує масу ПРА та ємність конденсаторних установок, забезпечує захист від обриву проводів і виходу з ладу електродів. Габарити опромінювача – 960×440×320 мм, маса – 20 кг; блок управління – 788×310×575 мм, маса – 120 кг; термін служби – 10 років.

Сучасні опромінювачі типів РСР15-2000, ЖСП18-400, ГСП26-1000, серії ОГС01 «Фотос» дозволяють економити електроенергію, підвищувати ефективність опромінення та знижувати витрати праці й експлуатаційні витрати порівняно зі старими опромінювачами (ОТ-400, ССП03-750).

Порівняльне розташування опромінювачів за питомими капітальними та експлуатаційними витратами:

- За капіталовкладенням: ССП03-750 → ОТ-400М → ГСП26-400 → ... → УОРТ-1-6000.
- За річними експлуатаційними витратами: ССП03-750 → СОРТ-1-10 → ЖСП18-400 → ... → ОТ-2000.
- За питомими витратами на одиницю продукції: ЖСП18-400 → ССП03-750 → ОТ-1000 → УОРТ-1-6000 → ОТ-2000 → СОРТ-1-10.

Аналіз наведених порівнянь показує на рис. 9.3.

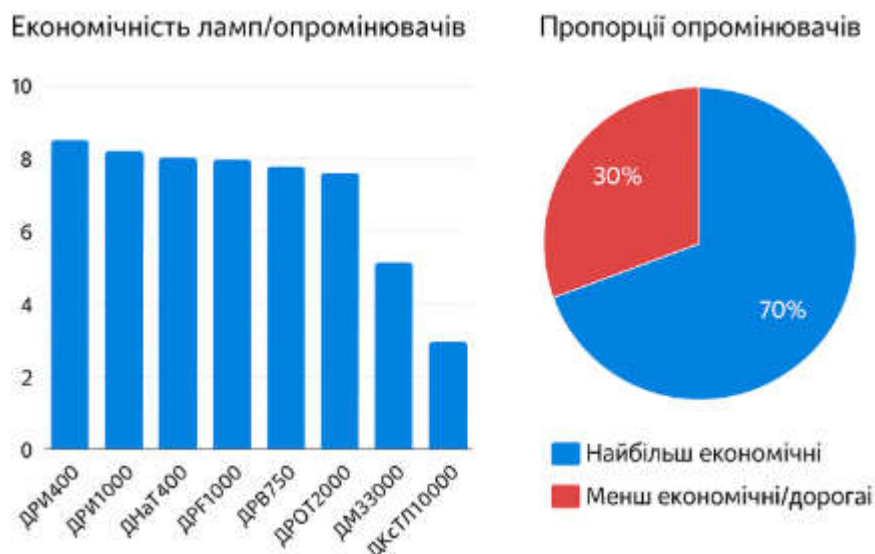


Рис. 9.3 – Аналіз наведених порівнянь економічності установок

Практичний інтерес викликає застосування не безперервного, а комбінованого або імпульсного опромінення рослин, яке забезпечує максимальну продуктивність і ККД фотосинтезу. Дослідження показали, що природний процес фотосинтезу найефективніше протікає при переривчастому (імпульсному) освітленні, коли світлові паузи чергуються з темними інтервалами.

Максимальна тривалість світлового імпульсу становить до 10^{-5} с, а темної паузи (при температурі 25 °С) – близько $4 \cdot 10^{-2}$ с. Це пояснює спроби застосовувати імпульсне або комбіноване (чергування імпульсного і безперервного) опромінення деяких сільськогосподарських культур у виробничих умовах, а також розробляти спеціальні генератори та схеми підключення джерел світла для таких режимів.

За умови правильно підібраних параметрів імпульсного або комбінованого опромінення можна економити до 30–40 % електроенергії, при цьому середня продуктивність і ККД фотосинтезу змінюються незначно порівняно з безперервним освітленням. Зазначена економія є значущою, адже близько 45–55 % експлуатаційних витрат опромінювальних установок припадає на витрати електроенергії.

Повноцінний розвиток рослин можливий лише за умови підтримки необхідного рівня штучного освітлення, який враховує природні умови освітленості. Для середніх широт України при вирощуванні розсади овочевих культур рівень штучного освітлення в області ФАР складає не менше 25 Вт·м⁻² для огірків і 30 Вт·м⁻² для томатів (6,5 і 7,5 тис. лк або 8,5 і 10 фіт·м⁻² відповідно). Тривалість опромінення розсади в 0–3 світлових зонах становить 12–16 годин на добу, у 4–6 зонах – до 12 годин на добу. Приблизний період опромінення розсади огірків – 30–40 днів, томатів – 45–50 днів.

У фазі плодоношення рівень освітлення повинен бути трохи вищим: для огірків – не менше $40 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, для томатів – $48 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ФАР (10 і 12 тис. лк або 13,7 і 16,4 фіт $\cdot \text{м}^{-2}$). Тривалість опромінення становить для огірків 12–14 годин, для томатів – 14–16 годин на добу.

Для квіткових та декоративних рослин необхідно забезпечити освітлення в області ФАР $15\text{--}30 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. У селекційних теплицях, фітотронах і фітокамерах без природного світла рівень опромінення може досягати $100\text{--}300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ і більше, залежно від тривалості експозиції, строків вирощування, призначення рослин та інших агротехнічних вимог.

Таким чином, штучне опромінення рослин вимагає високих рівнів освітленості. Для цього необхідно правильно розташувати опромінювачі по висоті та в плані теплиці або стелажа. При цьому світло повинно рівномірно розподілятися по поверхні, не перегрівати рослини і не заважати догляду за ними.

9.2. Основні положення розрахунку тепличних опромінювальних установок

У сучасній практиці проектування опромінювальних установок у рослинництві широко застосовується простий, але недостатньо точний метод, заснований на нормативі питомої електричної потужності джерел випромінювання у ватах на квадратний метр опромінюваної поверхні. Основна недосконалість цього підходу полягає в тому, що сам норматив питомої потужності не може адекватно оцінити ефективність дії установки на рослини. Насправді продуктивність опромінення при однаковій питомій потужності залежить від таких чинників:

- спектрального складу випромінювання джерел;
- ефективності віддачі джерел;
- відстані між джерелами випромінювання та рослинами;
- конструктивних особливостей самої установки.

При проектуванні тепличних опромінювальних систем слід враховувати такі положення:

- різке розходження кривих спектральної чутливості рослин і людського ока виключає можливість використання у розрахунках традиційних світлових величин та одиниць вимірювання;
- існуючі системи ефективних величин для «приймачів» оптичного випромінювання, таких як зелені рослини, поки не стандартизовані;
- значні відмінності спектральних характеристик використовуваних джерел не дозволяють оцінювати їх ефективність лише за каталожними даними, необхідний спеціальний спектральний аналіз;
- рослини є об'ємними об'єктами зі складним рельєфом поверхні, тому більш коректним показником опромінення є середня сферична опроміненість.

Середня сферична опроміненість чисельно дорівнює середній щільності потоку випромінювання, що падає на поверхню маленької сфери з центром у контрольній точці. Розподіл опромінення по поверхні сфери можна відобразити графічно. Ймовірно, характер цього розподілу визначається геометричними параметрами випромінювача.

При точковому джерелі (рис. 9.4, а) сферична опроміненість в даній точці сфери дорівнює:

$$\mathcal{E}_{cf} = \mathcal{E}_{\perp} \cos \psi$$

де ψ - кут між нормаллю в даній точці сфери і прямою, що з'єднує центр сфери з джерелом; $\mathcal{E}$ - опроміненість ділянки сфери, зверненого до випромінювача, $\text{фт} \cdot \text{м}^{-2}$.

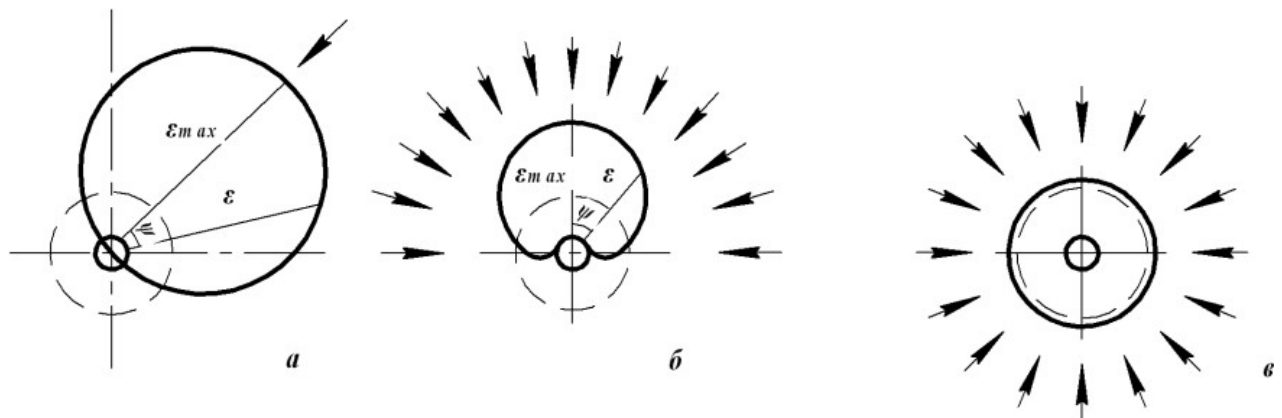


Рис. 9.4 – Визначення сферичного опромінення при різних видах випромінювачів

Поєднавши центр сфери з початком полярних координат, відкладемо вздовж радіусів в прийнятому масштабі значення опромінення, що визначаються за висловом ε_{cf} . З'єднавши кінці відкладених відрізків плавною кривою, одержимо, як це впливає з виразу ε_{cf} , коло (суцільна лінія на рис. 9.4, а).

Практично важливо знати середнє значення сферичної опроміненості. При точковому випромінювачі відношення між максимальною і середньою сферичною опроміненістю на поверхні сфери зникаюче малого радіуса має вигляд:

$$\varepsilon_{cf.cp} = \frac{\varepsilon_{\max}}{4}$$

Якщо випромінювачем є рівномірно випромінююча верхня півсфера (рис. 5, б), то сферична опроміненість визначається за виразом:

$$\varepsilon_{cf} = \varepsilon_{\perp} \cos^2 \frac{\psi}{2}$$

де ψ - кут між вертикаллю і нормаллю в даній точці сфери.

Характер розподілу опроміненості по поверхні сфери для даного випадку показаний суцільною лінією. Подібний розподіл опроміненості буде в природних умовах при рівномірній щільній опроміненні.

При цьому співвідношення між середньою сферичною опроміненістю і максимальною має вигляд:

$$\varepsilon_{cf.cp} = \frac{\varepsilon_{\max}}{2}$$

Якщо випромінювачем є рівномірно випромінююча сфера (рис. 5, в), сферична опроміненість буде однаковою у всіх напрямках. Криві розподілення сферичної і середньої сферичної опроміненості співпадуть і будуть являти собою окружність з центром, що збігається з центром сфери. Для даного випадку:

$$\varepsilon_{cf.cp} = \varepsilon_{\max}$$

В даний час питання нормування за сферичною опроміненістю недостатньо розроблені. Тому в переважній більшості випадків користуються поняттям горизонтальної опроміненості.

9.3. Розрахунок установок для опромінення з точковими джерелами випромінювання

При проектуванні опромінювальних установок із точковими джерелами світла та стандартними опромінювачами зі симетричним просторовим розподілом потоку випромінювання практично складно досягти рівномірного покриття всієї опромінюваної поверхні. Водночас можливо створювати установки, які забезпечують заданий мінімальний рівень опромінення при визначеній допустимій нерівномірності.

Розташування опромінювачів обирається залежно від характеру просторового розподілу їхнього випромінювання та основних розмірів опромінювальної площі.

Висота підвісу h опромінювачів над рослинами визначається типом джерела світла та підбирається так, щоб досягти необхідного рівня опромінення, не перегріваючи при цьому рослини. Для стаціонарних установок з точковими джерелами зазвичай $h > 0,5$ м.

Розрахунок доцільно вести за мінімальною опроміненістю, причому коефіцієнт

$$Z = \frac{E_{\phi \cdot \min}}{E_{\phi \cdot \max}}$$

мінімального опромінення не слід приймати менше 0,8.

На рис. 9.5, h і r мають однаковий масштаб. Користуючись кривою просторового розподілення потоку випромінювання (рис. 9.5, крива 1) прийнятого типу опромінювача, будують криву розподілу створюваної ним опроміненості як функції відстані r при $h = \text{const}$ (крива 2, рис. 9.5).

Ординати шуканої кривої для різних значень r обчислюють за такими виразами:

- для горизонтальної опроміненості на підставі вираз:

$$E_{\phi} = I_{\alpha} \cos \varphi (l_{\alpha} \cdot m_l)^{-2} K_{\phi}$$

де I_{α} - сила світла під кутом α , що визначається за кривою просторового розподілу потоку випромінювання прийнятого опромінювача, кд; l_{α} - відстань на кресленні від світлового центру опромінювача до точки, в якій обчислюється опроміненість; m_{α} - масштаб l_{α} ;

- для сферичної опроміненості на підставі виразу:

$$E_{\phi \text{ сф}} = I_{\alpha} 0,25 (l_{\alpha} \cdot m_l)^{-2} K_{\phi}$$

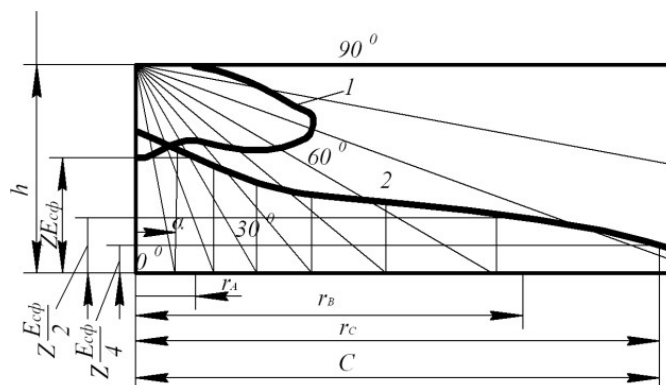


Рис. 9.5 – Розрахунок опромінювальної установки з точковими випромінювачами: побудова характеристики розподілу опроміненості по стелажу

Розрахунок проводять за значенням сферичної опроміненості наступним чином. Спочатку на плані стелажа розміщують опромінювачі, після чого визначають характерні точки, в яких рівень опромінення може бути мінімальним. На рис. 9.6 наведено приклад розташування опромінювачів у вершинах квадратів.

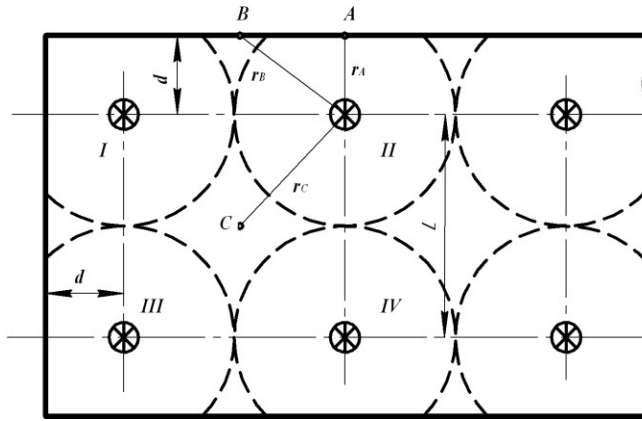


Рис. 9.6 – Розрахунок опромінюючої установки з точковими випромінювачами: розміщення опромінювачів на планістелажу і визначення найменших допустимих відстаней між ними

Припустимо, що найгіршими за умовами опромінення є точки А, В і С. Щоб забезпечити у цих точках виконання умови $E_{сф} \geq E_{сф.маx} Z$, необхідно визначити максимально допустимі відстані на плані від опромінювача II до точок А, В, С (r_A , r_B , r_C). Для цього по кривій $E_{сф} = f(r)$ (рис. 9.5, крива 2) знаходять r_A , при якому $E_{Acф} \geq E_{сф.маx} Z$. Вплив додаткової опроміненості в точці А від опромінювачів I і III можна врахувати при остаточному розміщенні опромінювачів на плані стелажу.

Максимальну відстань L між опромінювачами вибирають так, щоб забезпечити в характерних точках В і С виконання умови $E_{сф} \geq E_{сф.маx} Z$.

Для цього по кривій 2 визначають r_B при $E_{Bсф} = \frac{E_{сф.маx}}{2} Z$ і r_C при $E_{Cсф} = \frac{E_{сф.маx}}{4} Z$.
 . Шукана відстань $L = 2\sqrt{r_B^2 - d^2}$ в той же час $L = r_C \sqrt{2}$. Менше з двох отриманих значень L приймається як максимально допустима відстань між опромінювачами при розміщенні їх по вершинах квадратів. Таким чином можна провести розрахунок і при іншому розташуванні опромінювачів.

9.4. Розрахунок установок для опромінення з лінійними джерелами випромінювання

У пересувних та стаціонарних опромінювальних установках найчастіше використовують люмінесцентні лампи низького тиску, розташовані у великій кількості горизонтально над опромінювальною поверхнею на невеликій висоті (0,05–0,25 м).

Розрахунок опроміненості в будь-якій точці поверхні, створеної такими конструкціями, є досить складним і практично не має сенсу. У процесі проектування важливішим є визначення середньої опроміненості, наприклад, на стелажі шириною 1 м і довжиною, що відповідає довжині використаних люмінесцентних ламп. Потік світла, що падає від ряду (блоку) ламп на поверхню, завжди менший за сумарний світловий потік ламп через втрати у навколишнє середовище та поглинання суміжними лампами.

Горизонтальну опроміненість під блоком люмінесцентних ламп (рис. 9.7) можна розрахувати за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{\Phi_{\lambda} K_{\phi}}{Ll} (n-1) \eta_{\phi\lambda}$$

де Φ_{λ} – світловий потік однієї лампи, прийнятої в розрахунку, лм; L – довжина люмінесцентної лампи, м; l – ширина блоку ламп, рівна 1 м; K_{ϕ} – величина, яка дорівнює $K_{\phi} = \Phi_{\phi}/\Phi$: Φ_{ϕ} – фітопотік виражений в $\phi\text{im.}$; Φ – світловий потік в люмінах; n – кількість ламп в блоці ($n > 1$); $\eta_{\phi\lambda}$ – коефіцієнт корисної дії блоку ламп, що залежить від величини втрат потоку випромінювання за рахунок поглинання його суміжними лампами і втрат в навколишній простір.

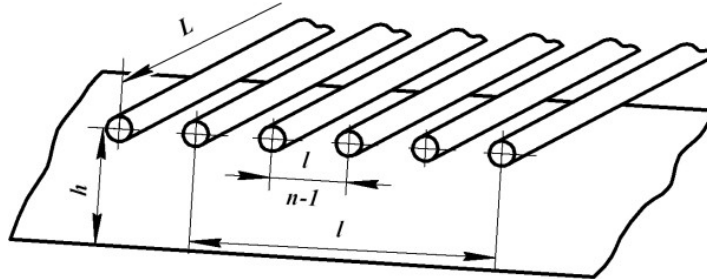


Рис. 9.7 – До розрахунку опроміненості, створюваної на стелажу блоком люмінесцентних ламп

У виразі E_{ϕ} дріб правої частини є для даного типу люмінесцентних ламп величиною постійної і може бути позначений через μ . Запишемо вираз E_{ϕ} інакше:

$$E_{\phi} = \mu e_{\phi}$$

де $\mu = \frac{\Phi_{\lambda} K_{\phi}}{Ll}$ – постійна величина, що залежить від каталожних даних джерела випромінювання і ширини опромінюючого стелажу; $e_{\phi} = (n-1) \eta_{\phi\lambda}$ – відносна опроміненість, що залежить від висоти h , числа ламп в блоці при даній його ширині і не залежить від світлотехнічних властивостей люмінесцентних ламп.

Користуючись виразом $E_{\phi} = \mu e_{\phi}$ і довідковим графіком $e_{\phi} = f(n)$ (рис. 9.8), можна визначити питоме число люмінесцентних ламп у блоці шириною 1 м, що вимагається для забезпечення необхідного опромінення. Для цього, вибравши тип і потужність люмінесцентних ламп, обчислюють значення μ .

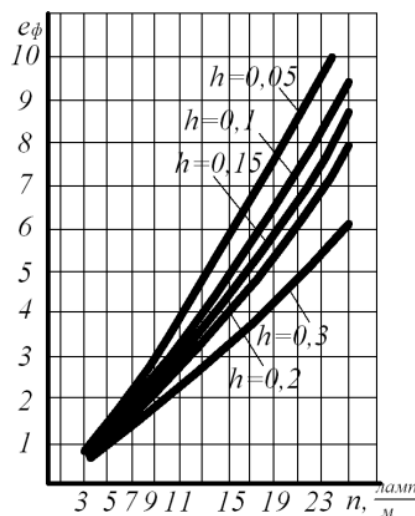


Рис. 9.8 – Залежність відносної опроміненості від числа люмінесцентних ламп в блоці і висоти їх розміщення над опромінювальною поверхнею

Виходячи з вимог опромінення, підраховують:

$$e_{\phi} = \frac{E_{\phi.z}}{\mu}$$

За графіком залежності відносної опроміненості від кількості ламп у блоці та висоти їх розташування над опромінювальною поверхнею (рис. 9.8) визначають необхідну кількість люмінесцентних ламп.

Якщо розрахунок проводиться за середньою сферичною опроміненістю, то для великих площ опромінення при горизонтальному розташуванні випромінювачів можна застосовувати таке співвідношення:

$$E_{\phi.c\phi} = (0,57...0,67)E_{\phi.z}$$

Розрахунок опромінювальних установок з лінійними джерелами випромінювання, такими як люмінесцентні лампи низького тиску, пов'язаний із забезпеченням необхідного рівня середньої опроміненості на робочих поверхнях. Для практичного проектування важливішим є визначення середньої опроміненості на стелажах, ніж розрахунок у кожній точці поверхні, оскільки втрати світлового потоку через поглинання суміжними лампами та розсіювання в навколишнє середовище неминучі.

Використання графіків та коефіцієнтів, що враховують висоту підвісу ламп, кількість ламп у блоці та ширину стелажа, дозволяє точно визначити необхідну кількість люмінесцентних ламп для забезпечення заданого рівня опромінення. При великій площі опромінення доцільно застосовувати середню сферичну опроміненість, що спрощує розрахунки і забезпечує більш рівномірний розподіл світла по поверхні. Такий підхід дозволяє ефективно проектувати опромінювальні установки, оптимізуючи кількість джерел і мінімізуючи втрати світлового потоку.

Питання для самоперевірки

1. З яких основних частин складається світильник?
2. За якими ознаками класифікуються світильники?
3. Які ви знаєте основні світлотехнічні характеристики світильників?
4. Які ви знаєте типи кривих сили світла і на що вони впливають?
5. Що ви розумієте під к.к.д. світильника?
6. Що ви розумієте під коефіцієнтом підсилення світильника?
7. Що називають захисним кутом світильника?
8. Як розшифрувати умовне позначення світильника ?
9. Які ви знаєте основні світлотехнічні характеристики прожекторів?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису методів вибору опромінювальних установок.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Типові схеми керування освітлювальними установками.

ТЕМА №10. УЛЬТРАФІОЛЕТОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ОПРОМІНЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з фізичними властивостями та біологічною дією ультрафіолетового випромінювання, навчити визначати оптимальні параметри опромінення для різних видів сільськогосподарських тварин і птиці, розкрити принципи побудови, роботи та розрахунку ультрафіолетових опромінювальних установок, що застосовуються у тваринницьких приміщеннях для підвищення продуктивності та профілактики захворювань.

Анотація

У лекції розглядаються фізичні властивості та біологічна дія ультрафіолетового випромінювання на організм сільськогосподарських тварин і птиці. Описано спектральний склад ультрафіолетового діапазону, його поділ на області А, В і С, а також вплив кожної з них на обмін речовин, продуктивність і резистентність організмів. Наведено типи стаціонарних, переносних і рухомих ультрафіолетових опромінювальних установок, їх конструктивні особливості, принцип дії та схеми електричного підключення. Розглянуто методику розрахунку кількості опромінювачів, тривалості опромінення та параметрів, необхідних для забезпечення оптимальної добової дози.

Keywords: ultraviolet radiation, irradiation facility, livestock, irradiator, spectral composition, biological effect, prevention, vitamin D, energy efficiency, irradiation dose.

План лекції

1. Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання;
2. Типи стаціонарних і рухомих установок для опромінення;
3. Методика розрахунку стаціонарних і рухомих установок ультрафіолетового опромінення.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

10.1. Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання є одним із ключових факторів зовнішнього середовища, який істотно впливає на життєдіяльність живих організмів. Ультрафіолетове випромінювання від штучних джерел поділяють на три спектральні області:

- Область А (довгохвильове УФ): 315–400 нм;
- Область В (середньохвильове УФ): 280–315 нм;
- Область С (короткохвильове УФ): 10–280 нм.

Спектральний склад та основні характеристики УФ-випромінювання наведені на рис. 10.1.

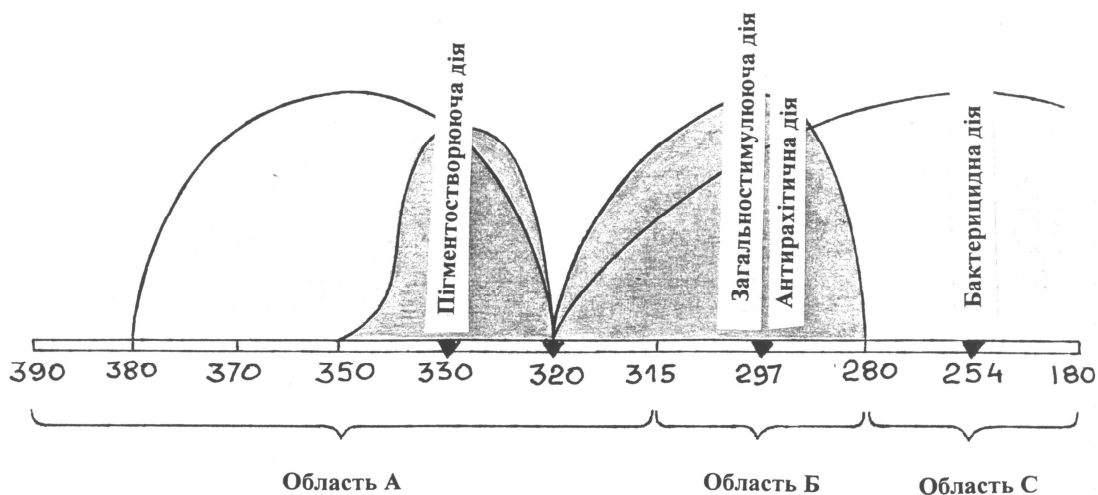


Рис. 10.1 – Спектральний склад та основні властивості ультрафіолетової радіації

Ультрафіолетове випромінювання чинить істотний біологічний вплив на організм сільськогосподарських тварин, позитивно впливаючи на ріст, розвиток, обмін речовин, продуктивність та репродуктивні функції. Так, опромінення корів підвищує надої до 13 % без зниження жирності молока та сприяє зміцненню імунітету. Телята, народжені від опромінених корів, виявляють більшу стійкість до захворювань, таких як токсична диспепсія та бронхопневмонія.

Опромінення телят покращує білковий, вуглеводний та мінеральний обміни, збільшуючи середньодобові прирости на 7–13 % завдяки кращому засвоєнню азоту з корму. Ультрафіолет позитивно впливає і на поросят: підвищує їхній загальний стан та середньодобові прирости до 20 %, а опромінення свиноматок поліпшує запліднюваність і розвиток плоду, роблячи потомство більш стійким до хвороб.

На відгодівлі середньодобові прирости свиней зростають на 4–10 % за рахунок ефективнішого засвоєння поживних речовин, а якість м'яса і сала покращується. У кнурів-плідників ультрафіолетове опромінення підвищує білковий та мінеральний обмін.

У курей-несучок у осінньо-зимовий період опромінення підвищує несучість, а інкубація яєць під УФ-випромінюванням збільшує виводимість курчат. Опромінення молодняку курей зменшує втрати і підвищує прирости до 15 %. У бройлерів зростає відсоток тушок першої категорії, а м'ясо містить більше білка, полісахаридів і жиру.

Для ягнят ультрафіолетове опромінення збільшує прирости до 18 % і покращує якість вовни. Також підвищується плодючість і якість приплоду у овець.

Отже, ультрафіолетове опромінення сприяє активізації біохімічних і обмінних процесів, підвищенню окислювально-відновлювальної активності та покращенню загального стану тварин, їхньої стійкості до хвороб, що в кінцевому результаті забезпечує підвищення продуктивності та збереження здоров'я сільськогосподарських тварин.

Біологічний ефект ультрафіолетового випромінювання залежить від його спектральної області:

- випромінювання в діапазоні 200–280 нм має потужну бактерицидну дію і застосовується для знезараження води, повітря, поверхонь приміщень, обладнання, тари та харчових продуктів;
- випромінювання в діапазоні 280–315 нм викликає еритему (почервоніння шкіри), володіє протирахітною дією та сприяє перетворенню провітаміну D в активну форму вітаміну D в організмі;

- випромінювання в діапазоні 315–400 нм біологічно малоефективне і використовується переважно для люмінесцентного аналізу.

Також виділяють:

- еритемне випромінювання (280–400 нм), яке в невеликих дозах позитивно впливає на організм людей і тварин;
- бактерицидне випромінювання (200–400 нм), здатне знищувати бактерії.

Отже, кінцевим результатом дії ультрафіолетового випромінювання є покращення клінічного стану і стійкості сільськогосподарських тварин і птиці, а також підвищення їх збереженості та продуктивності.

10.2. Типи стаціонарних і рухомих установок для УФ опромінення

Для ультрафіолетового опромінення сільськогосподарських тварин і птиці застосовуються різного роду опромінювальні установки. Ультрафіолетовий випромінювач містить всі необхідні деталі для кріплення і застереження джерела від руйнуючої дії навколишнього середовища, механічних ушкоджень і забруднення, приєднання до живильної мережі і одночасно служить для перерозподілу потоку ультрафіолетового випромінювання джерел. Всі ультрафіолетові опромінювачі поділяються на стаціонарні, переносні і рухомі (див. табл. 10.1).

Таблиця 10.1 – Види УФ опромінювачів

Тип опромінювача	Модель(і)	Призначення / Особливості
Стаціонарні	ЕО1-30М, ОЕ-1, ОЕ-2, ОЕСП02-2×40	Мають всі необхідні деталі для кріплення, захисту від механічних ушкоджень, забруднень та впливу навколишнього середовища; забезпечують підключення до живильної мережі та перерозподіл ультрафіолетового потоку.
Переносні	ОРК-2, ОРКШ	Легко переміщуються і використовуються для локального опромінення тварин і птиці.
Рухомі	УОК-1, УО-4	Призначені для переміщення над об'єктами опромінення для рівномірного покриття.

Вітальний випромінювач ЕО1-30М виготовляється в пиловологозахищеному корпусі у вигляді відбивача з тонколистової сталі, покритої антикорозійною фарбою, яка забезпечує високий коефіцієнт відбиття ультрафіолетового випромінювання (рис. 10.2, а).

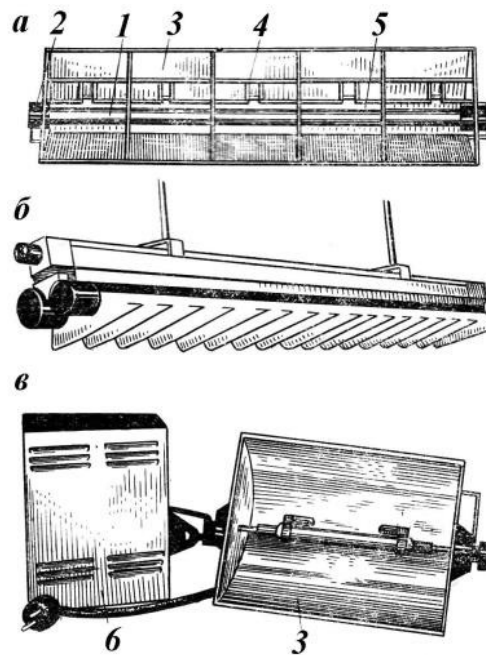
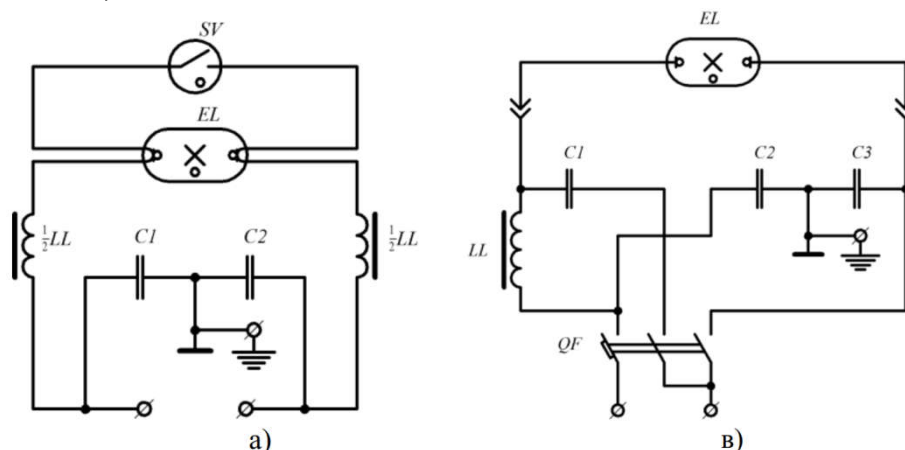


Рис. 10.2 – Загальний вигляд ультрафіолетових опромінювальних установок: EO1 (а), ОЕСП02 (б) і ОРК (в); 1 - вітальна лампа; 2 - лампотримач; 3 - відбивач; 4 - захисна сітка; 5 - пуско-регулююча апаратура; 6-пуско-регулюючий пристрій

На відбивачі за допомогою брызкозахисних лампотримачів закріплюється вітальна лампа ЛЕЗ, захищена металевою сіткою, а також пускова та регулююча апаратура - пристрій 1УБІ і два конденсатори КБГ ємністю 0,03 мкФ. Випромінювач фіксується до стельового покриття або тросу за допомогою двох підвісок.

Різновидом випромінювача EO1-30M є вітальні випромінювачі OE-1 і OE-2, що мають аналогічну будову, форму та схеми включення в мережу живлення. Принципова відмінність між ними тільки в тому, що випромінювач OE-1 випускається у звичайному, а OE-2 - в пилевологозахисному виконанні. Схема електрична включення опромінювача EO1-30M представлена на рис. 10.2, а.

Світильник-опромінювач ОЕСП02- (рис. 10.2, б) призначений для одночасного забезпечення загального освітлення тваринницьких приміщень та ультрафіолетового опромінення сільськогосподарських тварин і птиці. Він розрахований на роботу з однією рефлекторною освітлювальною та однією рефлекторною вітальною лампами потужністю 40 Вт (типів ЛБР40 і ЛЕР40) у мережі змінного струму напругою 380/220 В та частотою 50 Гц. Лампи підключаються за стартерною схемою, що працює незалежно для кожного типу ламп, як показано на рис. 10.3, б.



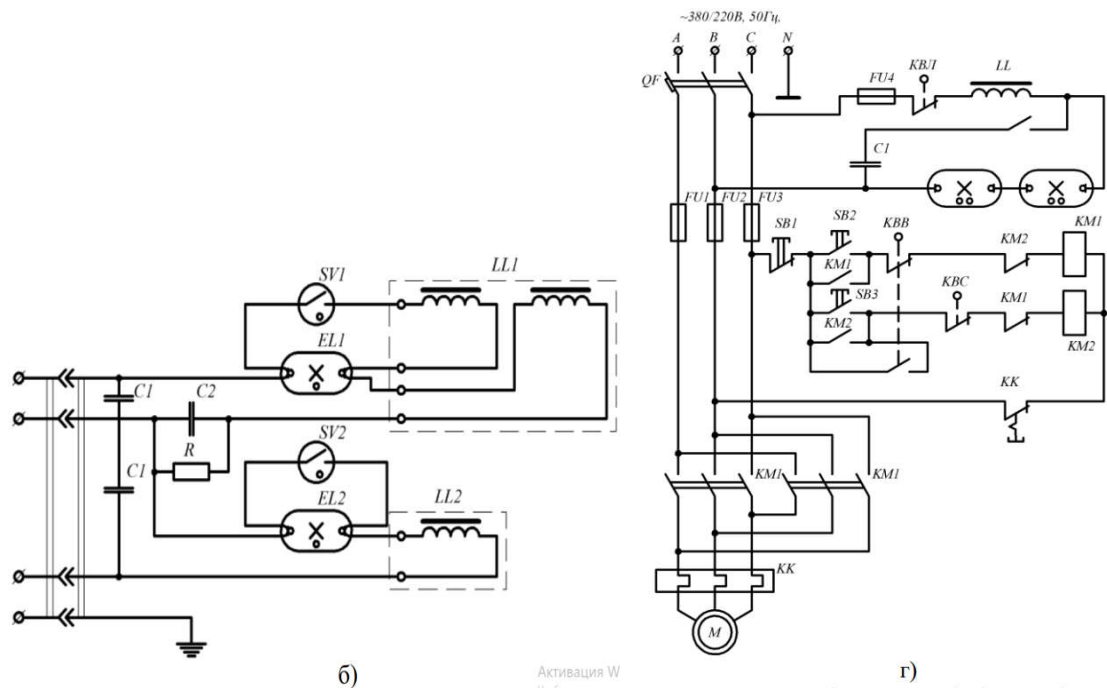


Рис. 10.3 – Схеми електричні принципові: а) опромінювача EO1; б) світильника-опромінювача OESP02; в) опромінювача ртутно-кварцового ОРК-2; г) установки УОК-1.

Світильник-опромінювач має сталевий штампований корпус із панеллю, елементи підвісу, що дозволяють індивідуально встановлювати світильник на гаках або тросі, а також екрануючі решітки. Внутрішня частина корпусу захищена від пилу та вологи за допомогою прокладки ущільнювача по периметру, сальника для ущільнення введення мережевих проводів та заглушки. У корпусі розташована розетка штепсельного типу, на панелі встановлена пускорегулююча апаратура, патрони бризказащищеного виконання та штепсельна вилка.

Ввід у світильник-опромінювач може здійснюватися з торця або зверху корпусу: у цьому випадку сальник для ущільнення переміщується на відповідну стінку, а вільний отвір закривається заглушкою. Штепсельний роз'єм також забезпечує можливість об'єднання світильників у лінію або підключення їх до магістральних проводів без їх розрізання.

Світильник-опромінювач OESP02 виконаний у частково пиле- та вологозахищеному корпусі (клас 5'0). ККД приладу не менше 70 %, захисний кут у поперечних та поздовжніх площинах – не менше 15°.

Для профілактичного та лікувального опромінення невеликих груп тварин, а також інкубаційних яєць і курчат у перші дні життя застосовують ртутно-кварцовий опромінювач типу ОРК-2. Він складається з відбивача з лампою ДРТ400 та живлячого пускорегулювального пристрою, з'єднаних гнучким кабелем довжиною 15 м (рис. 10.3, в). У пускорегулюючому пристрої змонтовані дросель, пусковий конденсатор КБГ (2 мкФ), два конденсатори КБГ (по 0,03 мкФ) та автоматичний вимикач. Схема включення ОРК-2 наведена на рис. 10.3, в.

Призначення, конструкція, електрична схема та технічні характеристики опромінювача ОРКШ аналогічні опромінювачу ОРК-2.

На рис. 10.4 представлено загальний вигляд ртутного кварцового опромінювача ОРКШ-6.

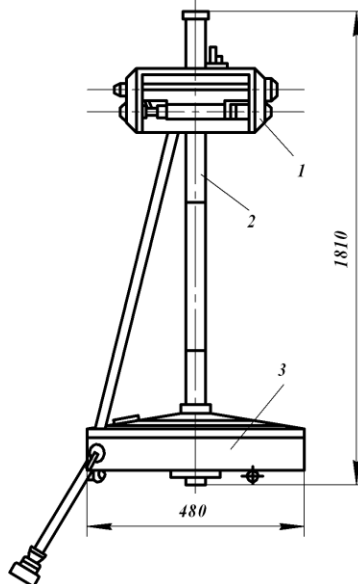


Рис. 10.4 – Загальний вигляд ртутного кварцового опромінювача ОРКШ-6: 1 - відбивач з лампою ДРТ-400; 2 - стійка; 3 - живлюча пускова регулююча апаратура

Основні відмінності в тому, що випромінювач ОРКШ переміщається на коліщатах, відбивач з лампою ДРТ400 закріплюється на штативі-стійці, а стійка кріпиться в корпусі, усередині якого розміщується пускова регулююча апаратура.

Електрична механізована підвісна опромінювальна установка УО-4 призначена для ультрафіолетового опромінення сільськогосподарських тварин і птиці в стаціонарних умовах при клітковому або станковому утриманні. До складу установки входять чотири рефлекторні опромінювачі з лампами типу ДРТ-400, шафа керування, привідна станція та несуча конструкція (рис. 10.5).

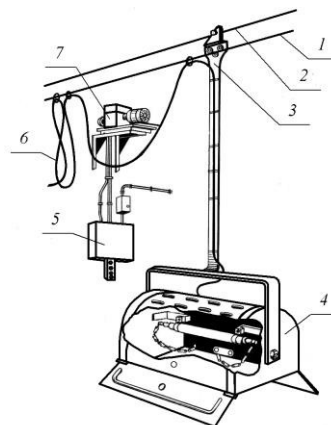


Рис. 10.5 – Опромінювальна установка УО-4: 1 – несучий дріт; 2 – ведучий трос; 3 – роликівка каретка; 4 – опромінювач з лампою ДРТ400; 5 – шафа керування; 6 – кабель живлення опромінювачів; 7 – привідна станція

Несуча конструкція виготовлена зі сталевго оцинкованого дроту, який натягують уздовж приміщення за допомогою натяжних болтів, закріплених у торцевих стінах. Переміщення опромінювачів у приміщенні здійснюється зворотно-поступальним способом за допомогою троса діаметром 3,1 мм, натягнутого на ролики та з'єднаного з приводною станцією. Привідна станція оснащена електродвигуном потужністю 0,27 кВт і редуктором із

передавальним числом 1:891. Довжина несучого дроту та троса розрахована на обслуговування приміщень завдовжки до 90 м.

Кожен опромінювач установки може пересуватися зі швидкістю 0,3 м/хв на відстань 35–42 м. Необхідна інтенсивність опромінення регулюється зміною висоти підвішування випромінювачів і кількістю проходів над тваринами або птицею. Максимальна площа, яку може обслуговувати одна установка, становить 90×6 м.

У шафі керування розміщено пакетні вимикачі, запобіжники, магнітні пускачі, два дроселі, конденсатор і дві пускові кнопки. Для зручності підключення опромінювачів передбачено клемний набір із кабелем КРПТ 3×2,5, що з'єднує їх із шафою керування. Особливістю електричної схеми установки УО-4М є послідовне підключення двох ламп ДРТ-400 через спільний дросель до лінійної напруги 380 В (рис. 10.6). Для полегшення запалювання ламп застосовуються додаткові пускові кнопки та конденсатор.

Для ультрафіолетового опромінення курей і курчат у багатоярусних кліткових батареях використовується самохідна установка УОК-1, змонтована на візку, який рухається по напрямних у міжряддях кліток. Ширина колії візка відповідає ширині колії кормороздавача. Переміщення візка зі швидкістю 0,73 м/хв забезпечується електродвигуном потужністю 0,27 кВт через подвійний редуктор із передавальним числом 1:341. Редуктор з'єднано зубчастою муфтою з ведучою віссю та механізмом намотування й розмотування кабелю. Увімкнення ланцюгової передачі здійснюється важелем.

Електроживлення 380/220 В подається через гнучкий кабель із роз'ємом, одна жила якого слугує для заземлення. Під час руху установки кабель автоматично укладається або розмотується в спеціальному бункері. На панелях розміщено апаратуру керування двигуном і лампами, а також силові елементи схеми управління.

У передній нижній частині установки встановлені кінцеві вимикачі: передній — для реверсування руху, два задніх — для зупинки установки та вимкнення ламп. У передній частині візка розташована стійка з двома опромінювачами, висоту яких можна регулювати відповідно до висоти кліток. В установці УОК-1 лампи ДРТ-400 також підключені через спільний дросель до різних фаз мережі з лінійною напругою 380 В. Кінцеві вимикачі забезпечують зміну напрямку руху, зупинку установки та відключення ламп після завершення циклу опромінення.

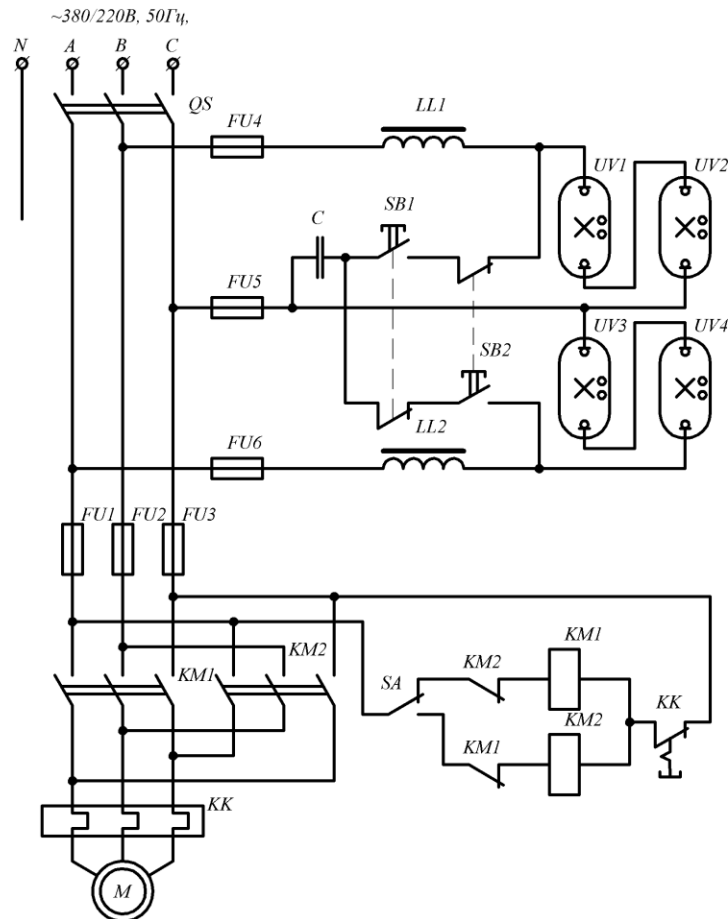


Рис. 10.6 – Принципова електрична схема управління установкою ультрафіолетового опромінення УО-4

Проводилися спроби вдосконалення самохідної опромінювальної установки УОК-1. Зокрема, в одному з модернізованих варіантів передбачено зворотно-поступальний рух ламп у вертикальному напрямку зі швидкістю 1,6 м/хв, який забезпечується електродвигуном потужністю 0,12 кВт.

У іншій удосконаленій модифікації для вмикання ламп застосовано компенсаційну електричну схему, у якій струмообмежувальним елементом для однієї лампи є індуктивний дросель, а для другої — активно-ємнісний опір. Таке рішення дозволило знизити пусковий струм ламп у 2–3 рази.

Принципову електричну схему установки УОК-1 наведено на рис. 10.7.

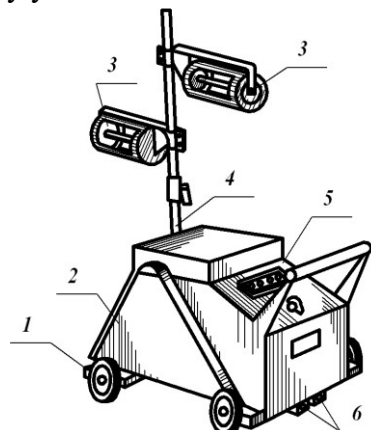


Рис. 10.7 – Установка для опромінення птиці УОК-1: 1 - самохідне шасі; 2 - привод від електродвигуна до ведучих коліс і пристрою укладки кабелю; 3 - опромінювачі з лампами

Серед розглянутих ультрафіолетових опромінювальних установок у сільськогосподарському виробництві перевагу надають стаціонарним опромінювачам. Останнім часом спостерігається тенденція об'єднання в одному пристрої джерел видимого та ультрафіолетового (бактерицидного і вітального) випромінювання.

Під час розроблення таких установок застосовують два основні підходи:

– поєднання в одному корпусі ламп видимого й ультрафіолетового випромінювання з незалежними схемами живлення, як це реалізовано в опромінювачах типів ОЕСП02-2×40, КСО-2, КСО-3, ОЕРБА3×30 тощо;

– створення спеціальних ламп, що одночасно випромінюють світло у видимому та ультрафіолетовому діапазонах, наприклад, люмінесцентних вітально-освітлювальних ламп типу ЛЕО.

Світлотехнічна промисловість вже налагодила випуск нових, більш ефективних стаціонарних опромінювачів, які призначені для заміни застарілих моделей.

10.3. Методика розрахунку стаціонарних і рухомих установок ультрафіолетового опромінення

Дозоване ультрафіолетове опромінення за допомогою стаціонарних установок здійснюється протягом певного часу роботи опромінювачів при відомій величині опроміненості на розрахунковій поверхні. Тому розрахунок таких установок зводиться до визначення кількості опромінювачів, рівня опроміненості та тривалості опромінення, необхідних для отримання об'єктом заданої добової дози H_{Σ} .

Для визначення опроміненості можна використовувати загальноприйняті методи розрахунку освітлювальних установок, враховуючи низку особливостей, характерних для ультрафіолетового випромінювання:

- ультрафіолетові промені майже не відбиваються від стелі, стін і робочих поверхонь, тому в розрахунках коефіцієнти відбиття приймають рівними нулю;
- тварини й птиця мають різні форми та розміри, що значно відрізняються від плоскої поверхні. Для спрощення розрахунків вважають, що тіло тварини чи птиці за формою близьке до сфери або циліндра. Цю відмінність у формулах враховують коефіцієнтом форми K_f , який становить 0,5–0,64 незалежно від кута падіння променів (для сфери — $K_f=0,5$, для циліндра — $K_f=0,64$);
- під час визначення тривалості роботи установки розрахунковою приймають точку з найбільшою опроміненістю, що дозволяє уникнути переопромінення й опіків у тварин і птиці.

Метод коефіцієнта використання ефективного потоку, запозичений із розрахунків освітлювальних систем, застосовується без істотних змін у випадках, коли об'єкти опромінення розміщені рівномірно на горизонтальній поверхні. При цьому коефіцієнт нерівномірності опромінення — співвідношення між максимальним і мінімальним значеннями опроміненості — не повинен перевищувати 1,4.

Розрахунок установок методом коефіцієнта використання ефективного потоку проводять у такій послідовності:

1. Розміщують опромінювачі над опромінювальною поверхнею з урахуванням оптимальної відносної відстані.

2. Визначають коефіцієнт використання ефективного потоку установки та середню опроміненість.

3. Розраховують тривалість роботи системи для забезпечення необхідної добової дози опромінення.

Світлотехнічно оптимальна відносна відстань для опромінювачів із лампами типу ДРТ і ЛЕ у стандартній арматурі становить 1,4. За таких умов коефіцієнт нерівномірності опромінення не перевищує 1,15–1,25, а положення опромінювачів над робочою поверхнею можна визначити за відповідними розрахунковими формулами.

Основна розрахункова формула методу використання ефективного потоку наступна:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_B \cdot N_{\Sigma} \cdot \eta_{\Sigma} \cdot K_{\Phi}}{K_3 \cdot S}$$

де $E_{\text{ср}}$ - середня вітаопроміненість об'єкту, мвіт·м⁻²; Φ_B - вітальний потік випромінювання в ефективних одиницях, віт.; N_{Σ} - сумарна кількість джерел в установці ультрафіолетового опромінення, шт.; η_{Σ} - коефіцієнт використання ефективного потоку; K_{Φ} - коефіцієнт форми тварин, який дорівнює 0,5 - 0,64; K_3 - коефіцієнт запасу, який дорівнює 1,5 - 2,0; S - площа опромінювальної поверхні, м².

Коефіцієнт використання ефективного потоку визначається з табл. 1 з урахуванням індексу установки, який розраховують за формулою:

$$i = \frac{S}{H_p(a+b)}$$

де a, b - розміри опромінювальної поверхні, м; H_p - розрахункова висота підвісу випромінювача, м.

Висота підвісу випромінювачів над опромінювальною поверхнею H_p повинна задовольняти вимогу:

$$E_{\text{ср}} \cdot K_3 \leq E_{\text{доп.}}$$

де $E_{\text{доп.}}$ - допустима вітаопроміненість, яка залежить від виду і віку тварин і птиці (табл. 10.1).

При виконанні вказаної вимоги виключаються місцеві опіки ультрафіолетовими променями поверхні тіла тварини.

Таблиця 10.1 - Значення коефіцієнта використання ефективного потоку в установках з ультрафіолетовими опромінювачами

Індекс установки	Опромінювачі з лампами ДРТ в стандартній арматурі	Опромінювачі з лампами ЛЕ і ЛЕОв стандартній арматурі	Індекс установки	Опромінювачі з лампами ДРТ в стандартній арматурі	Опромінювачі з лампами ЛЕ і ЛЕОв стандартній арматурі
0,5	0,16	0,20	1,5	0,44	0,46
0,6	0,21	0,24	1,75	0,46	0,49
0,7	0,29	0,28	2,0	0,49	0,52
0,8	0,33	0,31	2,25	0,51	0,54

0,9	0,36	0,34	2,5	0,53	0,56
1,0	0,37	0,36	3,0	0,56	0,58
1,1	0,39	0,39	3,5	0,59	0,60
1,25	0,41	0,42	4,0	0,60	0,62
			5,0	0,62	0,64

При відомій вітальній експозиції опромінення НΣ і середньої віта – опроміненості поверхні Е_{ср} тривалість опромінення визначається занаступною формулою:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{ср}}$$

де H_{Σ} – рекомендована добова вітальна експозиція опромінення, $мвіт \cdot м^2$.

Орієнтовно тривалість роботи установок ультрафіолетового опромінення можна визначити і по так званим методом «питомого опромінення», виходячи із значення вітальної опроміненості Е_в, яка створюється джерелом на поверхні опромінення (рис. 10.8), висоти підвісу джерела і нормованою вітальною експозицією опромінення НΣ тобто:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_v K_a}$$

де K_a - коефіцієнт, що враховує вплив арматури на перерозподіл променистого потоку в необхідному напрямку, $K_a = 1,2 \dots 1,4$.

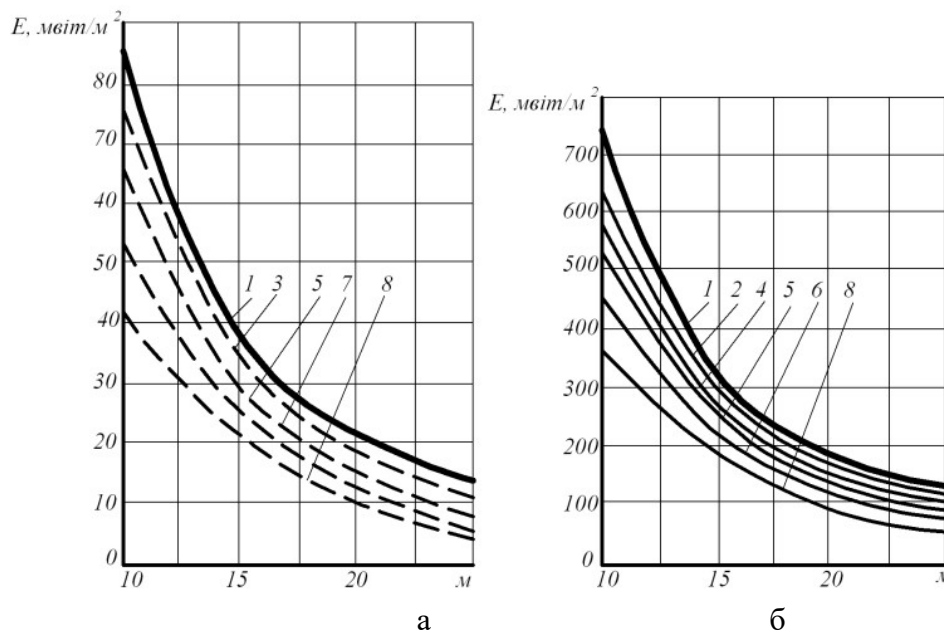


Рис. 10.8 – Залежність вітальної опроміненості, створюваної лампою ЛЕ30-1 (а) і ДРТ400 (б), від відстані до опромінювальної поверхні та тривалості горіння ламп: 1 - нова лампа; 2 - після 100 год. експлуатації; 3 - після 150 год.; 4 - після 200 год.; 5 - після 300 год.; 6 - після 500 год.; 7 - після 600 год.; 8 - після 1000 год. експлуатації

Цей метод є досить простим і застосовується переважно для орієнтовного розрахунку вітальної опроміненості від одного опромінювача в тих випадках, коли поруч розташовані прилади не створюють спільного сумарного променевого потоку, спрямованого на опромінювану поверхню.

Якщо відома крива розподілу сили вітального випромінювання опромінювача, для розрахунку стаціонарних ультрафіолетових установок може бути використаний точковий метод. При цьому за розрахункову приймається контрольна точка, у якій створюються найсприятливіші умови опромінення. Такий підхід дозволяє запобігти переопроміненню тіла тварини або птиці.

За точковим методом значення вітальної опроміненості в певній точці розрахункової поверхні, створене сукупною дією кількох найближчих опромінювачів, визначається за формулою:

$$E_s = \frac{\mu K_\phi}{H^2 p K_s} \sum_{i=1}^{N_s} I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i$$

де I_{α_i} - сила вітального випромінювання опромінювача під кутом α_i до вертикальної осі симетрії випромінювача, мВт·ср⁻¹; μ - коефіцієнт додаткової опроміненості, створюваної неврахованими опромінювачами (приймається рівним 1,1 ... 1,3).

Сила вітального випромінювання I_{α_i} в напрямку кута α_i , визначається по кривій просторового розподілу сили вітального випромінювання (рис. 10.9).

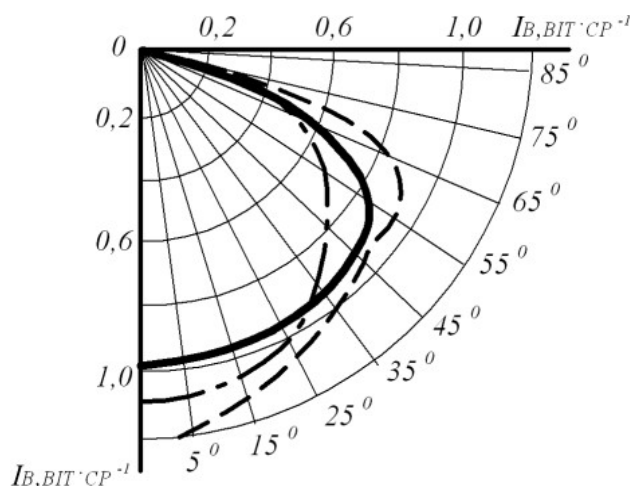


Рис. 10.9 – Криві просторового розподілу сили вітального випромінювання опромінювальних установок УО-4М (—), ОРК-2 (---) і крива $I_\alpha = I_n \cos \alpha$ (- · - · -)

Розрахунок стаціонарних і рухомих установок ультрафіолетового опромінення ґрунтується на визначенні кількості опромінювачів, рівня опроміненості та тривалості дії випромінювання, необхідних для забезпечення тварин і птиці заданою добовою дозою ультрафіолетового випромінювання.

Під час розрахунків необхідно враховувати особливості ультрафіолетових променів — їх слабе відбиття від поверхонь та об'ємну форму об'єктів опромінення. Для цього вводять коефіцієнт форми $K_f = 0,5 - 0,64$, що дозволяє коректно враховувати геометрію тіла тварин і птиці. Крім того, розрахунковою приймають точку з максимальною опроміненістю, що виключає можливість переопромінення.

Основним способом визначення параметрів установок є метод коефіцієнта використання ефективного потоку, який запозичено з практики розрахунків освітлювальних систем. Цей метод дозволяє визначити середню віта-опроміненість, коефіцієнт використання

ефективного потоку, а також тривалість роботи установки, забезпечуючи рівномірність опромінення з коефіцієнтом нерівномірності не вище 1,4.

Світлотехнічно оптимальна відносна відстань для опромінювачів із лампами типу ДРТ і ЛЕ становить 1,4, що забезпечує рівномірне розподілення опроміненості (1,15–1,25). Висота підвісу випромінювачів визначається з урахуванням допустимої віта-опроміненості, щоб уникнути місцевих опіків тварин.

Для спрощених оцінок можуть застосовуватись метод питомого опромінення або точковий метод. Перший дозволяє орієнтовно визначити тривалість роботи установки за відомою експозицією та характеристиками лампи, а другий — розрахувати опроміненість у конкретній точці поверхні з урахуванням просторового розподілу сили випромінювання.

Загалом методика розрахунку ультрафіолетових установок забезпечує можливість точного підбору параметрів опромінювачів, рівня опроміненості та тривалості дії випромінювання, що гарантує отримання тваринами та птицею оптимальної біологічної дози ультрафіолету без ризику переопромінення і травм.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає біологічна дія ультрафіолетового випромінювання?
2. Де використовується ультрафіолетове випромінювання в сільському господарстві?
3. Які ви знаєте типи ультрафіолетових опромінювачів?
4. Які ви знаєте типи стаціонарних установок ультрафіолетового опромінювання?
5. Які ви знаєте типи рухомих установок ультрафіолетового опромінювання?
6. Які ви знаєте типи установок, що використовуються для одночасного ультрафіолетового й інфрачервоного опромінювання?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису будови та типів установок для ультрафіолетового опромінення.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Використання ультрафіолетового опромінення в різних технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

ТЕМА №11. ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ОПРОМІНЮВАЛЬНІ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБІГРІВУ МОЛОДНЯКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з фізичною природою та характеристиками інфрачервоного випромінювання, його впливом на тварин; розкрити принцип дії й будову опромінювальних установок інфрачервоного типу та сформулювати знання щодо їх ефективного використання для локального обігріву молодняку з урахуванням енергозбереження.

Анотація

В даній темі розглядаються фізичні основи інфрачервоного випромінювання, його спектральні характеристики та біологічна дія на організм сільськогосподарських тварин. Наведено класифікацію та конструктивні особливості опромінювальних установок

інфрачервоного типу, що використовуються для локального обігріву молодняку. Проаналізовано принцип роботи ІЧ-випромінювачів, умови їх раціонального розміщення у тваринницьких приміщеннях та фактори, що впливають на ефективність тепловіддачі.

Keywords: infrared radiation, irradiation installations, local heating, young animals, microclimate, energy saving, thermal comfort, IR emitter, livestock.

План лекції

1. Біологічна дія інфрачервоного опромінення;
2. Опромінювачі та установки для опромінення тварин і птиці, їх основні характеристики;
3. Методика розрахунку і вибору установок інфрачервоного випромінювання.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

11.1. Біологічна дія інфрачервоного опромінення

Більша частина території України характеризується тривалим холодним осінньо-зимовим періодом, який залежно від кліматичної зони триває від п'яти до восьми місяців і є найбільш складним для утримання сільськогосподарських тварин. У цей час особливо важливо забезпечити тепло молодняку, оскільки в перші дні життя його механізми терморегуляції ще недостатньо розвинені. Наприклад, у щойно вилуплених курчат температура тіла істотно змінюється навіть при коливаннях температури повітря всього на 0,03 °C, а при зниженні до 14–15 °C різко падає. З віком стійкість організму до температурних змін підвищується, і вже через два тижні температура тіла стабілізується на рівні, характерному для дорослої птиці.

Низька температура повітря в поєднанні з підвищеною вологістю негативно впливає на розвиток молодняку, уповільнює ріст, порушує обмін речовин, може спричинити рахіт, застудні захворювання, розлади травлення й навіть загибель тварин.

Підтримання необхідного температурного режиму під час вирощування молодняку забезпечується або системою загального обігріву приміщення, або комбінованою системою, що поєднує загальний і локальний обігрів. Найефективнішою вважається саме комбінована система, яка дозволяє створювати підвищену температуру лише в обмеженій зоні, де перебуває молодняк у перші дні життя.

Для локального обігріву застосовують різні пристрої — нагрівальні установки, обігрівальні підлоги, килимки, панелі тощо. У сучасному тваринництві широке використання отримали установки інфрачервоного (ІЧ) обігріву, які чинять позитивний біологічний вплив на організм тварин. Під час потрапляння променистого потоку на поверхню тіла частина випромінювання відбивається, а інша — поглинається шкірою та підшкірними тканинами. Глибина проникнення ІЧ-променів залежить від стану шкіри — її вологості, густоти шерстного чи пір'яного покриву та ступеня пігментації.

Теплові рецептори, розташовані в шкірі, реагують на поглинання інфрачервоного випромінювання, викликаючи відчуття тепла. Біологічна дія ІЧ-випромінювання базується на

його поглинанні водою, кров'ю та молекулами живої тканини. На рисунку 11.1 подано спектр поглинання інфрачервоного випромінювання шкірою та підшкірними тканинами людини, а на рисунку 11.2 — спектри поглинання води й тканин чорного та білого телят.

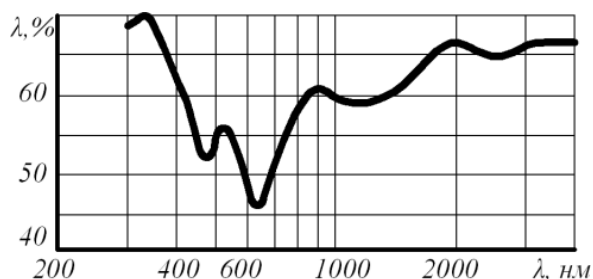


Рис. 11.1 — Спектр поглинання ІЧ-випромінювання шкірою і підшкірними тканинами людини

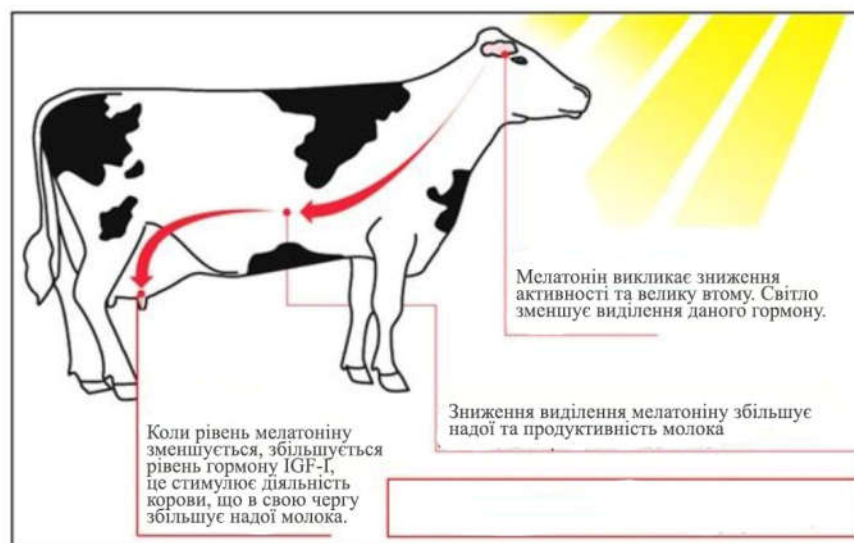


Рис. 11.2 – Вплив світла на процеси життєдіяльності ВРХ

Найбільше відображення (біля 30%) спостерігається у видимій, особливо червоній області (400-780 нм). В області ІЧ-А коефіцієнт відображення становить близько 20%, ІЧ-В - 10% і в області ІЧ-С - 5-6%, тобто майже вся довгохвильова частина ІЧ-випромінювання (94-95%) проникає в шкіру і підшкірну тканину.

На рис. 11.3. зображені спектри поглинання води (1) і тіла білого (2) і чорного (3) теляти. У зоні від 1,3 до 4 мкм спектри поглинання тіл більшості тварин приблизно однакові і досить високі. В основному поглинене ІЧ-випромінювання перетворюється в тепло, підвищуючи температуру опромінюваних тіл.

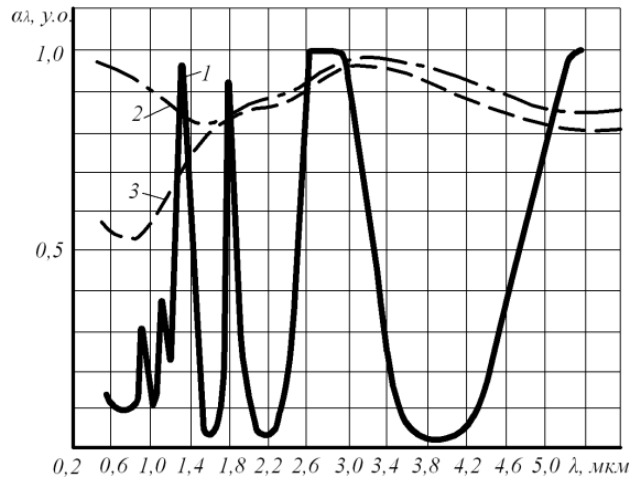


Рис. 11.3 – Спектр поглинання: 1 - води; 2 - тіла чорного теляти; 3 - тіла білого теляти

Основні характеристики інфрачервоного випромінювання:

1. Спектральна випромінювальна здатність E_{wT} — це величина, що кількісно дорівнює енергії, яку тіло при певній температурі випромінює з одиниці площі своєї поверхні за одиницю часу в діапазоні частот від w до $w+dw$. Одиницею вимірювання є $Вт/м^2$.
2. Повна випромінювальна здатність E_T — це енергія, що випромінюється тілом з одиниці площі поверхні за одиницю часу при температурі T у всьому спектрі частот — від 0 до ∞ . Цей показник характеризує густину потужності випромінювання. Одиниця вимірювання — $Вт/м^2$.

Математично повна випромінювальна здатність визначається за формулою:

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{wT} d\omega ;$$

3. Поглинальна здатність тіл A_{wT} показує, яку частину падаючого світла (електромагнітного випромінювання) в інтервалі частот $(w; w+dw)$ тіло поглинає при даній температурі T :

$$A_{wT} = \frac{P_1}{P} ,$$

де P_1 — енергія, що поглинається; P — загальна енергія, що падає.

4. Відбивна здатність V_{wT} показує, яку частину падаючого світла (електромагнітного випромінювання) в інтервалі частот $(w; w+dw)$ тіло відбиває при даній температурі T ;

5. Пропускна здатність D_{wT} показує, яку частину падаючого світла (електромагнітного випромінювання) в інтервалі частот $(w; w+dw)$ тіло пропускає при даній температурі T .

Величина D_{wT} характеризує прозорість тіла і залежить від товщини тіла; при достатній товщині практично всі тіла непрозорі.

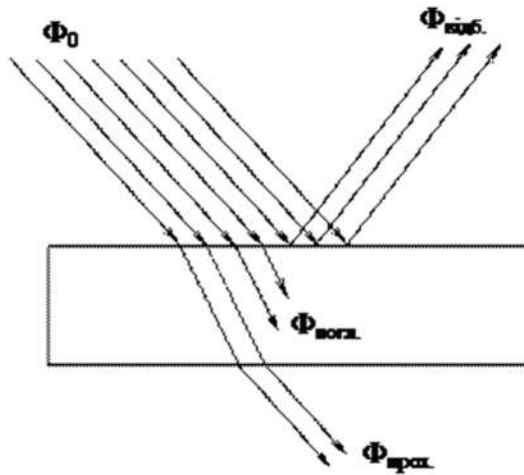


Рис. 11. 4 – Зображення пропускної здатності тіла

Величини D_{wT} , V_{wT} , A_{wT} інакше називають коефіцієнтами пропускання, відбивання, поглинання світла. Усі вони залежать не тільки від частоти світла і температури тіла, а й від хімічного складу тіла, його форми і стану поверхні. Оскільки кожен з цих коефіцієнтів визначає ту чи іншу частину падаючого світлового потоку (рис. 4), то сума їх дорівнює одиниці:

$$D_{\omega T} + V_{\omega T} + A_{\omega T} = 1$$

На рис. 11.5 наведено дані про глибину проникнення монохроматичного випромінювання (у відсотках). Шкіра являє собою комплекс, що складається різних шарів – епідермісу I, мальпігієвого шару II, сполучнотканинної частини III. Потім розміщується підшкірна тканина IV і більш глибоко лежать тканини V.

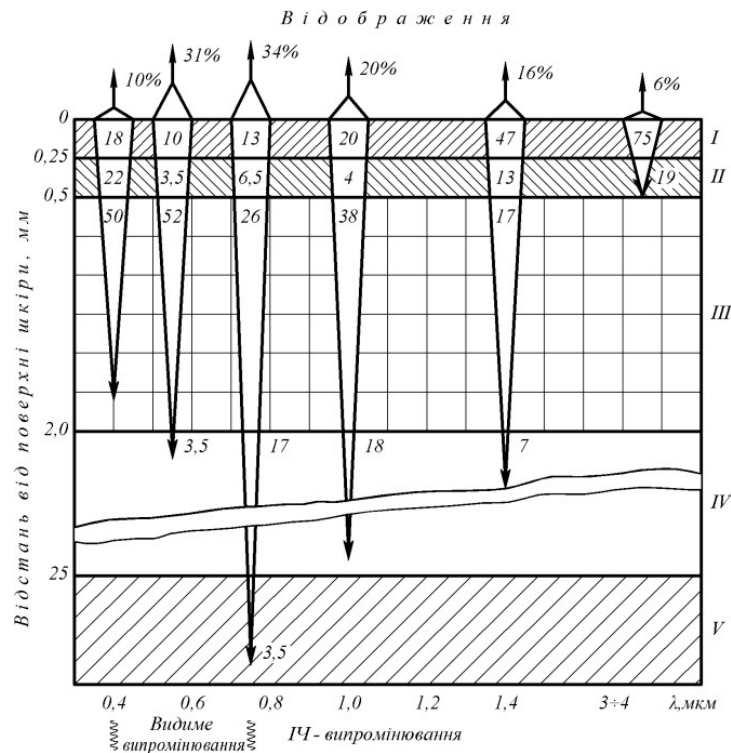


Рис. 11.5 – Глибина проникнення видимого та інфрачервоного випромінювання в шкіру та підшкірні тканини тварини

З рисунка 5 видно, що видиме випромінювання повністю поглинається шкірою, тоді як короткохвильове інфрачервоне випромінювання проникає значною мірою у підшкірні шари.

Довгохвильове ІЧ-випромінювання (довжина хвилі понад 2 мкм) здебільшого поглинається поверхневими шарами шкіри — епідермісом. Для хвиль із довжиною понад 5 мкм шкіра вважається повністю непрозорою.

Поглинена енергія ІЧ-випромінювання перетворюється на тепло, що призводить до підвищення температури тканин, посилення кровообігу у підшкірних шарах, розширення судин і активізації обміну речовин між кров'ю та тканинами.

Процес поглинання інфрачервоного випромінювання — це складна біологічна реакція, у якій бере участь увесь організм через систему терморегуляції. ІЧ-промені, проникаючи в шкіру, впливають на нервову систему, а через неї — на внутрішні органи. Водночас покращується виведення токсинів, активізуються процеси пігментоутворення та регенерації клітин епідермісу, що підвищує захисні властивості шкіри.

Через різну глибину проникнення механізм дії коротко- та довгохвильового ІЧ-випромінювання відрізняється.

- Довгохвильове випромінювання ($\lambda > 1500$ нм) поглинається поверхневими шарами шкіри, викликаючи локальне нагрівання. Тут розташовані вільні нервові закінчення, які передають сигнали теплоти в центральну нервову систему. За участю нервових рефлексів шкіра активує всі механізми терморегуляції організму.
- Короткохвильове випромінювання (750–1500 нм) проникає глибше — через шари, де виникає больова чутливість, і чинить не лише теплову, а й хімічну дію. Воно впливає на вегетативні нервові сплетіння, судини, залози внутрішньої секреції та сприяє нормалізації обміну речовин. Завдяки цьому створюється захисний бар'єр від переохолодження та посилюється загальна опірність організму.

Таким чином, короткохвильове ІЧ-випромінювання має специфічну біологічну дію, що позитивно впливає на розвиток, приріст ваги та збереження молодняку. Робота ІЧ-опромінювачів у переривчастому режимі сприяє своєрідному “тренуванню” судинної системи, підвищуючи загартованість тварин.

Отже, інфрачервоне опромінення не лише забезпечує захист від переохолодження, а й стимулює біологічні процеси, покращує тонус і зміцнює природні захисні сили організму.

Крім того, ІЧ-випромінювання широко використовується у лікувальних цілях. Його терапевтична дія ґрунтується на здатності викликати активну гіперемію, що покращує живлення тканин і прискорює розсмоктування патологічних утворень. Це пояснює ефективність ІЧ-опромінення при лікуванні запальних процесів, екзем, дерматитів, опіків тощо.

Під його впливом посилюється кровообіг, підвищується кількість еритроцитів і лейкоцитів, збільшується рівень гемоглобіну, активізується робота кровотворних органів і зміцнюється імунна система.

11.2. Опромінювачі та установки для опромінення тварин і птиці, їх основні характеристики

Щоб захистити ІЧ-лампи від механічних пошкоджень і потрапляння води, а також забезпечити рівномірний розподіл випромінювання в просторі, використовують спеціальні арматури. Разом із лампою арматура утворює опромінювач. Такі опромінювачі з різними типами ІЧ-ламп широко застосовуються в тваринництві для локального обігріву молодняку

сільськогосподарських тварин та птиці. Наприклад, опромінювач типу ССП01 (рис. 11.6) створений на базі світильника «Астра-12» і адаптований під лампу типу ІКЗК.



Рис. 11.6 – Інфрачервоний опромінювач типу ССП

Він складається з пластмасового корпусу та емальованого відбивача. Усередині корпусу розташований фарфоровий патрон для цоколя типу E27. Відбивач покритий силікатною емаллю, що легко очищається від забруднень. Знизу на відбивачі встановлена захисна сітка, яка оберігає ІЧ-лампу від механічних пошкоджень. На корпусі передбачений отвір із пластмасовим щитком, де розміщена збірка затискачів, що дозволяє підключати як мідні, так і алюмінієві проводи або кабель перерізом до 4 мм². Для кріплення опромінювач використовує підвіс на гаку.

Опромінювачі рефлекторні типу ОРІ мають подібну конструкцію і оснащені конічним захисним корпусом із листової сталі. Зверху, під пластмасовим ковпаком, розташований фарфоровий патрон «Голіаф» для цоколя типу E40. Так, опромінювачі типу ОРІ (рис. 11.7, а, б) випускаються з лампою ІКЗ – ОРІ-2 або з лампою ПС-70/Е-11010-375. Ветеринарний опромінювач ОВІ-1 (рис. 11.8) комплектується лампою ІКЗ 220-500-1.

Конструктивно він складається з двох основних елементів – металевого корпусу і захисної сітки. Патрон лампи прикритий пластмасовим ковпаком, а між ним і корпусом передбачені отвори для охолодження цоколя. Пристрій має герметичне виконання.

Наразі серійно виготовляється опромінювач «Латвіко» з лампою КІ 220-1000. Його корпус коробкової форми, виконаний з оцинкованої жерсті. Усередині розташована лампа з відбивачем, а знизу її захищає металева сітка. Опромінювач є підвісним і кріпиться до натягнутого тросу за допомогою дроту через вушка корпусу.

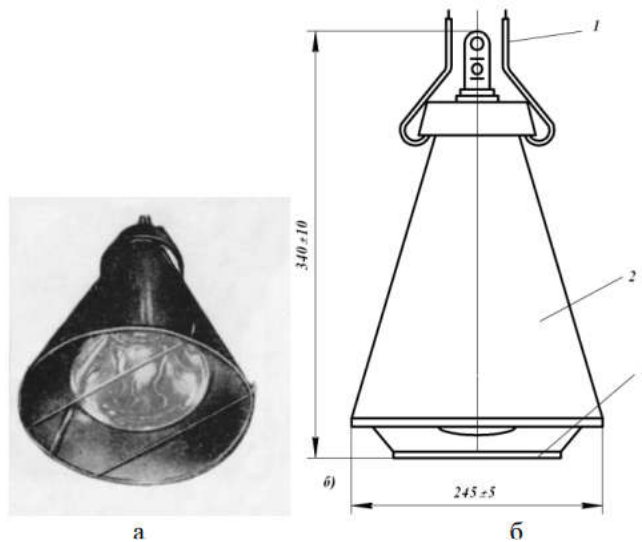


Рис. 11.7 – Інфрачервоний опромінювач типу ОРІ-1: а) загальний вигляд; б) схема конструкції: 1 - підвіска; 2 - корпус; 3 - сітка

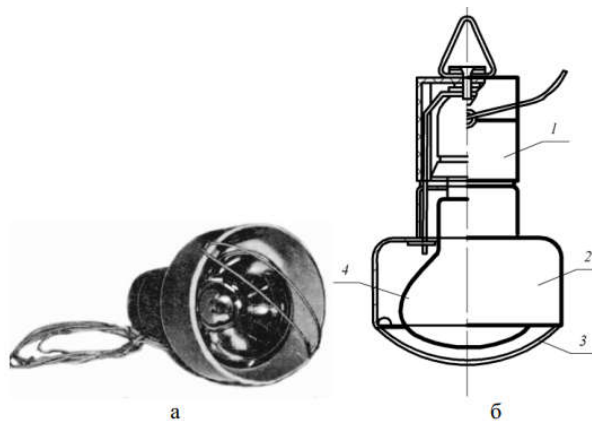


Рис. 11.8 – Опромінювач ветеринарний типу ОВІ-1: а) загальний вигляд; б) розріз: 1 - корпус; 2 - пластмасовий ковпак; 3 - захисна сітка; 4 - ІЧ-лампа

Було розроблено опромінювач типу ОЕі-500, який за зовнішнім виглядом схожий на «Латвіко». Усередині нього встановлені фарфорові патрони для ламп типу ІКЗК 220-250. Випромінювач підвішується до троса за допомогою ланцюгів, що дозволяє регулювати висоту його підвісу.

Різноманітні конструкції опромінювачів з ІЧ-лампами виробляються і за кордоном. Наприклад, фірма «Прем'єр» (США) випускає брудер із шести дзеркальних ламп потужністю по 500 Вт, розрахований на вирощування 1000 курчат. Також створено брудер із парасолькою та ІЧ-опромінювачами на рухомому штативі, що дозволяє змінювати температурний режим шляхом регулювання висоти розташування ламп над поверхнею.

Науково-дослідний інститут механізації сільського господарства (Угорщина) розробив брудер із чотирьох ламп по 250 Вт, який виготовляється з парасолькою та без неї, а температура регулюється зміною висоти підвісу брудера.

Для ІЧ-обігріву молодняку на базі ТЕН створено два типи опромінювачів: ОКБ-3296 та ОКБ-1376А.

ОКБ-3296 складається з трьох основних компонентів: джерела ІЧ-випромінювання, параболічного відбивача та струмовідводів. В якості випромінювача використовується трубчастий нагрівач потужністю 500 Вт. Відбивач виготовлений зі сталі та покритий емаллю

з обох сторін. ТЕН розташований у площині відбивача і захищений сіткою знизу. На корпусі передбачено вимикач, а для підключення до мережі – штепсельний роз'єм. Цей опромінювач випускався обмеженою серією.

ОКБ-1376А (рис. 11.9) являє собою сталевий корпус, у верхній частині якого закріплені три ТЕНи.



Рис. 11.9 – Інфрачервоний опромінювач типу ОКБ-1376А

Стінки корпусу подвійні, а простір між ними заповнений теплоізоляційним матеріалом. Кожен ТЕН потужністю 0,4 кВт має окремий вимикач, розташований на захисному кожусі, що дозволяє ступеневе включення опромінювача на потужності 0,4; 0,8 та 1,2 кВт. Напруга на ТЕНи подається через клемник, який розташований під захисним кожухом. Знизу опромінювач захищений металевою сіткою.

Для місцевого обігріву молодняку птиці широко використовуються підвісні електричні брудери БП-1 і БП-1А. Брудер БП-1 призначений для обігріву 500–600 курчат, що утримуються на підлозі.

Конструкція брудера (рис. 11.10, а) виконана у вигляді порожнистої шестигранної усіченої металевої піраміди, оснащеної упорами змінної висоти для встановлення на підлозі та тросовою підвіскою для кріплення до стелі приміщення. Під «зонтом» брудера розташовані чотири «темних» ТЕНи потужністю по 250 Вт кожен.

Електрична принципова схема брудера БП-1 наведена на рис. 11.10, б). Опромінювачі R1–R4 підключені за схемою рівноплечого мосту, а в його діагональ включена сигнальна лампа HL2, яка загоряється при перегорянні одного з ТЕНів.

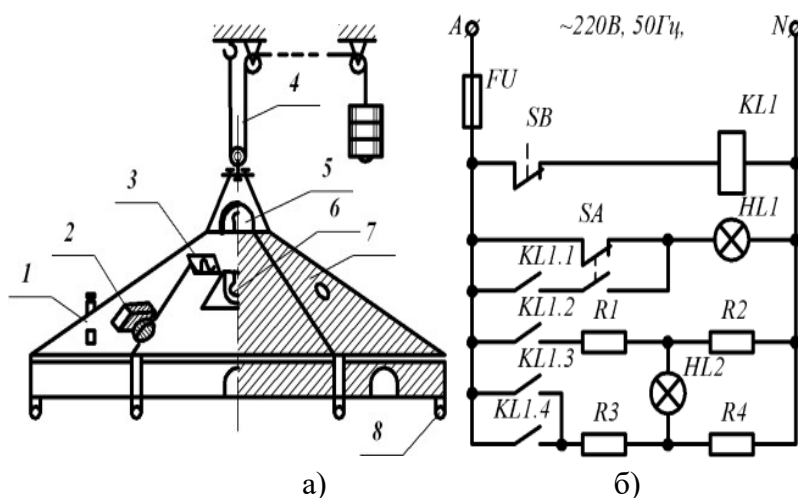


Рис. 11.10 – Брудер БП-1: а) загальний вигляд; б) принципова електрична схема брудера БП-1: 1 - контрольний термометр; 2 - терморегулятор; 3 - ІЧ-опромінювач; 4 - тросова підвіска з протизагаками; 5 - сигнальна лампа перегорання ТЕНів; 6 - лампа освітлення; 7 - корпус; 8 - упори

Температура під парасолькою брудера підтримується на заданому рівні з точністю 2–3 °С завдяки температурному реле на основі сильфона з легко випарною рідиною. При підвищенні температури рідина випаровується, сильфон розширюється і, впливаючи на мікрровимикач, вимикає опромінювачі. При зниженні температури процес відбувається в зворотному порядку, і опромінювачі включаються.

Під парасолькою брудера встановлена лампа освітлення HL1, яку під час налаштування температурного режиму можна включати перемикачем SB паралельно ТЕНам; вона також виконує функцію сигналізації включення та відключення ІЧ-випромінювача. Огорожа брудера має вікна для вентиляції під парасольковим простором. Потужність брудера БП-1 становить 1 кВт.

11.3. Методика розрахунку і вибору установок інфрачервоного випромінювання

Розрахунки установок для локалізованого ІЧ-опромінення молодняку виконуються за точковим методом, що дозволяє враховувати нерівномірність розподілу випромінювання. Необхідна рівномірність опромінення встановлюється з урахуванням допустимих відхилень температури від номінальної згідно з зоотехнічними вимогами.

Основним завданням розрахунку є визначення висоти підвісу опромінювачів та регулювання напруги, що подається на них, для досягнення заданих значень ІЧ-опроміненості, а також забезпечення однорідного обігріву в зоні дії випромінювачів.

Такий підхід дозволяє мінімізувати енерговитрати при локалізованому обігріві молодняку тварин і птиці. На рис. 11.11 показана крива $E(r)$, що відображає розподіл опроміненості на горизонтальній поверхні під опромінювачем.

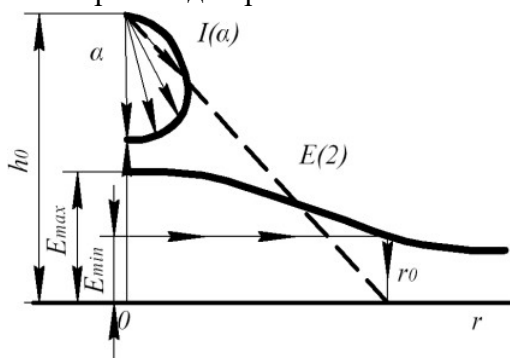


Рис. 11.11 – Розподіл ІЧ опроміненості на горизонтальній поверхні під опромінювачем

Нерівномірність ІЧ опромінення не повинно виходити за межі:

$$Z = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

Така зона обігріву являє собою в плані коло радіусом r . За його межами опроміненість нижче допустимої - $E < E_{\min}$. Щоб виключити непродуктивні витрати енергії, необхідно площу, зони опромінення прийняти рівною тій площі, яка потрібна виділеному числу тварин при локалізованому обігріві:

$$\pi r_p^2 = n_m S_m$$

де r_p - розрахунковий радіус зони обігріву з допустимою нерівномірністю опромінення, м; n_m - число тварин або птиці в зоні локалізованого опромінення; S_m - площа, займана однією

твариною в зоні обігріву, m^2 .

Радіус зони опромінення з допустимою нерівномірністю прямопропорційний висоті розташування опромінювача:

$$\frac{r_p}{h_p} = \frac{r_0}{h_0}$$

де h_p - розрахункова висота розташування опромінювача, м; h_0, r_0 - відповідно значення висоти розташування опромінювача і радіуса зони обігріву, м.

З урахуванням співвідношень попередніх виражень розрахункова висота розташування опромінювача:

$$h_p = \frac{h_0}{r_0} \sqrt{\frac{n_m S_m}{\pi}}$$

Опроміненість, що створюється в зоні обігріву, залежить від числа ламп в випромінювачі і підведеної до неї напруги. Вона повинна бути рівною необхідній опроміненості $E_{тр}$:

$$E_{mp} = n_{л} E_{л.p.}$$

де $n_{л}$ - число ламп в опромінювачі; $E_{л.p.}$ - опроміненість, $Вт/м^2$, що створюється в зоні обігріву однією лампою, при розрахунковій висоті h_p розташування опромінювача і розрахунковій напрузі U_p на установці.

Разом з тим при фіксованому положенні опромінювача опроміненість, $Вт/м^2$, в зоні обігріву:

$$E_{л.p.} = E_{л.н.} \left(\frac{U_p}{U_n} \right)^2$$

де $E_{л.н.}$ - опроміненість, створювано однією лампою при розрахунковій висоті h_p і номінальній напрузі живлення, $Вт/м^2$; U_p - напруга, що підводиться, В.

Визначення необхідної кількості ламп і розрахункову напругу на установці. Розрахункове число $n_{л.p.}$ ламп знаходять при номінальній напрузі на установці $U_p = U_n$:

$$n_{л.p.} = \frac{E_{m.p.}}{E_{л.н.}}$$

Фактично прийняте число ламп в опромінювачі повинно бути цілим і більше розрахункового ($n_{л} \geq n_{л.p.}$).

Розрахункову напругу на опромінювачі визначають за формулою при прийнятому числі $n_{л}$ ламп в опромінювачі:

$$U_p = U_n \sqrt{\frac{E_{m.p.}}{E_{л.p.} \cdot n_{л}}} = U_n \sqrt{\frac{n_{л.p.}}{n_{л}}}$$

В якості необхідної опроміненості може бути прийняте будь-яке її значення в межах зони обігріву $E_{max} \geq E_{тр} \geq E_{min}$. Однак зручніше скористатися E_{min} або E_{max} , значення яких вже відомі. Приймавши максимальні значення, отримаємо:

$$E_{mp} = K_m (t_{н max} - t_n)$$

де $t_{н max}$ - максимальна рекомендована температура в зоні локалізованого обігріву, $^{\circ}C$.

Опроміненість $E_{л.н.}$ при номінальній напрузі можна визначити, використовуючи відоме співвідношення висоти розташування опромінювача і опроміненості під ним:

$$E_{\text{л.н}} = E_{\text{л.пmax}} = E_{0\text{пmax}} \frac{h_0^2}{h_p^2}$$

де $E_{0\text{пmax}}$ - реперне значення максимальної опроміненості в зоні обігріву, яке відповідає реперній висоті h_0 розташування опромінювача, Вт/м².

Раціональна експлуатація інфрачервоних опромінювальних установок, що сприяє максимальному збереженню та продуктивності молодняку тварин і птиці, передбачає регулярний контроль температурного режиму в зоні обігріву.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягає біологічна дія інфрачервоного випромінювання ?
2. У чому полягають переваги опромінювальних установок перед іншими способами обігріву тварин?
3. Які ви знаєте опромінювачі і установки для обігріву молодняку тварин і птиці?
4. Будова ІЧ опромінювачів.
5. Які джерела використовуються в випромінювачах?
6. У чому полягає методика розрахунку і вибору установок випромінювання?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису установок для інфрачервоного опромінення.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Використання інфрачервоного випромінювання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

ТЕМА №12. АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ ДЛЯ ОБІГРІВУ ТА ОЗДОРОВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з принципами дії, конструкцією та видами опромінювальних установок інфрачервоного та ультрафіолетового типу; розглянути особливості їх застосування для локального обігріву та оздоровлення молодняку сільськогосподарських тварин і птиці.

Анотація

Тема присвячена використанню інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання для локального обігріву та оздоровлення молодняку сільськогосподарських тварин і птиці. Розглядаються фізичні властивості випромінювання, принципи дії опромінювальних установок, їх конструктивні особливості та основні режими роботи. Наведено рекомендації щодо оптимізації температурного режиму, розташування опромінювачів та ефективного використання обладнання для забезпечення росту, розвитку й збереження молодняка, а також підвищення енергоефективності та безпеки експлуатації.

Keywords: infrared radiation, ultraviolet radiation, irradiation installations, local heating, young animals, young poultry, temperature regime, growth efficiency.

План лекції

1. Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення.
2. Опромінювальні установки ІКУФ-1 і ІКУФ-1М.
3. Конструкція опромінювача установки «Луч».

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу;
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

12.1. Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення

В установках, призначених для підтримання оптимального температурного режиму утримання молодняку тварин і птиці, широко застосовується інфрачервоний обігрів. Найвищу ефективність він демонструє при одночасному використанні з ультрафіолетовим опроміненням.

Поєднана дія інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання забезпечує значно потужніший біологічний ефект, ніж окреме застосування кожного з них. Зокрема, спільне використання ІЧ-нагріву та УФ-опромінення у телятниках і свинарниках сприяє підвищенню приросту маси молодняку на 15–20 % і збереженості поголів'я на 10–15 %.

Для реалізації одночасного інфрачервоного та ультрафіолетового впливу на молодняк сільськогосподарських тварин і птиці промисловістю створені та серійно випускаються стаціонарні автоматизовані установки типу ІКУФ-1, ІКУФ-1М, «Луч» і «СОЖ-1» (рис. 12.1).

Ці установки призначені для локального обігріву поросят-сисунів віком до 45–60 днів, телят — до 45–120 днів, ягнят — до 60 днів, а також молодняку птиці (курчат, індичат, каченят, гусенят) — до 20–30 днів, із забезпеченням ультрафіолетового опромінення протягом усього періоду вирощування. Конструктивно вони складаються з блоку програмного керування та 20, 40, 60 або 80 опромінювачів, кожен із яких обладнаний двома інфрачервоними лампами ІКЗК 220-250 і однією ультрафіолетовою — вітальною ЛЭ15 або вітально-освітлювальною ЛЕО15.

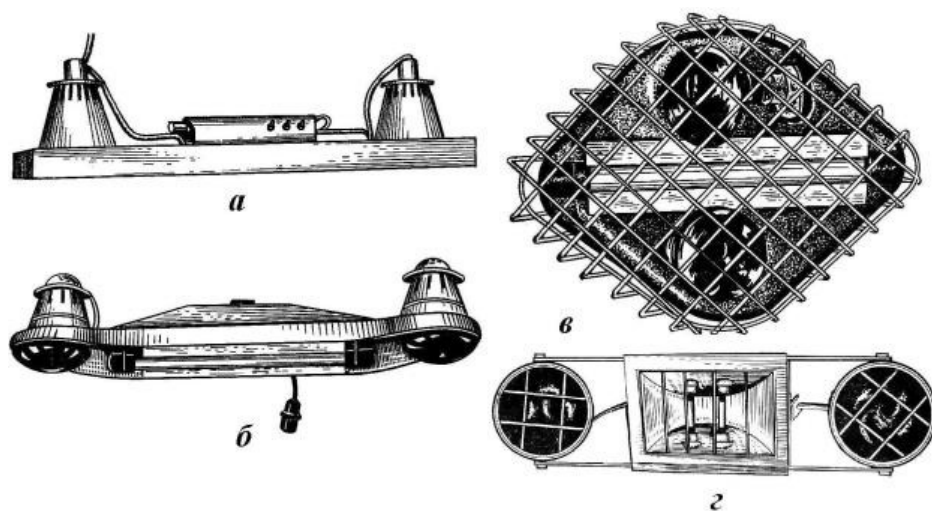


Рис. 12.1 – Загальний вигляд опромінювачів автоматизованих установок інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення молодняку тварин та птиці: а) ІКУФ-1; б) ІКУФ-1М; в) «Луч»; г) СОЖ-1

Таблиця 12.1 – Основних технічних характеристик установок ІЧ- та УФ-опромінення

Характеристика	Значення
Типи установок	ІКУФ-1, ІКУФ-1М, «Луч», СОЖ-1
Призначення	Локальний інфрачервоний та ультрафіолетовий обігрів молодняку тварин і птиці
Вікові групи молодняку	Поросята-сисуні: до 45–60 днів Телята: до 45–120 днів Ягнята: до 60 днів Молодняк птиці (курчата, індичата, каченята, гусенята): до 20–30 днів
Конструктивні елементи	Блок програмного керування + опромінювачі
Кількість опромінювачів	20, 40, 60 або 80
Склад опромінювача	2 інфрачервоні лампи ІКЗК 220-250 + 1 ультрафіолетова лампа ЛЕ15 або ЛЕО15
Тип опромінення	Інфрачервоне + ультрафіолетове (вітальне або вітально-освітлювальне)
Ефект застосування	Збільшення приросту маси молодняку на 15–20 % Підвищення збереженості поголів'я на 10–15 %
Можливості автоматизації	Підтримання оптимального температурного режиму, управління ІЧ- та УФ-опроміненням одночасно

12.2. Опромінювальні установки ІКУФ-1 і ІКУФ-1М

Опромінювальні установки ІКУФ-1 та ІКУФ-1М (рис. 12.1 а, б) мають подібну конструкцію з незначними відмінностями. Вони складаються з жорсткої металевої коробки, на обох кінцях якої встановлені інфрачервоні лампи ІКЗК220-250, а між ними розташована ультрафіолетова лампа ЛЕ15 з відбивачем. Пускорегулюючий пристрій для УФ-лампи розміщений у верхній частині опромінювача та закритий захисним кожухом (рис. 12.2). Знизу корпус захищений решіткою. Підключення до електромережі здійснюється через трипровідний шнур зі штепсельним роз'ємом. Опромінювачі підвішують над зоною відпочинку молодняку за спеціальні дужки на тросі або дротяних підвісках.

Основна відмінність моделей ІКУФ-1 та ІКУФ-1М полягає в тому, що опромінювачі ІКУФ-1М обладнані герметичними патронами та тримачами стартера, а також резиновими сальниковими ущільненнями, що забезпечує пилевологозахищене виконання. Крім того, на цих опромінювачах відсутні перемикачі для індивідуального керування інфрачервоним та ультрафіолетовим випромінюванням молодняку.

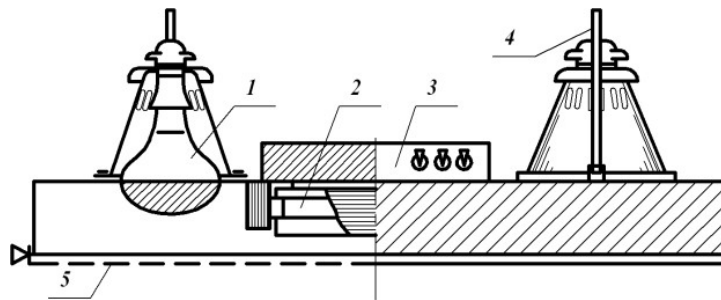


Рис. 12.2. – Конструкція опромінювальної установки ІКУФ-1: 1 - ІЧ-лампа; 2 - вітальна лампа; 3 - кожух ПРА з перемикачами; 4 - підвіска; 5 - захисні решітки

Приклад схеми управління роботою установки ІКУФ-1 передбачає два режими роботи: автоматичний і ручний. (рис. 12.3).

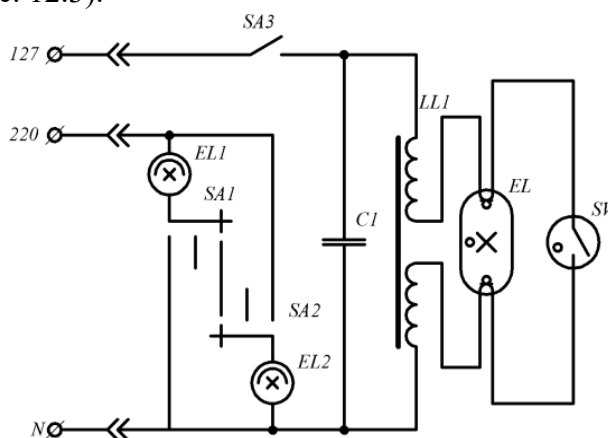


Рис. 12.3 – Електрична принципова схема випромінювача ІКУФ-1

Один з режимів роботи ІЧ ламп кожного випромінювача може бути заданий за допомогою перемикачів SA1, SA2: включена тільки EL1, включена тільки EL2, включені EL1 і EL2 на повну напругу мережі, EL1 і EL2 включені послідовно і кожна з ламп включена на половину напруги мережі. Перемикач SA1 служить для управління роботою вітальною лампою, включеної за стартерною схемою імпульсного запалювання з попереднім підігрівом електродів.

В універсальній автоматизованій установці «Луч» опромінювач представляє собою жорстку сталеву конструкцію овальної форми. У опромінювачі на кронштейнах змонтовані дві інфрачервоні лампи ІКЗК і одна вітальна лампа ЛЕ15 з відбивачем (рис. 12.1, в).

На опромінювачі під захисним кожухом розташована пускорегулююча апаратура ультрафіолетової лампи. Знизу опромінювач закритий металеву решіткою. Патрони інфрачервоних ламп ущільнені спеціальними гумовими манжетами, лампотримачі ультрафіолетової лампи виконані у брызкозахисному виконанні. У арматурі опромінювача є пристосування для його підвіски і ввідний пристрій для живильного кабелю. До мережі опромінювач підключається через відгалужувальні коробки брызкозахисного виконання.

12.3. Конструкція опромінювача установки «Луч»

Конструкція кріплення інфрачервоних ламп дозволяє встановлювати їх під кутами 45°, 68° та 90° до обігрівальної поверхні, що забезпечує більш ефективне використання інфрачервоного випромінювання та рівномірний його розподіл по опромінювальній зоні (рис. 12.4). Для регулювання температурного режиму у міру зростання молодняка тварин або птиці



156

призначену, як і установки ІКУФ та «Луч», для локального інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення молодняку сільськогосподарських тварин і птиці.

Опромінювач установки СОЖ-1 оснащено двома інфрачервоними лампами ІКЗК 220-250, розташованими в конічному корпусі, бактерицидною лампою ДРТ-100 для знезараження повітря й поверхонь, а також вітальною лампою ДРТ2-100. Корпуси опромінювачів можуть нахилитися до 30° від вертикалі, що полегшує регулювання напрямку випромінювання.

Режим роботи установки СОЖ-1 автоматично підтримується програмним пристроєм, який разом із пускачами та комутаційною апаратурою розміщений у пульті керування. У схемі живлення передбачено використання ламп ІКЗК 220-250 як баластних опорів для ДРТ-100 і ДРТ2-100, що дозволило відмовитись від дроселів, трансформаторів і частини компенсуючих конденсаторів. Завдяки цьому енергоємність установки зменшилася удвічі, а матеріаломісткість — утричі порівняно з ІКУФ-1.

Для одночасного інфрачервоного обігріву, ультрафіолетового опромінення й освітлення тваринницьких приміщень розроблено комбіновану установку ЕРИКО-1, що обслуговує до 4000 кроленят, 120 свиноматок із поросятами або 120 телят. Вона містить 125 інфрачервоних опромінювачів, 70 пилевологозахищених вітально-освітлювальних приладів із лампами ЛЭ30-1 і ЛБ30, 10 світильників чергового освітлення та шафу керування. Для ультрафіолетового опромінення до 200 корів, 12 тис. курей-несучок або 25 тис. курчат, а також одночасного штучного освітлення площі 1600–1800 м² і знезараження повітря створено установку ОЭРБА, що складається зі 100 бактерицидних опромінювачів ОЭРБА 3×30 (лампи ЛЭ30-1, ЛБ30, ДБ30-1), 10 світильників чергового освітлення й шафи керування. У приладах ЕРИКО-1 і ОЭРБА лампи ЛЭ30-1 і ЛБ30 можуть бути замінені на комбіновані вітально-освітлювальні лампи типу ЛЕО30.

Висота підвісу випромінювачів визначається видом, віком тварин і температурою повітря в приміщенні. Наприклад, при обігріві поросят установками ІКУФ-1 і ІКУФ-1М один опромінювач зазвичай обслуговує два станки за наявності загальної системи опалення або один станок — за її відсутності. Висота підвісу варіює від 0,5–0,8 м залежно від віку поросят і температури приміщення. Рекомендований режим роботи:

- у перші 3 дні — безперервне випромінювання;
- з 3-го по 10-й день — 45 хв обігріву, 15 хв пауза;
- з 10-го по 45-й день — цикли по 30 хв обігріву та паузи.

Для телят один опромінювач може обігрівати дві клітки або площу 4 м² у груповому утриманні. Висота підвісу змінюється від 1,2 м до 1,7 м залежно від віку й температури, у перші дні її зменшують на 0,4–0,5 м.

У кошарах обігрів організовують із розрахунку 25 Вт на одну вівцематку з приплодом або 250 Вт на 10 ягнят. Тривалість обігріву становить до 20 днів, а при температурі нижче +10 °С — до 45–60 днів. Режим — 3 год роботи, 45 хв пауза у перші дні, надалі — 1 год обігріву та 30 хв перерва.

Для пташенят найефективніше застосовувати низькотемпературні керамічні випромінювачі ЕІС-0,25-ІІ «Ірис», а за їх відсутності — лампи ІКЗС. Одне джерело потужністю 250 Вт забезпечує обігрів 100–120 курчат або 60–80 індичат, каченят чи гусенят. Режим роботи зазвичай безперервний, але доцільно робити 15-хвилинні паузи після 45–105 хв обігріву. При ознаках перегріву опромінювачі піднімають або зменшують напругу живлення.

Під час експлуатації установки «Луч» кут нахилу інфрачервоних ламп та висота підвісу опромінювачів залишаються незмінними. Потужність інфрачервоних ламп регулюють за допомогою тиристорного регулятора напруги залежно від температури повітря в приміщенні,

віку та виду тварин і птиці. Для досягнення більш рівномірного розподілу інфрачервоного випромінювання по поверхні обігрівання доцільно встановлювати лампи під кутами 45° або 68°, оскільки це збільшує зону корисної дії опромінювача і підвищує ККД установки у порівнянні з нахилом під 90°.

Тривалість ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці протягом доби визначають за висотою підвісу опромінювачів установок ІКУФ-1, ІКУФ-1М та «Луч» і розраховують за відповідними формулами.

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{cp}}$$

де H_{Σ} - рекомендована добова вітальна експозиція опромінення, мвіт·год·м⁻²; E_{cp} - середня віта опроміненість об'єкту, мвіт·м⁻².

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\epsilon} K_a}$$

де $K_a = 1,2...1,4$ - коефіцієнт, який враховує вплив арматури на перерозподіл променевого потоку в необхідному напрямі.

При використанні ламп ЛЕО15 значення максимальної вітальної опроміненості слід зменшити в три рази. Для поросят-сосунів добова тривалість опромінення при висоті підвісу опромінювачів 0,6 м становить 80 хвилин, 0,7 м – 100 хвилин, 0,8 м – 120 хвилин; для старших поросят – відповідно 120, 150 та 180 хвилин.

При ультрафіолетовому опроміненні телят і висоті підвісу опромінювачів установок ІКУФ-1, ІКУФ-1М та «Луч» над підлогою 1,2 м тривалість опромінення складає 2 години, 1,3 м – 4 години, 1,4 м – 5 годин, 1,5 м – 6 годин на добу. Для ламп ЛЕО15 цю добову тривалість необхідно збільшити в три рази.

Тварин і птицю до ультрафіолетового опромінення слід привчати поступово. Наприклад, поросят при використанні ламп ЛЕ15 перший день опромінюють 20 хвилин, другий – 40 хвилин, третій – 60 хвилин, а з 3-го по 45-й день поступово доводять до норми: тричі на день по 40 хвилин у денний час.

Сучасні установки для інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці, забезпечують ефективний і контрольований режим теплового та світлового впливу завдяки регульованим кутам нахилу опромінювачів, висоті їх підвісу та потужності ламп. Конструкція опромінювачів дозволяє досягати рівномірного розподілу інфрачервоного випромінювання та оптимального покриття опромінювальної зони, що підвищує ефективність і ККД установки.

Для регулювання температурного режиму та інтенсивності ультрафіолетового опромінення використовуються тиристорні регулятори напруги, понижуючі трансформатори та програмні пульти керування. Використання сучасних ламп, таких як ЛЕ30, ЛЕО15, ДРТ-100, ДРТ2-100, а також інфрачервоних випромінювачів ЕІС-0,25-ІІ «Ірис», дозволяє підвищити енергоефективність, знизити матеріаломісткість установок і забезпечити безпечне та комфортне середовище для тварин.

Режими обігріву та ультрафіолетового опромінення підбираються залежно від виду, віку тварин та температури в приміщенні, із поступовим привчанням молодняка до опромінення. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови росту, розвитку та здоров'я тварин і птиці, а також зменшити витрати електроенергії та підвищити ефективність використання обладнання.

Питання для самоконтролю

1. Яке випромінювання застосовується в установках для підтримання оптимального температурного режиму утримання молодняку тварин і птиці?
2. Чому комбіноване використання інфрачервоного та ультрафіолетового опромінення ефективніше за окреме застосування кожного виду?
3. Які установки промисловістю створені для одночасного інфрачервоного та ультрафіолетового впливу на молодняк?
4. Для яких вікових груп тварин і птиці призначені установки ІКУФ-1 та ІКУФ-1М?
5. З яких ламп складається опромінювач установки ІКУФ-1?
6. Як регулюється кут нахилу інфрачервоних ламп в установці «Луч» і який ефект це дає?
7. Як визначається висота підвісу випромінювачів залежно від віку тварин і температури повітря?
8. Які переваги використання сучасних ламп ЛЕ30, ЛЕО15, ДРТ-100, ДРТ2-100 та термовипромінювачів ЕІС-0,25-ІІ «Ірис» для обігріву та опромінення молодняка?

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису автоматизованих установок інфрачервоного обігріву і ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Використання інфрачервоного випромінювання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

ТЕМА №13. МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ МЕРЕЖАМИ: МІСЦЕВІ, ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із методами управління освітлювальними мережами, розглянути принципи місцевого, централізованого та автоматизованого керування освітленням, навчити вибирати оптимальні способи управління для різних типів об'єктів і умов експлуатації.

Анотація

Тема присвячена сучасним методам управління освітленням у промислових, громадських та житлових будівлях. Розглянуто принципи місцевого та централізованого дистанційного керування, особливості конструкцій комутаційних апаратів (вимикачів, рубильників, автоматів, магнітних пускачів, контактів та реле), а також автоматизованих систем управління освітленням (АСУ та САУ). Представлено класифікацію систем автоматичного управління, їх призначення, функції та вплив на енергоефективність і продуктивність експлуатації освітлювальних установок.

Keywords: lighting control, automatic control system (ACS), switchgear, magnetic starters, contactors, relays, control panels, presence sensors, timers, photo relays.

План лекції

1. Методи управління освітленням;
2. Основні засоби управління освітленням;

3. Місцеве управління освітленням;
4. Системи управління освітленням;
5. Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

13.1. Методи управління освітленням

Коректно обрана та впроваджена система управління освітлювальними мережами забезпечує більш організовану експлуатацію освітлювальної установки (ОУ), покращує рівень освітлення, підвищує продуктивність праці, зменшує брак продукції та знижує ризик виробничого травматизму.

Управління освітлювальними мережами є складним технічним завданням, від вирішення якого залежить ефективність роботи ОУ, забезпечення належного рівня освітлення та раціональне використання електроенергії. Раціональна система управління дозволяє значно скоротити енергоспоживання та здійснює включення або відключення освітлювальних приладів за різними критеріями:

- залежно від рівня природного освітлення приміщень (наприклад, через сигнали фотореле);
- у заданий час доби (через таймери);
- вручну за допомогою кнопок управління (наприклад, при вході людини в під'їзд освітлення вмикається, а відключається автоматично після заданого часу);
- за сигналами датчиків присутності.

Управління освітленням може бути місцевим або дистанційним залежно від розташування пунктів керування.

При місцевій системі включення та вимкнення освітлення здійснюється комутаційними апаратами (вимикачами, рубильниками або автоматами), встановленими безпосередньо в кожному приміщенні або на кожній освітлюваній ділянці відкритої території.

Централізована дистанційна система управління передбачає зосередження керування освітленням у одному або кількох пунктах, наприклад, на центральному диспетчерському пункті (ЦДП). Вона може функціонувати за двома схемами:

1. Якщо всі освітлювальні лінії об'єкта живляться від одного розподільного щита окремими лініями, централізоване управління здійснюється безпосередньо через комутаційні апарати на цих лініях. Така схема зазвичай використовується на невеликих промислових об'єктах, адміністративних, навчальних та лікувальних будівлях.

2. На великих об'єктах освітлення живиться від різних підстанцій через окремі лінії. У цьому випадку на кожній освітлювальній лінії встановлюються блоки або ящики управління, дистанційне керування якими здійснюється з одного або кількох пунктів управління (наприклад, ЦДП). Комутаційні апарати можуть працювати вручну або автоматично, аналогічно місцевим системам управління.

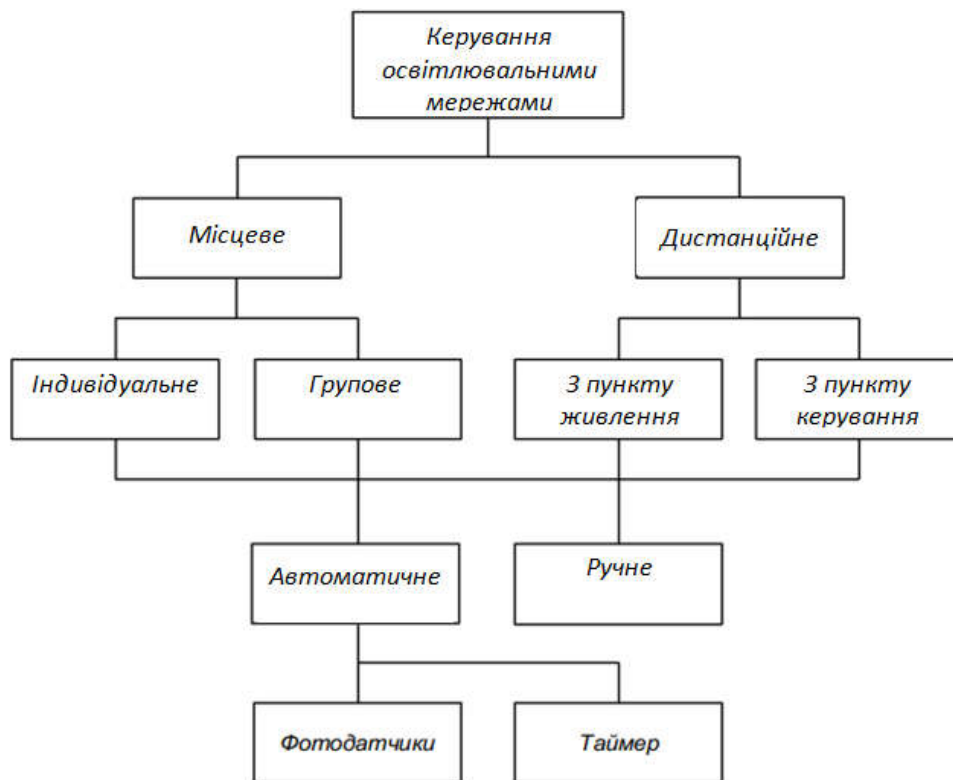


Рис. 13.1 – Управління мережами освітлення

Таким чином, можливі такі способи управління освітленням:

- Місцеве, яке може бути індивідуальним або груповим;
- Централізоване дистанційне з розподільного щита або пунктів живлення (ПП) – через комутаційні апарати, встановлені на відходячих освітлювальних лініях;
- Централізоване дистанційне з пунктів управління (ПУ) – за допомогою проміжних пристроїв управління або пристроїв, що керують струмом певної напруги контакторів чи магнітних пускачів.

На рисунку 13.1 схематично показані можливі варіанти управління освітлювальними мережами.

При місцевому груповому управлінні одним комутаційним апаратом керується не окремий світильник, а група світильників або прожекторів. Залежно від способу керування, місцеве управління може бути ручним або автоматичним. При ручному управлінні включення та вимкнення освітлення здійснюється безпосередньо обслуговуючим персоналом за потреби.

13.2. Основні засоби управління освітленням

Увімкнення та вимкнення окремих світильників або їхніх груп здійснюється за допомогою вимикачів, автоматів або рубильників. При дистанційному керуванні освітленням додатково використовуються магнітні пускачі, контактори, автомати, реле та різноманітні блоки управління. Для контролю виконання команд із пунктів керування встановлюються сигнальні лампи. Системи управління підключаються кабелями та проводами.

Вимикачі та перемикачі. Залежно від рівня захисту від впливу навколишнього середовища, вимикачі та перемикачі випускаються у відкритому, захищеному та герметичному (пиле- та волого-захищеному) виконанні. Відкриті використовуються на панелях щитів або в закритих розподільних пристроях; захищені – на стінах, колонах та інших

конструкціях приміщень із нормальними умовами; герметичні – у приміщеннях із високою вологістю, запиленням або хімічно активним середовищем. Вони різняться способом монтажу (заднє чи переднє підключення), величиною допустимих струмів і напруги, числом полюсів та схемою комутації. Для групових мереж до 6 А та напруги до 250 В застосовуються кнопкові, поворотні або перекидні вимикачі й перемикачі.

Рубильники та перемикачі. Встановлюються вертикально на панелях розподільних пристроїв для неавтоматичного включення або відключення електричних ланцюгів. Як і вимикачі, вони відрізняються монтажем, допустимим струмом і напругою, числом полюсів та конструктивними елементами (центральне або бічне руків'я, важільний привід). Центральне руків'я призначене лише для роз'єднання знеструмлених ланцюгів, а бічне та важільне дозволяє комутувати навантажені ланцюги, що використовуються в освітлювальних мережах.

Контактори та магнітні пускачі. Контактори виробляються у відкритому виконанні. Магнітні пускачі бувають відкриті, захищені, пиле-вологозахищені та вибухозахищені. Найпоширеніші – у захищеному корпусі для приміщень із нормальними умовами. Пиле-вологозахищені оснащені герметичними з'єднаннями та патрубками для введення проводів і встановлюються у вологих приміщеннях, на запилених ділянках та відкритих майданчиках. У сучасних системах освітлення контактори та пускачі переважно входять до складу блоків управління.

Автоматичні вимикачі одночасно захищають освітлювальні мережі від перевантажень та коротких замикань і виконують функції управління. При монтажі в щитках теплові розчіплювачі спрацьовують із зменшенням на 10 %, тому для захисту, наприклад, на 20 А застосовують автомати на 25 А.

Реле використовуються у ланцюгах дистанційного керування освітленням.

Блоки управління дозволяють спростити та прискорити монтаж дистанційних систем керування, замінюючи окремі апарати – пускачі, перемикачі, запобіжники та реле.

Освітлювальні щитки мають різні конструкції та відрізняються захистом від навколишнього середовища, системою мережі, типами встановленої апаратури та кількістю груп. Щитки бувають відкриті, захищені, пиле-вологозахищені та вибухозахищені, з апаратами управління та/або захисту. В окремих випадках використовуються додаткові ввідні рубильники або автомати для вимкнення всіх світильників або для профілактичного обслуговування.

Сигнальні лампи сигналізують про стан освітлення та бувають різного кольору: опаловий, зелений, червоний, жовтий та синій.

13.3. Місцеве управління освітленням

Увімкнення та вимкнення освітлення здійснюється за допомогою вимикачів, розташованих безпосередньо в приміщеннях або біля входів до них, при цьому вони встановлюються на фазних проводах.

У мережах освітлення вибухонебезпечних приміщень класу В-І використовують двополюсні вимикачі, які одночасно розривають фазний і нульовий провід. Такі вимикачі застосовуються також у мережах з ізольованою нейтраллю, у приміщеннях із підвищеною небезпекою та особливо небезпечних щодо ураження електричним струмом.

Вмикання та вимкнення невеликої кількості світильників можна здійснювати одним вимикачем (рис. 13.2), проте з метою економії електроенергії доцільно встановлювати два або більше вимикачів у приміщеннях із кількома світильниками або багатоламповими приладами

(рис. 13.3). Це дозволяє вмикати всі лампи одночасно або частинами, наприклад у багатолампових люстрах.

На практиці, при освітленні невеликих приміщень часто виникає потреба роздільного керування рядами світильників, розташованих паралельно вікнам. У такому випадку окремо керують світильниками біля вікон і світильниками, що знаходяться від них далі.

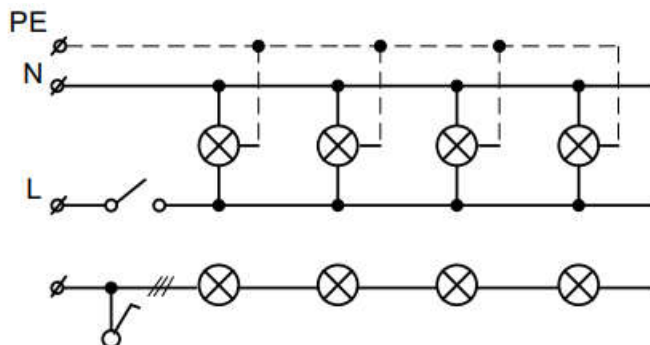


Рис. 13.2 – Схема включення ламп одним вимикачем

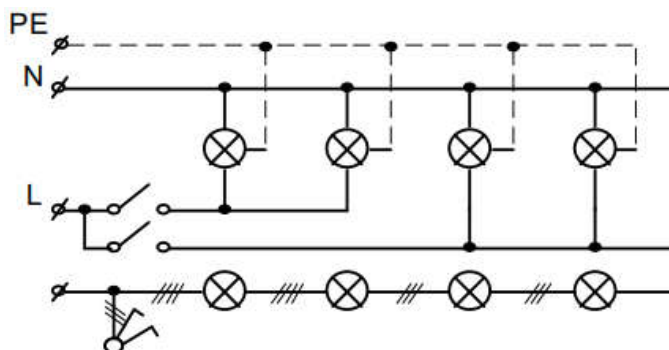


Рис. 13.3 – Схема включення ламп двома вимикачами

Може бути такий випадок, коли живлення мережі освітлення робиться з боку, протилежного до вимикачів. Тоді доводиться застосовувати чотирипровідну лінію (рис. 13.4). При необхідності підключення до мережі окрім ламп ще штепсельних розеток або інших електроприймачів, незалежних по управлінню, застосовується схема, представлена на рис.13.5.

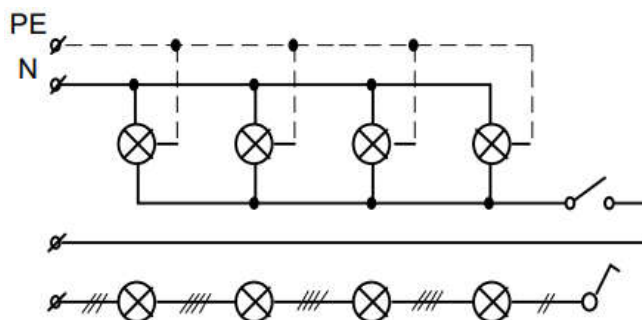


Рис. 13.4 – Схема включення ламп з боку, протилежного до пункту живлення

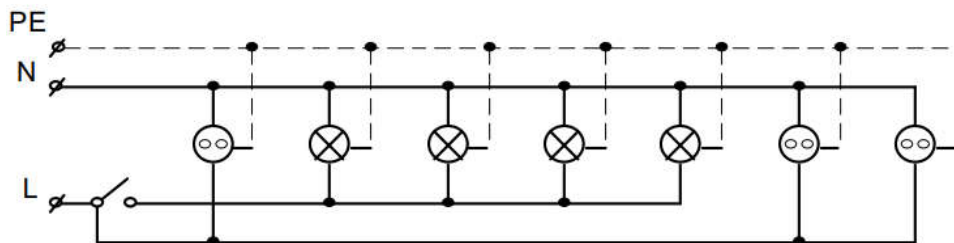


Рис. 13.5 – Схема включення ламп, підключених до групи, що проходить

Освітлення тунелів, галерей та коридорів слід керувати з обох кінців. Це дозволяє, наприклад, увімкнути світло при вході з одного боку і вимкнути його при виході з протилежного. У приміщеннях із двома виходами застосовується так звана коридорна схема управління з двох місць за допомогою перемикачів (рис. 13.6), яка забезпечує можливість керування освітленням з будь-якого входу незалежно від положення перемикача на іншому кінці коридору.

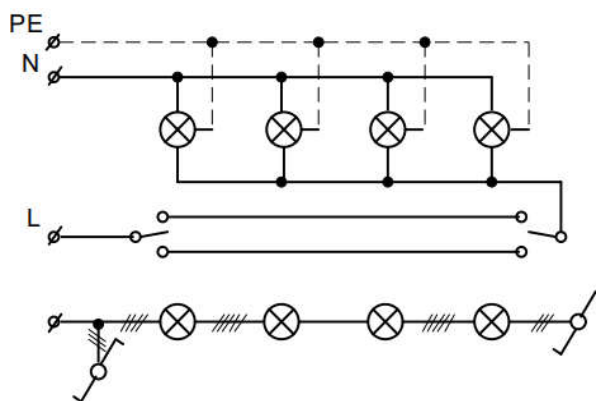


Рис. 13.6 – Коридорна схема управління освітленням

У великих цехах і приміщеннях з великою кількістю світильників замість окремих вимикачів використовуються групові щитки, обладнані апаратами захисту та управління.

Щоб забезпечити зручні умови експлуатації та швидке виявлення місць пошкодження при аваріях у дво- і трифазних мережах, рекомендується пофазне відключення світильників. Тому часто щитки комплектуються однофазними апаратами, навіть якщо живлення здійснюється дво- або трифазне. Це дозволяє частково вимикати світильники в певні періоди доби та підтримувати «чергове» освітлення.

Вибір місця для установки вимикачів і щитків має враховувати легкий доступ для обслуговування. Їх не слід встановлювати в приміщеннях, що можуть бути закритими (наприклад, комори). Оптимально, щоб людина, яка керує освітленням, могла бачити підключені до щитка світильники. У будівлях із непостійним режимом роботи щитки і вимикачі бажано розміщувати поблизу основних входів, а щитки без вимикачів – на сходах і в коридорах.

Розташування щитків повинно забезпечувати короткі та зручні траси живильних і групових мереж із допустимим перерізом проводів. Щитки і вимикачі встановлюються на висоті 1,5–1,8 м від підлоги. Вимикачі в окремих приміщеннях слід розміщувати біля входних дверей із боку ручки. У вибухонебезпечних, пожежонебезпечних та приміщеннях із важкими умовами середовища їх установка не рекомендується. Якщо ж апарати управління встановлюються в таких приміщеннях, вони повинні відповідати вимогам ПУЕ.

Освітлювальні установки пожежонебезпечних складських будівель та складських приміщень із горючими матеріалами мають мати апарати загального відключення,

розташовані поза приміщеннями (наприклад, зовні біля входу). Іноді виробничий процес не вимагає поетапного відключення освітлення – воно працює повністю і вимикається одночасно. У таких випадках застосовують групові щитки лише із захистом, а ввідний рубильник (або вимикач) на живлячому кабелі забезпечує включення та виключення освітлення.

Світильники місцевого освітлення мають керуватися індивідуальними вимикачами, розташованими поруч із робочим місцем, щоб робітник міг увімкнути або вимкнути світло, не відходячи від свого місця.

13.4. Системи управління освітленням

Автоматика – це наука і техніка, що вивчає управління різними процесами та контроль їх перебігу без безпосередньої участі людини. Керування процесами без участі людини називається автоматичним управлінням, а технічні засоби, що його реалізують – засобами автоматики.

Залежно від функцій, всі елементи автоматичної системи поділяються на три групи:

- вимірювальна;
- перетворююча;
- виконавча.

До вимірювальної групи належать різноманітні датчики. Перетворююча група включає підсилювальні пристрої, регулятори, цифрові та мікропроцесорні пристрої. Виконавча група складається з вимикачів, реле, контакторів та інших апаратів.

Датчик – це пристрій, який перетворює дію будь-якої фізичної величини на сигнал, зручний для подальшого використання, зазвичай у вигляді електричного сигналу. Такий сигнал легко передавати, обробляти або відображати на дисплеї.

Оптичні (фотоелектричні) датчики можуть працювати на основі внутрішнього фотоефекту (зміна опору при зміні освітленості) або виробляти фотострум, пропорційний освітленості. Вони бувають аналоговими та дискретними. Аналогові датчики змінюють вихідний сигнал пропорційно освітленості, їх застосовують у системах автоматичного управління освітленням. Дискретні датчики змінюють стан на протилежний при досягненні заданого рівня освітленості.

Автоматизована система управління (АСУ) – це комплекс апаратних та програмних засобів для керування процесами.

- АСУ передбачає участь людини у контурі управління.
- Система автоматичного управління (САУ) працює без участі людини.

Автоматизовані системи управління освітленням у громадських будівлях виконують такі функції:

- Підтримка постійного рівня штучного освітлення – реалізується за допомогою фотоелементів, які контролюють освітленість у приміщенні.
- Урахування природного освітлення – навіть якщо приміщення має природне світло, потужність освітлювальної установки зазвичай розраховується без його врахування.
- Врахування часу доби та дня тижня – можливе відключення освітлення у певні години, вихідні або святкові дні, що економить електроенергію та запобігає випадковому залишенню увімкненого світла. Для цього система має бути оснащена годинником реального часу.
- Облік присутності людей – за допомогою датчиків присутності світильники автоматично вмикаються або вимикаються.

- Дистанційне безпроводне керування – не є чисто автоматизованою функцією, але часто присутня в АСУ, оскільки реалізація за допомогою електроніки проста і забезпечує зручність управління.

Система управління освітленням дозволяє зробити освітлення максимально ефективним та економним. Найточніший облік денного світла та присутності людей забезпечують системи автоматичного управління освітленням (САУ).

13.5. Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням

Залежно від основної мети, завдання управління в САУ поділяються на такі типи:

- системи стабілізації;
- системи програмного управління;
- системи, що стежать.

У системах стабілізації робочий параметр об'єкта (регульована величина) підтримується постійним у часі при фіксованому завданні. Наприклад, щоб стабілізувати характеристики світлодіода, необхідно забезпечити постійний струм, що протікає через нього.

У системах програмного управління робочий параметр змінюється в часі за заздалегідь відомим законом, тобто завдання змінюється відповідно до запрограмованої програми.

У системах, що стежать, робочий параметр змінюється в часі за законом, який заздалегідь невідомий і визначається зовнішнім незалежним процесом.

За кількістю регульованих величин системи поділяються на:

- одновимірні – регулюється лише одна величина;
- багатовимірні – регулюється кілька величин одночасно.

САУ умовно можна розділити на два основні класи: локальні та централізовані. У локальних системах керують лише однією групою світильників, тоді як централізовані дозволяють підключати практично необмежену кількість окремо керованих груп.

За сферою охоплення локальні системи поділяються на:

- системи управління світильниками;
- системи управління освітленням приміщень.

Централізовані системи можуть бути:

- спеціалізовані – лише для управління освітленням;
- загального призначення – для керування всіма інженерними системами будівлі, включаючи опалення, кондиціонування, пожежну та охоронну сигналізацію тощо.

Питання для самоконтролю

1. Перерахувати та пояснити способи управління освітленням;
2. Основні засоби управління освітленням;
3. Місцеве управління освітленням;
4. Системи управління освітленням;
5. Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису автоматизованих установок інфрачервоного обігріву і ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці.

2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Принципи управління джерелами світла. Димірування світла. Принципи управління світлодіодними системами.

ТЕМА №14. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ: АНАЛОГОВІ, ЦИФРОВІ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПРОТОКОЛИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із принципами побудови та функціонування систем управління освітленням у сільському господарстві, порівняти аналогові та цифрові технології, розглянути сучасні протоколи управління.

Анотація

В темі розглянуто принципи побудови та функціонування систем управління освітленням у сільському господарстві. Висвітлено еволюцію технологій — від аналогових систем регулювання освітлення (0–10 В, 1–10 В) до сучасних цифрових та інтелектуальних протоколів, таких як DALI, KNX, DMX, ZigBee, Wi-Fi. Детально проаналізовано структуру аналогових і цифрових мереж, їх переваги, недоліки та сфери застосування. Особливу увагу приділено інтеграції протоколів у системи «розумного» освітлення тепличних і тваринницьких комплексів, що забезпечують адаптивне регулювання світлового середовища, енергоефективність та автоматизацію виробничих процесів.

Keywords: luminaires, digital systems, protocols, integration, regulation, greenhouses, control, automation.

План лекції

1. Системи аналогового і цифрового управління освітленням;
2. Інтегровані цифрові системи управління освітленням;
3. Переваги і недоліки цифрового управління освітленням;
4. Протоколи управління світловими приладами.
5. Інтеграція протоколів у системи «розумного освітлення» в сільському господарстві

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

14.1. Системи аналогового і цифрового управління освітленням

Досить часто користувачі мають потребу регулювати яскравість освітлювальних приладів у широкому діапазоні. Для цього розроблено різноманітні системи керування — як аналогові, так і цифрові.

В аналогових системах керування освітленням, окрім самого світильника, необхідно мати два додаткові елементи управління:

- командний орган (КО) – пристрій, що подає сигнал про зміну режиму роботи освітлювальної установки (ОУ);
- виконавчий орган (ВО) – елемент, який безпосередньо змінює режим роботи ОУ.

Як КО зазвичай використовують датчики руху або присутності, кнопкові та дистанційні вимикачі, регулятори яскравості, таймери чи датчики освітленості. У ролі ВО можуть виступати присмеркові вимикачі, імпульсні реле, міні-контактори або димери (регулятори інтенсивності світла). Іноді функції КО та ВО об'єднані в одному пристрої — наприклад, у димері з вбудованим регулятором освітленості.

Серед аналогових систем найбільш поширеним є спосіб керування постійною напругою в діапазоні 0–10 В. У цьому випадку на керуючі входи подається напруга з вказаного інтервалу, і залежно від її значення встановлюється рівень яскравості світильника: при 0 В яскравість мінімальна, а при +10 В — максимальна.

Принципова схема управління освітленням за аналоговим способом представлена на рис. 14.1.

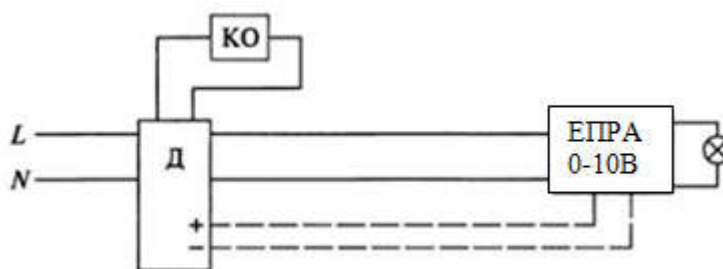


Рис. 14.1 – Схема управління світильником за аналоговою схемою

Живлення електронного пускорегулювального апарата (ЕПРА) типу 0–10 В здійснюється через диммер. Крім живильного підключення, від димера до ЕПРА прокладається додаткова пара керуючих проводів. Регулювання яскравості в межах від 100 до 5 % виконує сам ЕПРА відповідно до сигналу димера, а диммер, у свою чергу, лише вимикає живлення при отриманні відповідного сигналу від командного органу (КО).

Під час керування люмінесцентними світильниками керуючий сигнал зазвичай подається безпосередньо на прилад, тому виникає необхідність узгодження цього сигналу з внутрішньою електронікою світильника.

По-перше, ЕПРА, який встановлений у приладі й забезпечує роботу ламп, має підтримувати функцію керування аналоговою напругою 0–10 В. Отже, усі інші сигнали — цифрові чи аналогові з діапазонами 0–15 В, –10–0 В тощо — повинні бути перетворені у відповідний аналоговий сигнал 0–10 В.

По-друге, ЕПРА надсилає в керуючий ланцюг невеликий струм (приблизно 1 мА, а у випадку багатолампових систем — до 5 мА). Через це можливі несумісності з деякими пультами керування: наприклад, пристрої, призначені для димерів галогенних ламп, можуть некоректно працювати з люмінесцентними світильниками.

Аналогове димування світлодіодів (поциклове керування постійним струмом) полягає в підтримці сталого струму через світлодіод. Воно реалізується або шляхом регулювання опору датчика струму, або зміною рівня постійної напруги, що подається на вхід драйвера світлодіодів.

Дослідження простих аналогових систем керування освітленням показали, що вони дозволяють істотно знизити споживання електроенергії.

Водночас такі системи мають низку недоліків. На ринку здебільшого представлені окремі елементи — вимикачі, перемикачі, регулятори, — тоді як готових комплексних рішень бракує. Це часто призводить до недостатньої функціональності, особливо у частині регулювання яскравості. Серед проблем — складність монтажу, потреба у додатковому

кабелюванні, труднощі налаштування систем денного освітлення. Такі фактори нерідко стають причиною збоїв у роботі освітлення та нарікань користувачів.

Протягом останніх п'ятнадцяти років системи керування освітленням переважно будувались за аналоговим принципом. Навіть відносно складні рішення мало відрізнялися між собою й ґрунтувалися на класичній схемі автоматизації: у центрі системи знаходиться контролер, до якого під'єднуються з одного боку датчики, а з іншого — виконавчі механізми. Обмін сигналами між усіма елементами здійснюється через аналогові з'єднання.

Основна мета таких систем — раціональне керування енергоспоживанням. Проте їх введення в експлуатацію та налаштування є досить складним процесом, особливо якщо система містить кілька аналогових контролерів освітлення.

14.2. Інтегровані цифрові системи управління освітленням

Щоб усунути недоліки та складнощі, притаманні аналоговим системам, виробники освітлювального обладнання розробили цифрові системи керування освітленням. Головною перевагою таких систем є наявність цифрової комунікації — ефективного зв'язку між усіма пристроями, об'єднаними в єдину мережу.

У цифрових системах для обміну даними не потрібні окремі керуючі дроти — більшість пристроїв використовують існуючі силові кабелі для передачі сигналів. Це значно спрощує монтаж та знижує витрати.

Цифрові системи легко інтегруються в інші мережі автоматизації та керування, що дозволяє централізовано контролювати освітлення, опалення, кондиціонування, системи безпеки чи відеоспостереження. Подібні технології широко застосовуються у концепціях «розумного будинку» та інтелектуальних офісів. Їх основна мета — підвищення енергоефективності, покращення комфорту користувачів та оптимізація експлуатаційних характеристик будівель.

Сучасні цифрові системи керування освітленням забезпечують більшу економію енергії, розширені можливості автоматизації та мають низку переваг порівняно з традиційними аналоговими методами.

Типова цифрова система керування освітленням включає:

- контролер цифрової шини (КШ);
- цифрову шину управління (ШУ);
- командні органи (КО);
- виконавчі органи (ВО);
- (за потреби) шлюзи та перехідні модулі для з'єднання з іншими системами диспетчеризації чи обладнанням, що не підтримує цифровий інтерфейс.

Контролер цифрової шини (КШ) — це електронний модуль із вбудованою пам'яттю, засобами обміну даними з оператором-програмістом, блоками обробки сигналів від КО та формування команд для ВО. Зазвичай контролер монтується в щиті освітлення, хоча існують і варіанти для відкритої установки.

Цифрова шина управління (ШУ) є фізичним середовищем для передавання сигналів між КШ, КО та ВО. Найчастіше це мідний кабель невеликого перерізу, який може бути як силовим, так і сигнальним. У деяких випадках застосовується кабель типу «вита пара».

Командні органи (КО) — це пристрої, що генерують команди для зміни режимів роботи освітлювальної установки (ОУ). Сигнал може надходити як від користувача (натискання кнопки, поворот регулятора, вибір функції на сенсорній панелі, команда з ІК-пульта), так і

автоматично — у відповідь на зміну умов (рівня освітленості, руху тощо). Кожен КО має власну адресу в системі, що дозволяє гнучко налаштовувати індивідуальне або групове керування.

Виконавчі органи (ВО) — це пристрої, що отримують команди від КШ і безпосередньо змінюють режими роботи освітлення. Для світильників із газорозрядними або світлодіодними лампами ВО поєднаний із ЕПРА чи драйвером, для ламп низької напруги — з електронним трансформатором, а для ламп розжарювання — з регулятором напруги. Як і КО, ВО мають власні адреси, що дозволяє забезпечити індивідуальне чи групове керування освітленням.

Принципову схему роботи цифрової системи керування освітленням подано на рис. 14.2.

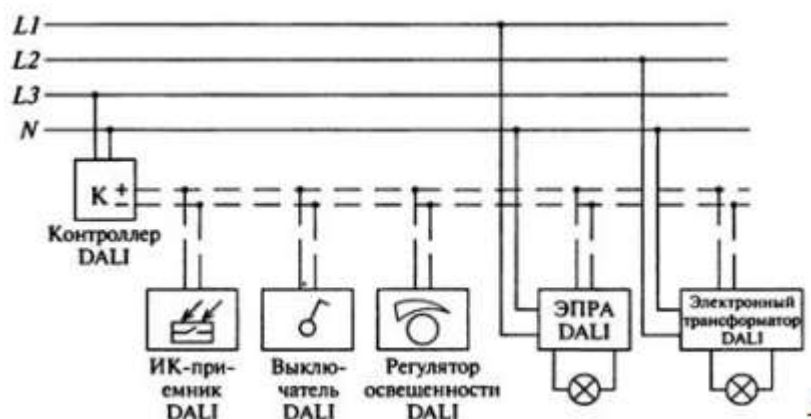


Рис. 14.2 – Управління освітленням за цифровою схемою

14.3. Переваги і недоліки цифрового управління освітленням

Потреба в ефективному керуванні освітленням є очевидною, однак не завжди доцільно створювати саме цифрову систему, оскільки її вартість поки що суттєво перевищує ціну аналогових рішень. Тому розглянемо переваги та недоліки цифрових систем, а також сфери, де їх використання є найбільш виправданим.

Переваги:

- Простота організації. Формування груп керування не впливає на схему живлення світильників. Кількість приладів у колі обмежується лише нормами ПУЕ щодо максимальної кількості ламп певної потужності.
- Гнучкість структури. Логіку роботи світильників, склад і кількість груп можна змінювати просто шляхом коригування програми контролера шини (КШ), без необхідності перекладання кабелів. Підключення КШ до комп'ютера або іншого «розумного» пристрою через шлюз дозволяє реалізувати практично необмежену кількість світлових сценаріїв та їх часту зміну.
- Масштабованість. Можливість створювати велику кількість дрібних груп — аж до керування окремими світильниками — без ускладнення системи.
- Простота монтажу. Додавання нових пристроїв не потребує складних дій — достатньо встановити їх, підключити до шини та внести зміни у програму КШ.
- Уніфікація. Усі командні (КО) та виконавчі органи (ВО) підключаються за єдиним принципом і сумісні з обладнанням інших виробників, що підтримують той самий протокол.

- **Безпека.** До вимикачів не потрібно підводити мережеву напругу — достатньо низьковольтної напруги шини, яка не перевищує 50 В і є безпечною для користувача.

- **Зручність експлуатації.** Виконавчі пристрої можуть повідомляти контролеру про несправності, а той, у свою чергу, передає відповідні попередження диспетчеру або системі моніторингу.

Недоліки:

- **Висока вартість компонентів.** Цифрові елементи поки що значно дорожчі за аналогові. Часто виробники або постачальники додатково підвищують ціну через «престижність» чи «інноваційність» системи. Це, своєю чергою, може збільшити ризик крадіжок обладнання, особливо встановленого в місцях з вільним доступом.

- **Велика початкова вартість системи.** Навіть найпростіша цифрова мережа потребує мінімального набору обладнання — контролера шини (КШ), виконавчого (ВО) та командного (КО) органів.

- **Необхідність високої кваліфікації персоналу.** Проектування, налагодження та обслуговування цифрових систем вимагає спеціальних технічних знань і досвіду роботи з подібними технологіями.

Таблиця 14.1 – Порівняння аналогових і цифрових систем керування освітленням

Критерій	Аналогові системи керування освітленням	Цифрові системи керування освітленням
Принцип роботи	Передача сигналів за допомогою аналогової напруги (зазвичай 0–10 В).	Передача цифрових сигналів через шину управління (наприклад, DALI, KNX тощо).
Структура системи	Кожен канал керування потребує окремих проводів; складна топологія.	Усі пристрої підключені до спільної цифрової шини, з мінімальною кількістю кабелів.
Організація груп	Формування груп потребує фізичного з'єднання (перекладання кабелів).	Групи формуються програмно, без зміни кабельної інфраструктури.
Гнучкість налаштування	Обмежена – зміна логіки вимагає втручання в схему.	Висока – зміни виконуються через програмування контролера.
Масштабованість	Розширення системи ускладнює схему і монтаж.	Легко розширюється без значних змін у структурі.
Монтаж	Необхідна велика кількість проводів, складна схема підключень.	Спрощений монтаж, менше кабелів, швидке підключення нових пристроїв.
Сумісність	Компоненти часто несумісні між різними виробниками.	Пристрої, що працюють за одним протоколом, взаємозамінні та сумісні.
Безпека	До вимикачів може підводитися мережна напруга (220 В).	Використовується низьковольтна шина (<50 В), що підвищує безпеку.
Зворотний зв'язок	Відсутній або обмежений.	Можливість передавання інформації про стан системи, несправності тощо.

Критерій	Аналогові системи керування освітленням	Цифрові системи керування освітленням
Енергоефективність	Залежить від налаштування, часто нижча.	Висока за рахунок автоматизації, сценаріїв освітлення, сенсорів.
Інтеграція з іншими системами	Ускладнена або неможлива.	Легка інтеграція з системами «розумного будинку», клімат-контролю, безпеки.
Вартість компонентів	Нижча, прості елементи управління.	Вища, цифрові модулі коштують дорожче.
Початкова вартість системи	Невисока, мінімальний набір пристроїв.	Висока через необхідність контролера, шини, адресних пристроїв.
Технічне обслуговування	Просте, не потребує спеціальної підготовки.	Вимагає високої кваліфікації персоналу.
Надійність	Висока при простій конфігурації, але складно усунути помилки у складних схемах.	Висока, автоматичний контроль стану системи, проте залежність від програмного забезпечення.

14.4. Протоколи управління світловими приладами

Термін «управління освітленням» охоплює широкий спектр методів, протоколів і пристроїв, що забезпечують роботу світлових приладів. Найпростішими формами такого керування є увімкнення/вимкнення світильників та регулювання яскравості світлового потоку.

Протокол управління — це набір правил і стандартів, що визначає спосіб обміну даними між пристроями в системі освітлення. Він задає:

- формат сигналів і типи команд;
- швидкість передачі даних;
- метод адресації приладів;
- можливості зворотного зв'язку (моніторинг стану світильника, споживаної потужності тощо).

Основна мета таких протоколів — забезпечити сумісність обладнання різних виробників та створити інтелектуальні системи освітлення, здатні реагувати на зміни зовнішнього середовища або сценарії роботи.

Аналогове управління освітлювальними приладами — це одна з найстаріших та найпростіших технологій керування світлом, що використовується й сьогодні в базових системах освітлення. Принцип її роботи полягає у передачі сигналу у вигляді постійної напруги, значення якої визначає рівень яскравості світильника.

У системі типу 0–10 В рівень напруги 0 В відповідає повному вимкненню світильника, а 10 В — максимальній яскравості. У варіанті 1–10 В при напрузі 1 В освітлення не вимикається повністю, а лише знижується до мінімального рівня, що дозволяє уникнути різкого згасання ламп і подовжує їхній термін служби.

Такий спосіб керування реалізується за допомогою димера або контролера, який формує аналоговий сигнал і подає його на драйвери світильників. Кожен світильник отримує однакову напругу, тому всі прилади в одному контурі реагують одночасно й пропорційно.

Переваги системи аналогового управління:

- простота конструкції та експлуатації;

- низька вартість обладнання;
- сумісність із великою кількістю джерел світла (флуоресцентні, світлодіодні, розрядні лампи).

Недоліки:

- відсутність зворотного зв'язку — неможливо отримати інформацію про стан або несправність світильника;
- обмежена точність регулювання через можливі втрати сигналу на довгих лініях;
- складність індивідуального керування при великій кількості світильників.

Аналогове управління (0–10 В, 1–10 В) використовується переважно в простих або застарілих освітлювальних системах, де не потрібна складна логіка керування. Воно залишається актуальним для локальних об'єктів — теплиць, виробничих приміщень, складів — де важлива стабільність, економічність і простота в обслуговуванні.

Сучасні технології дозволяють керувати повноколірними або налаштованими білими світлодіодними приладами, створюючи різні RGB-відтінки, змінюючи колірну температуру та реалізуючи динамічні світлові ефекти — від плавних кольорових переходів до складних світлових шоу чи навіть великих відеопроєкцій, доступних як для побутових користувачів, так і для професійних постановників.

Такі динамічні LED-системи зазвичай контролюються спеціальними пристроями — контролерами, що працюють за певними комунікаційними протоколами, розробленими для передачі команд джерелам світла. Існує кілька таких протоколів, кожен з яких має свої особливості та сфери застосування, що надає користувачам значну гнучкість.

Комунікаційний протокол — це стандартизований набір правил, який визначає порядок передавання сигналів та інформації каналом зв'язку. Разом із розвитком світлотехнічних технологій удосконалювалися й протоколи керування освітленням.

Найпоширенішим стандартом для керування кольоровими світильниками є DMX-512A, або просто DMX. Його створено у 1986 році Інститутом театральних технологій США (USITT) як відкритий стандарт цифрової передачі даних між пультом управління освітленням і димерами, що використовувались у театральному та сценічному освітленні.

Назва DMX-512 (від *Digital Multiplex*) означає цифровий мультиплексований протокол, розроблений для уніфікації керування освітлювальним обладнанням. Він передає дані у цифровій формі й може обслуговувати до 512 каналів (пристроїв) одночасно.

Сьогодні можливості DMX значно розширилися — він використовується для керування світильниками, димерами, колорченджерами, рухомими головами, стробоскопами, лазерами, дим-машинами, фонтанами та сценічною технікою. Протокол забезпечує односторонню передачу даних (від контролера до пристроїв) без механізмів перевірки або корекції помилок.

DMX визначає електричні параметри, формат даних, правила обміну сигналами та способи підключення. Його головна мета — забезпечення сумісності між контролерами та кінцевими пристроями різних виробників.

За стандартом DMX-512 один передавач може керувати до 32 пристроїв, підключених послідовно. Для збільшення кількості приладів використовують розгалужувач (DMX splitter) — пристрій із одним входом і кількома виходами, кожен з яких може обслуговувати ще до 32 світильників.

Популярність DMX-512A пояснюється низкою переваг:

- використанням надійного інтерфейсу EIA-485 (RS-485);
- простотою реалізації та налаштування;
- високою надійністю передачі сигналів;

- можливістю керування кількома мережами світильників через три дроти;
- низькою вартістю компонентів;
- електричною ізоляцією лінії керування від освітлювальних пристроїв, що підвищує безпеку.

Типова схема мережі DMX показана на рисунку 14.3: контролер підключається до лінії послідовно з'єднаних світильників. За стандартом EIA-485 у кожному сегменті може бути до 32 пристроїв, а максимальна довжина кабелю зв'язку становить до 1 км.

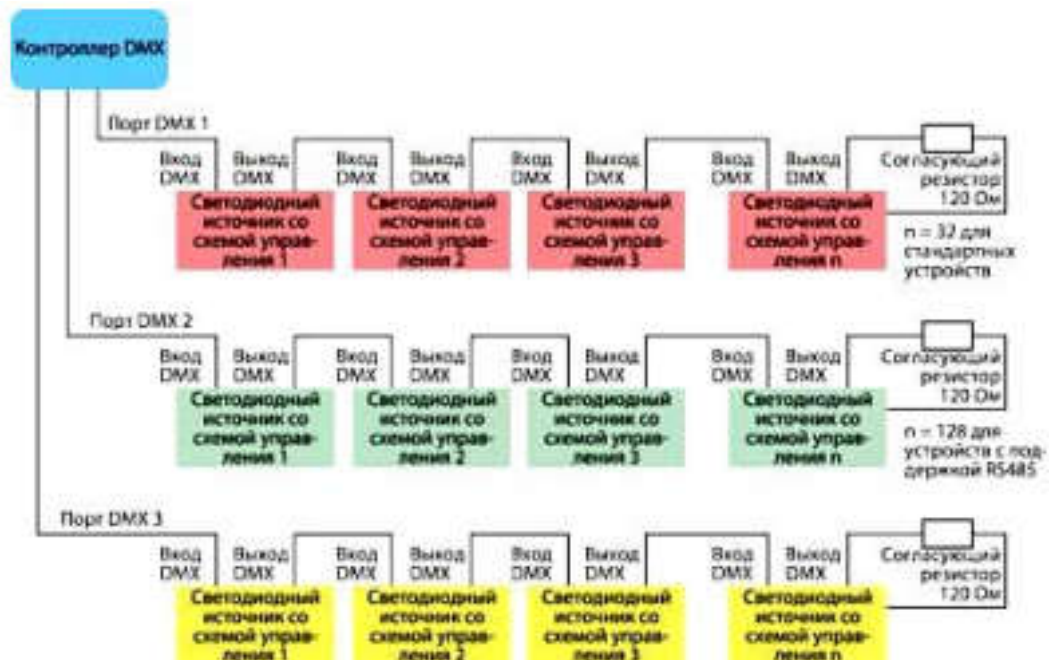


Рис. 14.3 – Система освітлення з інтерфейсом DMX

Деякі виробники драйверів для світлодіодів стверджують, що до одного порту DMX можна підключати необмежену кількість пристроїв, однак це не відповідає офіційному стандарту.

Більшість світлодіодних світильників мають три канали управління — по одному для кожного основного кольору: червоного (R), зеленого (G) і синього (B). Відповідно, кожен прилад отримує від контролера три окремі канали даних DMX:

- один канал керує червоними світлодіодами,
- другий — зеленими,
- третій — синіми.

Наприклад, перший світильник системи може працювати з адресами 1, 2, 3, другий — з адресами 4, 5, 6, і так далі. Оскільки один DMX-канал підтримує передачу 512 значень, одна DMX-лінія може обслуговувати до 170 триканальних світильників ($512 \div 3 = 170$, з урахуванням двох резервних каналів). У великих інсталяціях може використовуватися кілька окремих DMX-мереж (юніверсів).

DMX-контролери випускаються у різних варіантах — від простих настінних пультів з кількома кнопками до повноцінних комп'ютеризованих систем. Незалежно від складності, принцип їх роботи однаковий: контролер формує сигнали DMX, які дозволяють створювати складні колірні ефекти та динамічні сцени за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Більшість сучасних контролерів оснащені:

- USB-портом для підключення до ПК,
- власним джерелом живлення (вбудованим або зовнішнім на 220 В),
- спеціальними роз'ємами типу RJ-45, RJ-11 або XLR-3,
- програмним забезпеченням для налаштування й керування освітленням.

Передача сигналу в системі DMX здійснюється послідовно: сигнал формується контролером і далі передається по кабелю від пристрою до пристрою, згідно з порядком підключення.

Схема підключення показана на рисунку 14.4:

- кабель йде від контролера до DMX-входу першого приладу;
- з його DMX-виходу — до DMX-входу наступного;
- і так далі, поки всі пристрої не будуть з'єднані в одну лінію.



Рис. 14.4 – Спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера

Останній прилад у ланцюгу обов'язково повинен мати DMX-термінатор — пристрій, який забезпечує стабільну якість сигналу та запобігає його спотворенню.

Термінатор (від лат. *terminare* — «обмежувати») в електроніці — це резистор, підключений на кінці довгої лінії передачі сигналу. Його опір дорівнює хвильовому опору кабелю, завдяки чому він поглинає залишкову енергію сигналу і запобігає його відбиттю, що може призвести до перешкод або втрати даних у системі.



Рис. 14.5 – DMX-термінатор

Основний недолік протоколу DMX – одностороння передача від контролера до джерела світла. Відповідно, неможливо проводити моніторинг стану світильників і відстежування збоїв. DMX використовується у більшості театральних пультів управління освітленням, але ці пульти зазвичай занадто громіздкі, складні, спеціалізовані і дорогі для загальних областей застосувань. Тому деякі виробники динамічних світлодіодних світильників розробляють і випускають свої власні DMX контролери. Вони є компактнішими, ніж театральні пульти управління освітленням, і частенько мають спеціальні функції, такими як запрограмовані послідовності для світлових шоу і вбудовані світлові ефекти, розроблені для того, щоб спростити і автоматизувати управління світлом звичайними користувачами.

DALI — один із найпоширеніших цифрових протоколів управління освітленням, що став міжнародним стандартом для автоматизованих систем світлового контролю. Його головна перевага полягає в адресності: кожен прилад має унікальну адресу, що дозволяє керувати ним індивідуально або у складі групи. На одну DALI-лінію можна підключити до 64 пристроїв, створюючи з них групи, сцени чи сценарії освітлення, які активуються автоматично або вручну.

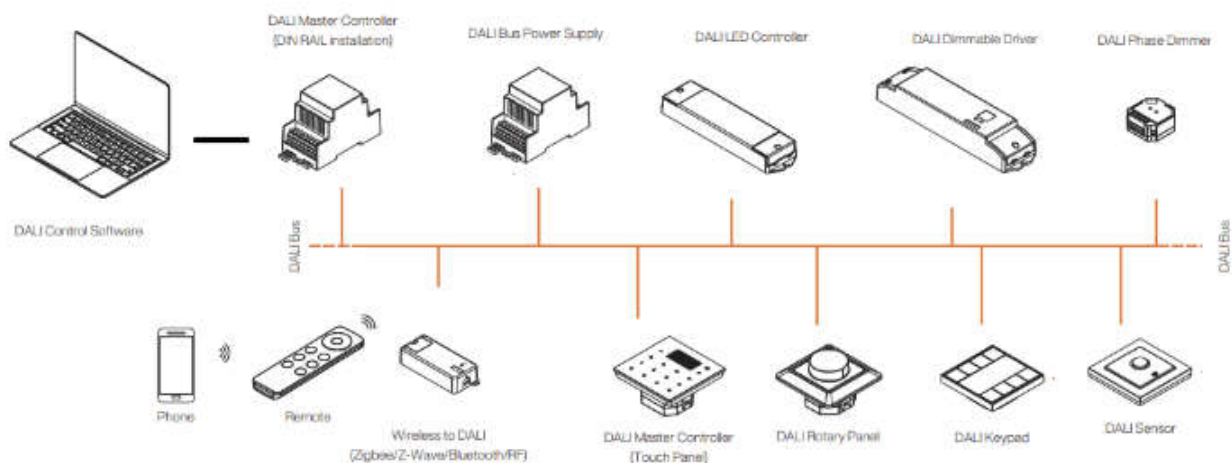


Рис. 14.6 – Приклад архітектури протоколу DALI

Особливістю DALI є двосторонній обмін даними: контролер не лише надсилає команди світильникам, а й отримує від них інформацію про стан — рівень яскравості, помилки, збої, час роботи тощо. Це дозволяє ефективно здійснювати моніторинг і технічне обслуговування освітлювальної системи.

Оновлена версія DALI-2 забезпечує розширені можливості сумісності між пристроями різних виробників і підтримує інтеграцію з Building Management Systems (BMS) — системами

централізованого керування будівлею. Таким чином, DALI може бути частиною комплексної автоматизації, де освітлення узгоджується з системами вентиляції, опалення чи безпеки.

Сфера застосування:

- офісні та адміністративні будівлі;
- тепличні комплекси, де важливе точне дозування світла для рослин;
- промислові приміщення;
- інтелектуальні системи освітлення агропромислового призначення.

KNX — це міжнародний стандарт (ISO/IEC 14543) для інтелектуальних систем управління будівлями, який дозволяє інтегрувати різні підсистеми в єдину мережу. KNX забезпечує керування освітленням, вентиляцією, опаленням, охоронними та енергозберігаючими системами.

Протокол працює як по дротових (TP), так і по бездротових (RF) або мережових (IP) каналах, що дає змогу реалізовувати масштабні та гнучкі рішення — від невеликих офісів до великих "розумних" комплексів.

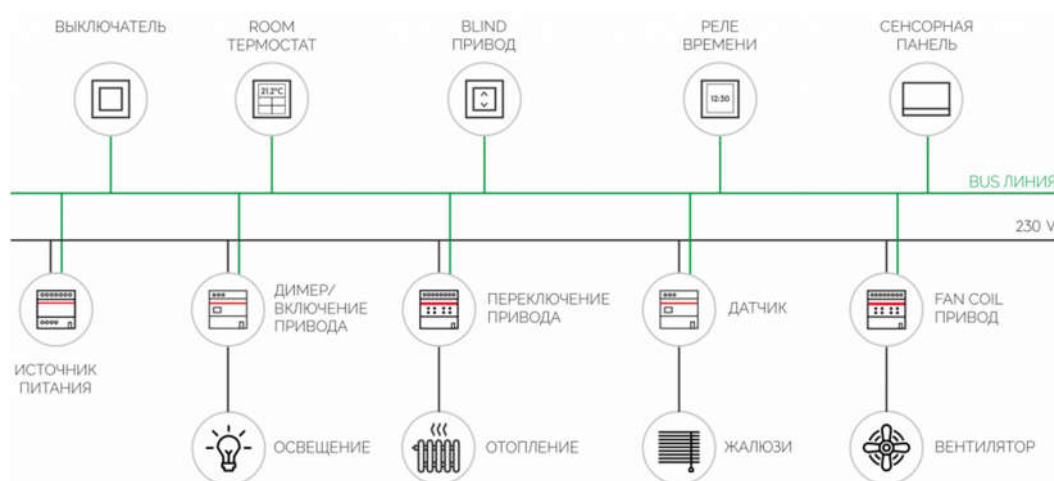


Рис. 14.7 – Приклад архітектури протоколу KNX

Система KNX відрізняється високим рівнем надійності, масштабованістю та відкритістю, тому легко інтегрується з іншими технологіями автоматизації. У сільському господарстві вона застосовується для створення "розумних ферм", де керування мікрокліматом, освітленням і споживанням енергії відбувається автоматично.

Сфера застосування:

- житлові будинки та офісні комплекси;
- агропромислові підприємства;
- енергоефективні системи управління будівлями.

Бездротові протоколи управління освітленням стали невід'ємною частиною сучасних "смарт" систем, орієнтованих на енергоефективність, мобільність і простоту встановлення.

• ZigBee Light Link (ZLL) використовується в побутових і комерційних системах, таких як Philips Hue. Він дозволяє створювати гнучкі мережі, де пристрої спілкуються між собою без центрального контролера.

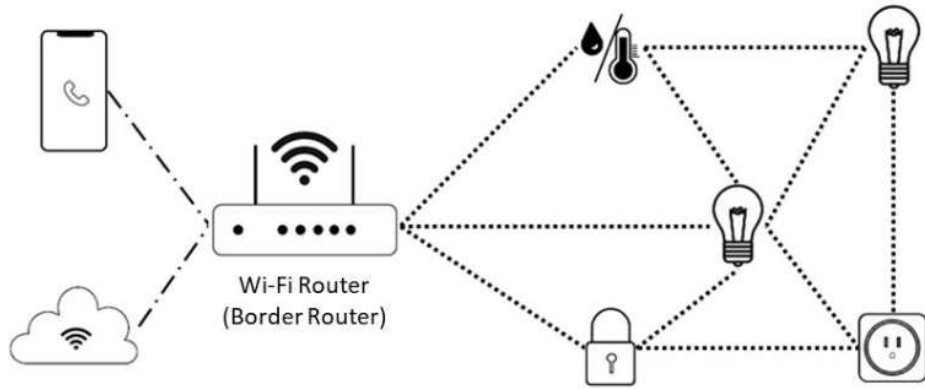


Рис. 14.8 – Приклад архітектури протоколу ZLL

- Bluetooth Mesh забезпечує надійне мережеве з'єднання між численними пристроями без потреби у шлюзах — кожен світильник може одночасно бути вузлом передачі даних.
- Wi-Fi — популярний протокол для керування світлом через мобільні додатки або хмарні сервіси, що дає можливість дистанційного контролю з будь-якого місця.
- Thread — новий IP-базований протокол для IoT-пристроїв, який відзначається високою безпекою та стабільністю з'єднання.

Переваги:

- відсутність потреби у дротах;
- можливість дистанційного контролю та моніторингу;
- легкість масштабування системи.

Недоліки:

- залежність від стабільності бездротового сигналу;
- потенційні ризики кібербезпеки.

Бездротові протоколи активно використовуються у розумному освітленні теплиць, тваринницьких комплексів, фермерських господарств, а також у побутових і комерційних системах, де важливими є мобільність і простота експлуатації.

Таблиця 14.2 – Порівняння основних протоколів

Протокол	Тип зв'язку	Зворотний зв'язок	Кількість пристроїв	Сфера використання
0–10 В	Аналоговий	Ні	Обмежено	Просте освітлення
DALI	Цифровий	Так	64 на лінію	Промислові, агроекологічні об'єкти
DMX512	Цифровий	Ні	512 каналів	Сценічне освітлення
KNX	Цифровий	Так	10 000+	Інтелектуальні будівлі
ZigBee / Wi-Fi / Bluetooth	Бездротовий	Частково	До 250 / мережа Mesh	Смарт-системи

14.5. Інтеграція протоколів у системи «розумного освітлення» в сільському господарстві

Сучасні тепличні комплекси та тваринницькі ферми активно впроваджують автоматизовані системи керування освітленням (АСУО), які базуються на поєднанні кількох типів комунікаційних протоколів. Це дозволяє створювати гнучкі, енергоефективні та високоточні системи, що оптимізують мікроклімат та енергоспоживання у сільськогосподарському виробництві.

Більшість сучасних агроосвітлювальних систем мають ієрархічну структуру, де кожен рівень виконує свої задачі та підтримує певний протокол.

1. Нижній рівень (локальне управління освітлювальними приладами)

- Використовується DALI або 0–10 В для керування LED-світильниками.
- DALI забезпечує індивідуальну адресацію світильників, регулювання яскравості, спектра, формування сцен (наприклад, для різних етапів росту рослин).
- У тваринницьких приміщеннях DALI дозволяє реалізовувати плавні переходи між фазами освітлення, імітуючи схід та захід сонця, що позитивно впливає на біоритми тварин.

2. Середній рівень (інтеграція технологічних підсистем)

- На цьому рівні застосовується KNX, який об'єднує освітлення з системами вентиляції, опалення, зрошення, CO₂-контролю та іншими технологічними процесами.
- KNX діє як центральна "шина" зв'язку, що дозволяє взаємодію між різними пристроями та автоматичне узгодження режимів роботи.
- Наприклад, при підвищенні температури в теплиці KNX може одночасно зменшити інтенсивність освітлення (через DALI) і активувати вентиляцію.

3. Верхній рівень (дистанційний моніторинг і аналітика)

- Для збору та обміну даними між контролерами і центральним сервером використовуються бездротові протоколи — Wi-Fi, ZigBee, Thread або LoRaWAN.
- Через ці канали здійснюється дистанційне налаштування, моніторинг і аналітика в реальному часі.
- Дані з освітлювальних ліній передаються до хмарних платформ або спеціалізованих мобільних застосунків, що дозволяє агрономам і операторам контролювати систему з будь-якої точки світу.

Інтеграція протоколів дозволяє створювати інтелектуальні сценарії, які динамічно змінюють параметри освітлення залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів:

- Компенсація природного освітлення: сенсори освітленості передають дані в контролер DALI, який автоматично підсилює або знижує штучне світло, підтримуючи постійний рівень Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD).
- Оптимізація енергоспоживання: KNX взаємодіє з системою енергоменеджменту — при піковому навантаженні електромережі інтенсивність світла знижується або частина ліній вимикається.
- Динамічне спектральне керування: DALI регулює окремі кольорові канали LED-модулів (синій, червоний, дальній червоний) відповідно до фаз росту рослин.
- Зональне керування: у різних частинах теплиці створюються окремі зони з індивідуальними сценаріями освітлення — наприклад, розсадна, вегетативна та генеративна.
- Погодозалежне керування: завдяки інтеграції з метеостанцією KNX або Wi-Fi система автоматично адаптує освітлення до похмурих чи сонячних днів.

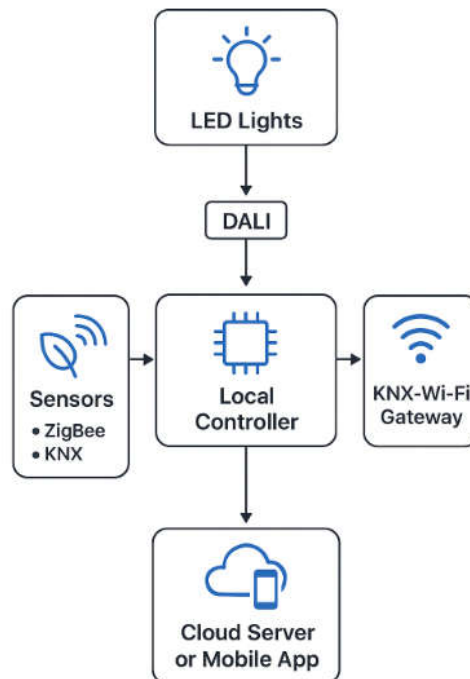


Рис. 14.8 – Приклад архітектури системи "розумного освітлення"

Архітектура системи «розумного освітлення» в сільському господарстві передбачає інтеграцію кількох взаємопов'язаних компонентів. Світильники LED оснащуються DALI-драйверами, які підключені до локального контролера для точного регулювання яскравості, спектра та режимів освітлення. Сенсори освітленості, температури, вологості та CO₂ збирають інформацію про мікроклімат і передають її до контролера за допомогою бездротових протоколів ZigBee або KNX. Локальний контролер координує роботу DALI-мережі, аналізує отримані дані та формує сценарії освітлення відповідно до умов середовища чи заданих алгоритмів. Для зв'язку з зовнішніми системами використовується шлюз KNX-Wi-Fi, який забезпечує обмін даними між локальною мережею та хмарною платформою. Завдяки цьому хмарний сервер або мобільний застосунок дає можливість віддалено контролювати режими роботи освітлення, проводити моніторинг параметрів, збирати аналітику та формувати звіти про енергоефективність і врожайність. Така архітектура забезпечує комплексне, автоматизоване та гнучке управління освітленням у тепличних і тваринницьких господарствах.

Майбутнє агроосвітлення пов'язане з розвитком IoT (Інтернету речей), штучного інтелекту та хмарних платформ управління. Системи "розумного агросвітла" зможуть самостійно аналізувати дані сенсорів і коригувати параметри освітлення для досягнення найвищої ефективності фотосинтезу та економії енергії.

Очікується, що інтеграція DALI, KNX, ZigBee і Wi-Fi у єдині екосистеми дозволить створити повністю автономні агротехнологічні комплекси, здатні працювати без постійного втручання людини, забезпечуючи стабільну продуктивність незалежно від зовнішніх умов.

Питання для самоконтролю

1. Системи аналогового і цифрового управління освітленням;
2. Інтегровані цифрові системи управління освітленням;
3. Переваги і недоліки цифрового управління освітленням;

4. Протоколи управління світловими приладами.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису автоматизованих установок інфрачервоного обігріву і ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Протоколи двобічного обміну. Інтелектуальний інтерфейс DALI. Дії, що виконуються системою DALI.

ТЕМА №15. МЕТОДИ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНІВ ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із сучасними принципами та методами проєктування систем живлення освітлювальних установок, навчити оцінювати їхні технічні характеристики та вибирати оптимальні рішення для різних умов експлуатації.

Анотація

Тема присвячена сучасним методам організації та управління системами живлення освітлювальних установок. Розглянуто основні принципи проєктування, типи джерел живлення, критерії їх вибору та ефективності. Особлива увага приділяється оцінці технічних характеристик освітлювальних систем та способам оптимізації їх роботи для забезпечення високої енергоефективності та надійності експлуатації. Матеріал лекції спрямований на формування у слухачів практичних навичок аналізу і вибору систем живлення для різних типів освітлювальних установок.

Keywords: power systems, lighting installations, design, energy efficiency, technical specifications, optimization, power sources.

План лекції

1. Вибір напруги і джерел живлення;
2. Основні елементи та характеристика схеми живлення освітлювальних установок;
3. Розрахунок електричної освітлювальної мережі;
4. Вимоги до освітлювальних мереж;
5. Вибір схеми живлення;
6. Вибір марки проводу та способу прокладання;
7. Вибір групових щитків;
8. Вибір апаратів захисту.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

15.1. Вибір напруги і джерел живлення

Для освітлювальних установок, як правило, має застосовуватися напруга змінного струму при заземленої нейтралі не вище 380/220 В, для постійного струму і змінного з ізольованою нейтраллю - не вище 220 В. Напруга 12 і 36 В застосовується переважно для місцевого і переносного освітлення. Для забезпечення надійної роботи газорозрядних ламп напруга на них не повинно бути нижче 90% номінальної. Напруга у всіх ламп не повинно бути більше 105% номінального.

При напрузі силових приймачів 380 В живлення освітлення, як правило, повинно здійснюватися від трансформаторів 380/220 В, спільних для силової та освітлювальної мережі.

Установка самостійних освітлювальних трансформаторів необхідна коли напруга 380 В не може бути допущено за умовами електробезпеки (спеціальні електроустановки) або коли силове навантаження викликає неприпустимі коливання напруги.

15.2. Основні елементи та характеристика схеми живлення освітлювальних установок

До основних елементів схеми живлення освітлювальних установок можна віднести:

Ввідний пристрій (ВП) - сукупність конструкцій, апаратів і приладів, встановлених на вводі лінії живлення в будинок або його відокремлену частину.

Ввідний розподільчий пристрій (ВРП) - ВУ включає в себе апарати й прилади ліній, що відходять.

Головний розподільний щит (ГРЩ) - розподільний щит, через який забезпечується електроенергією всю будівлю або його відособлена частина.

Розподільний пункт (РП) - пристрій, в якому встановлені апарати захисту і комутаційні апарати для окремих електроприймачів або їх груп.

Груповий щиток - пристрій, в якому встановлені апарати захисту і комутаційні апарати для окремих груп світильників, штепсельних розеток і стаціонарних електроприймачів.

Квартирний щиток - груповий щиток, встановлений у квартирі і призначений для приєднання мережі, яка живить світильники, розетки та стаціонарні електроприймачі.

Поверховий розподільний щиток - щиток, встановлений на поверхах житлових будинків для живлення квартир або квартирних щитків.

Електрощитове приміщення - приміщення, доступне тільки для обслуговуючого персоналу в якому встановлюються ВП, ВРП, ГРЩ, та інші розподільчі пристрої.

Живильна освітлювальна мережа - мережа від розподільного пристрою підстанції або відгалуження від повітряних ліній електропередачі до ВП, ВРП, ГРЩ.

Розподільна мережа - мережа від ВП, ВРП, ГРЩ до розподільних пунктів, щитків і пунктів живлення зовнішнього освітлення.

Групова мережа - мережа від щитків до світильників, штепсельних розеток та інших електроприймачів.

Пункт живлення зовнішнього освітлення - електричне розподільчий пристрій для приєднання групової мережі зовнішнього освітлення до джерела живлення.

Фаза нічного режиму - фаза живильної або розподільної мережі зовнішнього освітлення, не відключається в нічні години.

Провід зарядки світильників - проводи, які прокладаються всередині світильника.

Освітлювальні мережі внутрішнього освітлення поділяють на лінії: живильну, що прокладається від трансформаторної підстанції до групових щитків, та групову – від групових щитків до світильників.

По надійності електропостачання освітлювальна навантаження, як і силова, ділиться на три категорії.

Живлення навантажень III категорії може проводитися від однієї однотрансформаторної підстанції. Аварійне і робоче освітлення повинні при цьому мати самостійне живлення, починаючи від розподільного щита підстанції або від вводу в будинок (рис. 15.1).

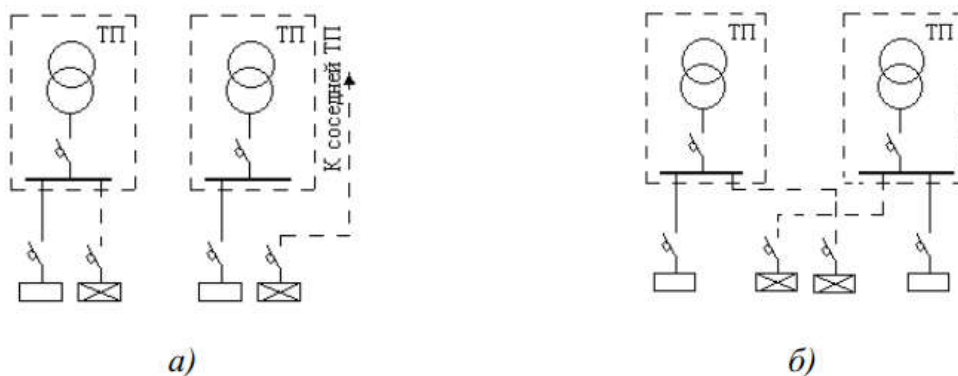


Рис. 15.1 – Схеми живлення освітлення: а) від однієї трансформаторної підстанції; б) від двох трансформаторної підстанції.

В живлять мережах освітлення застосовуються як магістральні, так і радіальні схеми в залежності від потужності і розташування освітлювальних щитків (рис. 15.2, а, б).



Рис. 15.2 – Схеми живлення освітлення: а) -радіальна.; б) -магістральна

Живлення навантажень II категорії при дотриманні ряду умов (наявність централізованого резерву трансформаторів, живлення трансформатора не менше, ніж двома кабелями і т.д.) формально допустимо від однієї одно-трансформаторної підстанції, але насправді для даної категорії бажано мати більш надійну схему живлення. Так, при двох трансформаторних підстанціях живлення здійснюється за схемою (рис. 15.1, б), при однотрансформаторній підстанції живлення аварійного освітлення здійснюється від іншої підстанції (рис. 15.1, а).

Живлення навантажень I категорії повинно здійснюватися не менше ніж від двох незалежних джерел. Якщо в двох трансформаторних підстанціях (див. рис. 15.1, б) живлення трансформаторів здійснюється від двох незалежних джерел, то така схема вже забезпечує живлення освітлювальних навантажень I категорії.

Поєднання силових і освітлювальних ліній живлення можливо для громадських і житлових будівель, а також для виробничих будівель допоміжного характеру. У цих випадках живлення освітлювальних ліній треба здійснювати таким чином, щоб ймовірність збереження в них напруги була максимальною при відключенні силових навантажень.

15.3. Розрахунок електричної освітлювальної мережі

Розрахункове навантаження P_p - це навантаження по якій проводиться розрахунок електричної мережі, вибір перерізу провідників, визначаються рівні напруги у джерел світла.

Якщо для силових споживачів розрахункове навантаження різко відрізняється від встановленої P_y (сума номінальних потужностей всіх споживачів), то для освітлювальних установок розрахункове навантаження приблизно дорівнює встановленої потужності:

$$P_p = P_y k_c ,$$

де - k_c коефіцієнт спросу. При відсутності даних по k_c його значення слід приймати рівним:

- 1-для дрібних виробничих будівель і торгових приміщень, зовнішнього освітлення;
- 0,95-для виробничих будівель, що складаються з окремих великих прольотів;
- 0,9- для бібліотек, адміністративних будівель;
- 0,8- для виробничих будівель, що складаються з великого числа окремих приміщень;
- 0,6- для складських приміщень і електростанцій, що складаються з великого числа окремих приміщень.

При розрахунку групової мережі і всіх ланок аварійного освітлення k_c приймається рівним 1. Розрахункове навантаження застосовується в основному для вибору комутуючого апарату і проводів або кабелю, що живлять магістральний освітлювальний щиток.

15.4. Вимоги до освітлювальних мереж

До розрахунку освітлювальних мереж ставляться такі вимоги:

1. Вибір перерізу проводів повинні забезпечувати необхідні напруги джерел світла. Зниження напруги по відношенню до номінального не повинно у найбільш віддалених ламп перевищувати наступних значень:

2,5% - у ламп робочого освітлення промислових і громадських будівель, прожекторного освітлення зовнішніх установок;

5% - у ламп робочого освітлення житлових будівель, зовнішнього освітлення, виконаного світильниками, і аварійного освітлення;

10% - у ламп 12-36 В.

2. Струмові навантаження на окремі дроти не повинні перевищувати допустимі значення, для вибраного перерізу і матеріалу.

3. Вибрані перерізу проводів повинні забезпечити механічну міцність при їх монтажі та експлуатації.

У будинках слід застосовувати кабелі та проводи з мідними жилами. До 2001 р допускалися алюмінієві дроти. У житлових будинках перетин мідних провідників повинні відповідати розрахунковим значенням але не менше:

-лінії групових мереж 1,5 мм²;

-лінії від поверхових до квартирних щитків 2,5 мм²;

-лінії розподільної мережі (стояки) 4 мм².

Забороняється прокладання від поверхового щитка в загальній трубі, коробі або каналі проводів та кабелів, що живлять різні квартири. Не допускається об'єднання нульових робочих і захисних провідників різних груп.

У всіх будівлях лінії групової мережі, що прокладаються від поверхових і квартирних щитків до світильників загального освітлення, штепсельних розеток і стаціонарних електороприймачів, повинні виконуватися трипровідними (фазний -L, нульовий робочий -N, і нульовий захисний РЕ).

Живильні і розподільні мережі, як правило, виконуються проводами і кабелями з алюмінієвими жилами, якщо їх переріз дорівнює 16 мм² і більше.

Лінії групової мережі внутрішнього освітлення повинні бути захищені запобіжниками чи автоматичними вимикачами. Кожна групова лінія, як правило, повинна містити на фазу не більше 20 ламп розжарювання, ДРЛ, ДРІ і т. Д., В це число включаються і розетки. У виробничих, громадських будівлях на однофазні групи освітлення сходів, горищ, коридорів допускається приєднувати до 60 ламп розжарювання потужністю до 60 Вт. У групових лініях, які живлять лампи потужністю 10 кВт і більше, кожна лампа повинна мати самостійний апарат захисту.

На початку кожної групової лінії, в тому числі живиться про шинопроводів, повинні бути встановлені апарати захисту на всіх фазних проводах. Установка апаратів захисту в нульових захисних провідниках забороняється.

Робочі нульові провідники групових ліній повинні прокладатися при застосуванні металевих труб спільно з фазними провідниками в одній трубі, а при прокладанні кабелями або багатожильними проводами повинні бути укладені в загальну оболонку з фазними проводами.

Спільне прокладання проводів і кабелів групових ліній робочого освітлення з груповими лініями освітлення безпеки і евакуаційного освітлення не рекомендується.

15.5. Вибір схеми живлення

Схеми живлення освітлювальних установок повинні забезпечувати:

- необхідний рівень надійності живлення;
- регламентовані рівні напруги і постійність напруги джерела живлення;
- простоту і зручність експлуатації;
- економічність установки.

У більшості випадків освітлювальні навантаження живляться від силових цехових трансформаторів напругою 6(10)/0,38 кВ із заземленою нейтраллю вторинної обмотки.

Використання самостійних освітлювальних трансформаторів обмежується випадками, коли характер силового навантаження не дає можливість забезпечити необхідну якість напруги, коли використовується для силових навантажень напруга вище 380 В та коли система напруг 380/220 або 220/127 В неприпустима для освітлювальної установки за умовами безпеки.

В освітлювальних мережах розрізняють живильні і групові лінії. Живильна лінія з'єднує джерело живлення з груповими щитками освітлення. Групові лінії служать для приєднання світильників до групових щитків.

Групові щитки мають як вводний апарат захисту, так і апарати захисту на кожну групову лінію, що відходить. Згідно ПУЕ струм захисних апаратів на групових лініях не повинний перевищувати 25 А за винятком ліній, що живлять лампи розжарювання одиничною

потужністю 500 Вт і більше і газорозрядні лампи потужністю 125 Вт і більше, у цьому випадку струм захисного апарата не повинний перевищувати 63 А.

Кількість світильників, що підключається на одну фазу групової мережі не повинна перевищувати:

- для ламп розжарювання, ДРЛ, ДРИ і натрієвих – до 20;
- для люмінесцентних ламп – до 50;
- для ксенонових ламп потужністю 10 кВт і вище – не більше однієї.

У конструктивному виконанні живильні лінії виконуються чотирипровідними при мережі з заземленою нейтраллю і трифазними в мережах з ізольованою нейтраллю. Групові лінії можуть бути однофазними (1ф + N), двофазними (2ф), двофазними з нульовим проводом (2ф + N), трифазними (3ф) і трифазними чотирипровідними (3ф + N). Останній вид лінії використовується найбільш часто, тому що дозволяє зменшити переріз провідникового матеріалу, забезпечити рівномірне навантаження фаз, знизити коефіцієнт пульсації при живленні світильників від різних фаз.

Середня довжина трифазних чотирипровідних групових ліній для системи напругою 380/220 В складає 80 м, для системи напруг 220/127 В – 60 м, довжина двопровідних групових ліній - відповідно 35 і 25 м.

Розрізняють радіальні, магістральні і змішані схеми живлення освітлювальних установок (рисунки 23). Радіальні схеми використовуються при високих навантаженнях групових щитків (порядку 100-200 А) і забезпечують більш високу надійність живлення. Магістральні схеми дозволяють заощаджувати провідниковий матеріал і апаратуру на розподільних пунктах, однак мають меншу надійність живлення. Змішані схеми одержали найбільше поширення через їхню гнучкість.

15.6. Вибір марки проводу та способу прокладання

Проводом називається провідник електроенергії, призначений для її передачі. Провід може бути голим, голим захищеним, ізольованим незахищеним і ізольованим захищеним. Голий провід не має ні ізолюючих, ні захисних оболонок. Голий захищений провід має оболонку (обмотка, обплетення, шар емалі і т.п.), що оберігає провідник від корозії. Провідник ізольованого незахищеного проводу укладений в ізолюючу оболонку (гумову, пластмасову і т.п.), але не має оболонки, що захищає від пошкоджень механічними діями. Ізольовані захищені проводи мають зовнішню оболонку (металеву, гумову і т.п.), що захищає від механічних дій, а також від дії вологи, світла, різних хімічних речовин. Ізольовані проводи на відміну від неізольованих можуть бути не тільки одножильними, але і багатожильними, тобто можуть складатися з декількох ізольованих один від одного провідників, укладених в загальну захисну оболонку.

Шнуром називається провідник, що складається з двох і більше скручених між собою ізольованих дротів, що мають значну гнучкість, або з декількох ізольованих гнучких проводів, укладених в загальну оболонку.

Кабелем називається провідник, що складається з однієї або декількох скручених разом ізольованих жил, укладених у герметичну оболонку (алюмінієву, свинцеву і т.д.), поверх якої можуть бути нанесені захисні покриття.

Основними конструктивними елементами проводів, шнурів і кабелів є: струмопровідна жила, ізоляція, оболонка і зовнішні захисні покриття.

Струмопровідні жили виконують переважно з міді, алюмінію або алюмоміді і нормують за їх перерізом.

Жили з алюмінію перерізом від 2,5 до 16 мм² включно виготовляються однодротовими, а великих перерізів – одно- або багатодротовими (скрученими з окремих дротів).

Мідні струмопровідні жили залежно від експлуатаційних вимог до провідників виготовляють нормальними, гнучкими або особливо гнучкими. Гнучкі і особливо гнучкі жили будь-яких перерізів виготовляють багатодротовими.

Залежно від призначення для ізоляції жил кабелів, проводів і шнурів можуть застосовуватися різні сорти кабельного паперу, гуми і пластмаси.

Кабельний папір застосовується для ізоляції жил силових і контрольних кабелів. Паперова стрічка накладається методом обмотки на струмопровідну жилу і просочується у вакуумі нафтовим або синтетичним маслом.

Ізоляційні гуми виготовляють на основі натурального і синтетичного каучуків. Характерною особливістю такої ізоляції є гнучкість та еластичність.

Вулканізована гума накладається суцільним шаром на струмопровідні жили дротів, кабелів і шнурів.

Значного поширення набула ізоляція з поліхлорвінілового пластикату, що являє собою суміш поліхлорвінілової смоли з різними пластифікаторами, стабілізаторами і фарбниками. До переваг пластикату належить його негорючість, волого- і маслостійкість, достатня гнучкість і еластичність. Суцільна пластмасова ізоляція застосовується в силових кабелях, проводах і шнурах.

Для захисту ізоляції від дії світла, вологи, хімічних речовин, а також для оберігання від механічних дій більшість дротів, кабелів і шнурів забезпечуються оболонками.

Металеві оболонки є найбільш герметичними. Найчастіше їх виготовляють зі свинцю і алюмінію. Порівняно із свинцевими оболонками алюмінієві механічно більш міцні, мають меншу вагу і краще протистоять вібраціям. Свинцеві оболонки мають більшу механічну стійкість.

Електропроводкою називають сукупність проводів і кабелів із кріпленнями, підтримуючими і захисними конструкціями, що до них належать.

За способом виконання проводки усередині приміщень діляться на відкриті й приховані. До відкритих належать проводки, виконані по поверхнях стін, стель, по фермах та інших конструкціях. Проводки, виконані проводами, наглухо закладеними в тілі будівельних конструкцій (під шаром штукатурки, по перекриттях у конструкції підлог), називаються незмінними.

Способи виконання проводок визначаються з урахуванням таких чинників: умов середовища в приміщенні, призначення приміщення, особливостей будівельних конструкцій і технології, зручності експлуатації, економіки. Слід враховувати, що терміни виконання електромонтажних робіт багато в чому залежать від прийнятого способу проводки.

В усіх випадках повинні дотримуватися вимоги пожежної і електробезпеки.

Дроти і кабелі з гумовою і пластмасовою ізоляцією забезпечуються оболонками з гуми або пластмаси. Для захисту оболонок від механічних пошкоджень і корозії застосовуються захисні покриття: броня і зовнішній покрив.

Мережі виробничих та допоміжних будівель слід переважно виконувати відкрито: тросовими проводами; кабелями і захищеними проводами; незахищеними ізольованими проводами на ізоляторах, в лотках, в коробах, в трубах; шинопроводами.

Проводки шнурами й проводами на роликах рекомендується використовувати тільки

для будівель та споруд в сільській місцевості та тимчасових.

Електропроводки незахищеними ізолюваними проводами на ізоляторах можуть використовуватися в усіх невибухонебезпечних установках, в тому числі й зовнішніх. В останній час цей вид проводки витісняється тросовими електропроводами.

В окремих випадках на ізоляторах краще прокладати голі проводи, що дозволені в усіх пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях. Цей же вид проводки являється переважаючим в установках зовнішнього освітлення – для повітряних ліній.

Тросові електропроводки можуть виконуватися кабелями та проводами, що прокладаються по тросу або дроті, а також спеціальними проводами.

Прокладання проводів в трубах слід обмежувати, допускаючи її лише в тих випадках, коли безтрубні проводки не можуть бути використані.

Широко, де це можливо за умовами середовища, повинні використовуватися шинопроводи, в тому числі й освітлювальні – ШОС–67, ШОС–73, що забезпечують високу індустріалізацію електромонтажних робіт.

Перспективними для житлових та громадських будівель являються електропроводки, що виконуються проводами в електротехнічних плінтусах та накладних і забезпечують комплексну прокладку сильнострумових та слабострумових мереж. В деяких конструкціях будівель вони можуть бути одним з найреальніших видів змінної проводки.

Прокладання плоских проводів дозволяється в сухих, вологих та сирих приміщеннях. Допускається прокладання плоских проводів на окремих ділянках в пластмасових та металевих трубах.

Для закритого прокладання в основному повинні використовуватися проводи без з'єднувальної плівки – ППВС, ПППС; для відкритого прокладання призначені проводи ППВ, ППП, а при прокладанні по дерев'яних та інших горючих основах – ППР.

Допускається заміна при закритому прокладанні плоских проводів проводами ПВ.

Для прокладання в землі окрім броньованих кабелів можуть бути використані кабелі в полівінілхлоридному шланзі– ААШВ, ААШП.

Кабелі в пластиковому шланзі повинні використовуватися для прокладання в агресивних ґрунтах та в зонах з високим рівнем блукаючих струмів.

В тунелях, а також на кабельних конструкціях і скобах всередині будівлі рекомендується прокладання броньованих кабелів без зовнішнього покриття (ААБГ) та неброньованих кабелів (ААГ, АВВГ, ВВГ, АВРГ, ВРГ, ААШВ).

15.7. Вибір групових щитків

Розподільні і групові шафи, пристрої, пункти і щитки призначені для розподілу електричної енергії, захисту електричних установок при перевантаженнях і коротких замиканнях, а також для нечастих (до 6 за годину) оперативних включень і відключень електричних кіл.

За призначенням групові щитки діляться на дві групи:

- для промислових, адміністративних і громадських будівель і споруд;
- для житлових будівель.

За родом захисту від дії навколишнього середовища щитки можуть мати такі конструктивні виконання: захищене, закрите, бризконепроникне, пилонепроникне, вибухозахищене і хімічностійке.

Захищеними називаються групові щитки, конструкція яких виключає можливість випадкового дотику до струмопровідних частин і потрапляння всередину щитка сторонніх предметів.

Закритими називаються захищені групові щитки, в яких внутрішній простір відокремлений від зовнішнього середовища оболонкою, що перешкоджає проникненню в нього пилу. Якщо ж ущільнення оболонки виконано таким чином, що всередину щитка не проникає дрібний пил, то таке виконання групового щитка називається пиленепроникним.

Бризконепроникні групові щитки мають пристрої, що перешкоджають проникненню в них водяних бризок, що падають під кутом до 45 градусів по вертикалі з будь-яким кутом.

Вибухонепроникними називаються групові щитки, що мають одне з виконань вибухозахищеного устаткування.

Груповими щитками, стійкими в умовах дії на них того чи іншого хімічно агресивного середовища (хімічностійкі), називаються щитки, в яких вибрані конструкційні матеріали і види покриттів надійно протистоять агресії середовища.

За способом установки групові щитки поділяються так:

- для відкритої установки на стінах, колонах, конструкціях;
- для заглибленої установки.

Для відкритої установки застосовуються щитки будь-якого з вищеперелічених виконань за родом захисту від дії навколишнього середовища. Для заглибленої установки щитки виготовляються лише в захищеному виконанні.

Щитки в захищеному виконанні можуть встановлюватися в усіх приміщеннях, окрім сирих, пильних, вибухо- і пожежобезпечних, а також приміщеннях з хімічно активним середовищем. У такому вигляді виготовляють щитки для житлових будинків і більшості приміщень адміністративних і громадських будівель.

При виборі щитків для конкретних приміщень у першу чергу необхідно орієнтуватися на допустиме для даного середовища конструктивно найпростіше і дешевше їх виконання.

Розміщуючи щитки, слід по можливості вибирати для їх установки приміщення з кращими умовами середовища.

Конструкція щитка повинна допускати заміну захисних комутаційних апаратів без демонтажу щитків.

Контактні затискачі для приєднання живильних ліній і відхідних ліній повинні допускати приєднання як мідних, так і алюмінієвих дротів або кабелів. Повинна бути забезпечена можливість введення і виведення ліній як зверху, так і знизу щитка. Дверцята щитка повинні вільно відкриватися на кут не менше 120 градусів для забезпечення зручності експлуатації.

При вирішенні питань розміщення групових щитків враховують такі рекомендації:

а) щитки повинні розміщуватися по можливості в центрі зосередження навантаження, оскільки тим самим скорочується протяжність групової мережі і зменшується переріз дротів; допускається зсув групових щитків у бік джерел живлення;

б) щитки повинні встановлюватися в місцях, вільних від устаткування і зручних для обслуговування. Рекомендується, особливо в будівлях без цілодобової роботи, розміщувати щитки поблизу основних входів. У цехах з хімічно активним, пильним і несприятливим середовищем рекомендується встановлювати щитки у цехових електроприміщеннях;

в) щитки повинні, як правило, забезпечувати живленням ті поверхи будівель, на яких вони встановлені; виняток допускається для щитків аварійного освітлення;

г) щитки з вимикачами треба розміщувати так, щоб були видні керовані ними світильники;

д) у будівлях з технічними поверхами для живлення світильників, обслуговуваних з технічного поверху, допускається установка щитків на тому самому технічному поверсі.

У даний час для виробничих і громадських будівель найбільш широко застосовують такі типи групових щитків:

- розподільні пункти серій ПР8501, ПР8503 і ПР8703 з одно- і триполюсними автоматами;
- розподільні шафи серії ШК85 з чотирма триполюсними автоматами і чотирма трифазними конденсаторами потужністю по 33,3 кВАр для підвищення $\cos\varphi$ РЛВД (замість розподільних пунктів ПР 41);
- групові щитки типу ЯОУ-8501 – ЯОУ-8508 з однополюсними автоматами;
- щитки заводів «Електромонтаж» типів ОП, ОЩ, ОЩВ, УОЩВ з однополюсними автоматами;
- щитки розподілу енергії групових силових і освітлювальних мереж ЩРО 8505 з однополюсними автоматами;
- щитки освітлювальні групові ЩО 8505 з одно-, дво-, три- і чотириполюсними автоматами;
- щитки освітлювальні вибухонебезпечні типу ЩОВ-А з однополюсними автоматами.

Застосовують також щитки місцевого виробництва.

Дверцята щитка повинні вільно відчинятися на кут не менше 120^0 для забезпечення зручності експлуатації. Дверцята повинні мати вбудований замок, що виключає їх мимовільне відкривання в незамкненому стані і що замикається по бажанню ключем. Відповідно до ПУЕ в щитках для промислових будинків затискачі для приєднання нульових приводів електрично з'єднуються з металевим корпусом.

15.8. Вибір апаратів захисту

Усі освітлювальні мережі повинні мати захист від струмів короткого замикання (КЗ), а в деяких випадках також від перевантаження.

Захист від перевантаження повинні мати:

- мережі внутрішнього освітлення, виконані відкрито прокладеними проводами з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;
- освітлювальні мережі в житлових і громадських будівлях, у торгових приміщеннях, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, включаючи мережі для побутових і переносних електроприймачів (праски, чайники, плитки, кімнатні холодильники, пилососи, пральні і швейні машини і т. п.), при будь-яких видах проводок;
- мережі у вибухонебезпечних і пожежонебезпечних зонах при будь-яких видах проводів, кабелів і способах проводки.

Захист освітлювальних мереж здійснюється апаратами захисту. Апаратом захисту називається апарат, що автоматично відключає електричне коло, яке захищається, при аномальних режимах. До апаратів захисту належать запобіжники й автоматичні вимикачі (автомати).

Для захисту освітлювальних мереж найбільш поширені автоматичні вимикачі. Однією з переваг автоматів перед запобіжниками є можливість використання їх не лише як захисних, але і як вимикальних апаратів (апаратів управління).

Для захисту освітлювальних мереж слід застосовувати автомати з розчіплювачами, що мають обернено залежну від струму часову характеристику (із зростанням струму час відключення зменшується). Автомати, що мають лише електромагнітний миттєводіючий розчіплювач, для освітлювальних мереж застосовувати не рекомендується.

Автоматичні вимикачі, застосовувані для захисту освітлювальних мереж, мають такі, обернено залежні від струму часові характеристики розчіплювачів:

- теплові нерегульовані;
- комбіновані (теплові й електромагнітні) нерегульовані;
- комбіновані (теплові й електромагнітні) регульовані.

Захист електричних мереж від струмів КЗ повинен забезпечувати відключення аварійної ділянки з найменшим часом і по можливості вимоги селективності.

Для забезпечення селективності захисту, якщо це не призводить до завищення перерізу провідників, струм кожного апарата захисту рекомендується брати не менш ніж на два ступені більше наступного апарата, відлічуючи від електроприймача, найвіддаленішого від джерела живлення. Різниця не менше ніж на один ступінь обов'язкова в усіх випадках.

Номинальні струми уставок автоматів і плавких уставок запобіжників слід вибирати по можливості найменшими за розрахунковими струмами ділянок мережі, що захищаються.

Апарати захисту повинні встановлюватися в таких пунктах освітлювальної мережі:

- у місцях приєднання мережі до джерел живлення (розподільні щити ТП, розподільні пункти, магістральні шинопроводи та ін.);
- на введеннях у будівлі;
- у групових щитках на початку кожної групової лінії;
- у місцях зменшення перерізу проводів у напрямку до електроприймачів;
- з боку вищої напруги знижувальних трансформаторів. У цих випадках номінальні струми плавких елементів запобіжників і струми уставок автоматів повинні бути як можна ближче до номінального струму трансформаторів. При живленні однією групою не більше трьох трансформаторів захист може здійснюватися загальним захисним апаратом на початку лінії;
- з боку нижчої напруги знижувальних трансформаторів.

Апарати захисту в освітлювальних мережах допускається не встановлювати в таких місцях:

- при зниженні перерізу – по довжині лінії і на відгалуженнях від неї, якщо захисний апарат лінії захищає також ділянку зі зниженим перерізом;
- при зменшенні перерізу – по довжині лінії і на відгалуженнях від неї, якщо зменшений переріз не менше 50 % перерізу початкової ділянки лінії;
- у місцях відгалужень від лінії до електроприймачів малої потужності (світильники, побутові електроприлади і т.п.), якщо живильна лінія захищається апаратом з уставкою не більше 25 А без обмеження довжини і перерізів;
- у місцях відгалужень від лінії до електроприймачів малої потужності (світильники, побутові електроприлади і т.п.), якщо лінія захищена апаратом з уставкою вище 25 А, але не більше 63 А при довжині до 3 метрів при будь-якому способі прокладки і при прокладці у сталевій трубі без обмеження довжини.

Апарати захисту повинні встановлюватися безпосередньо в місцях приєднання проводів, що захищаються, до живильної лінії.

Апарати захисту повинні встановлюватися в колі таких проводів:

- при захисті мереж запобіжниками останні повинні встановлюватися в усіх нормально незаземлених полюсах і фазах. Установка запобіжників у нульових робочих проводах забороняється;

- при захисті мереж із глухозаземленою нейтраллю автоматами їх розчіплювачі повинні встановлюватися в усіх нормально незаземлених проводах. В однофазних двопровідних лініях у вибухонебезпечних зонах класу В-1 розчіплювачі автоматів повинні встановлюватися в ланцюзі фазного і нульового робочого проводів, при цьому для одночасного відключення повинні застосовуватися двополюсні автомати; при захисті мереж з ізольованою нейтраллю у трипровідних мережах трифазного струму і у двопровідних мережах однофазного і постійного струму допускається встановлювати розчіплювачі автоматів у двох фазах при трипровідній мережі і в одній фазі (полюсі) при двопровідній мережі. При цьому в межах однієї й тієї самої електроустановки захист слід здійснювати в одних і тих самих фазах (полюсах).

Для захисту електричних перетинів від струмів короткого замикання і перевантажень застосовуємо автоматичні вимикачі. На прикладі першої групи для керування світлом здійснюємо розрахунок і вибір автоматичного вимикача згідно умов:

По номінальній напрузі автомата

$$U_{н.а.} \geq U_{н.м.},$$

де $U_{н.а.}$ – номінальна напруга автомата, В; $U_{н.м.}$ – номінальна напруга мережі, В;

По номінальному струму автомата

$$I_{н.а.} \geq I_{розр.1},$$

де $I_{н.а.}$ – номінальний струм автомата, А; $I_{розр.1}$ – номінальний розрахунковий струм групи.

За струмом теплового розчіплювача

$$I_{н.розч.} \geq I_{розр.1} \cdot K_{н.т.}$$

де $K_{н.т.}$ – коефіцієнт надійності, який враховує розкидання за струмами спрацювання теплового розчіплювача.

Аналогічно, з урахуванням навантажень, здійснюємо вибір автоматичних вимикачів для інших освітлювальних груп.

Питання для самоперевірки

1. Яка система напруг використовується для живлення освітлювальних і опромінювальних установок?
2. Як класифікуються електричні освітлювальні мережі?
3. Які допустимі відхилення напруги в сільських електричних мережах?
4. Як впливає відхилення напруги на роботу ламп розжарювання?
5. Перерахувати основні елементи та характеристики схеми живлення освітлювальних установок;
6. Розрахунок електричної освітлювальної мережі;
7. Вимоги до освітлювальних мереж;
8. Вибір схеми живлення;
9. Вибір марки проводу та способу прокладання;
10. Вибір групових щитків;

11. Вибір апаратів захисту.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з вимог при проектуванні освітлювальної мережі освітлювальних установок.

2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Розрахунок освітлювальної мережі по втраті напруги.

ТЕМА №16. КЕРУВАННЯМ ОСВІТЛЕННЯМ В ПРИМІЩЕНІ ТА ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОУСТАНОВКО ОСВІТЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

Мета: із принципами управління освітленням у різних типах приміщень, основами електробезпеки та захисту електроустановок, системами заземлення та методами забезпечення безпечної експлуатації освітлювальних мереж.

Анотація

Тема присвячена сучасним методам управління освітленням та забезпеченню електробезпеки в електроустановках. Розглядаються принципи керування освітлювальними системами в різних типах приміщень, коридорні та комбіновані схеми керування, організація захисного та робочого проводів, а також основні системи заземлення (ТТ, TN, IT). Окремо приділено увагу застосуванню пристроїв захисного відключення (ПЗВ) та правилам безпечного заземлення корпусів освітлювальних приладів.

Keywords: Lighting control, electrical safety, grounding, TN, TT, IT systems, protective shutdown devices, corridor circuit, protective conductor, neutral conductor, electrical installation.

План лекції

1. Управління освітленням;
2. Електробезпека та захист в освітлювальних установках;
3. Заземлення в освітлювальних установках.

Хід проведення лекційного заняття

- I. Організація групи;
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми й мети;
- III. Викладення та обговорення нового матеріалу.
- IV. Оголошення завдання на самостійне опрацювання та підготовку.

16.1. Управління освітленням

Управління електричним освітленням дозволяє підтримувати необхідний рівень освітленості у будь-який час при мінімальному енергоспоживанні. Практика застосування таких систем показує, що загальне споживання електроенергії на освітлення можна знизити більш ніж на 70%. У невеликих приміщеннях освітлення зазвичай керується вимикачами, розташованими біля входу, зазвичай з боку дверної ручки. Для приміщень, що відвідуються рідко (наприклад, вентиляційні камери або комори), вимикачі встановлюють поза приміщенням, в інших випадках – всередині. Якщо в приміщенні більше одного світильника,

рекомендується встановлювати мінімум два вимикачі. Для довгих приміщень із кількома входами, які не є постійними проходами (кабельні галереї, тунелі тощо), керування освітленням доцільно здійснювати з усіх входів за так званою «коридорною» схемою, наведеною на рис. 16.1.

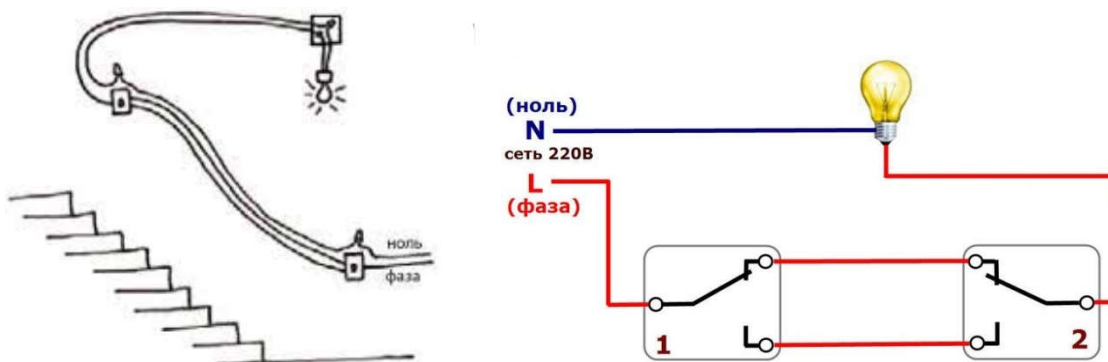


Рис. 16.1 – Коридорна схема освітлення

Апарати управління зазвичай монтуються на всіх фазних проводах, а також на обох проводах мереж постійного струму. При цьому захисні та відключальні пристрої, як правило, не встановлюються на нульових проводах, за винятком випадків, коли йдеться про нульові провідники двопровідних ліній у вибухонебезпечних приміщеннях, де це необхідно для забезпечення безпеки.

Розташування апаратів управління визначається вимогами до надійності та безпеки електропостачання і передбачає їх монтаж на вводах у таких випадках:

- у всі будівлі та споруди, якщо навантаження живляться від окремо розташованих підстанцій і споживають струм понад 20 А;
- у торговельні та комунальні приміщення, а також в інші об'єкти, що відокремлені в адміністративно-господарському відношенні;
- у пожежонебезпечні склади, де підвищені вимоги до безпеки вимагають надійного контролю і управління електропостачанням.

Правильне встановлення апаратів управління забезпечує ефективне керування електричними мережами, підвищує надійність роботи обладнання та мінімізує ризики аварійних ситуацій, таких як короткі замикання чи перевантаження. Крім того, це дозволяє оптимізувати енергоспоживання та створити умови для безпечної експлуатації електроустановок у різних типах приміщень.

16.2. Електробезпека та захист в освітлювальних установках

Електробезпека — це комплекс організаційних і технічних заходів та засобів, призначених для захисту людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму. Основна мета електробезпеки полягає у запобіганні ураженням електричним струмом при ненавмисному контакті з струмоведучими частинами електроустановок, що перебувають під напругою, а також у попередженні загорянь, які можуть виникати через витік струму, замикання на землю або короткі замикання.

Сучасні засоби захисту включають пристрої захисного відключення (ПЗВ), які автоматично відключають електроживлення у разі виникнення небезпечних струмів витoku

або короткого замикання. В Україні застосування ПЗВ є обов'язковим і регламентується низкою нормативних документів, включаючи вимоги для адміністративних, житлових та побутових приміщень.

Вибір засобів захисту значною мірою залежить від системи заземлення електричної мережі. Разом із впровадженням ПЗВ широкого поширення набули нові схеми з'єднання електроустановок із землею. Схема заземлення — це термін, що описує спосіб підключення струмоведучих проводів низьковольтної електроустановки та металевих корпусів електрообладнання до землі. Спосіб підключення проводів до землі називають режимом нейтралі.

У житлових будинках зазвичай існує три способи реалізації цього режиму. Металеві корпуси обладнання завжди під'єднані до землі будівлі, де вони встановлені, або безпосередньо, або через нульовий провід (PEN/N). На сьогоднішній день більшість електричних схем в Україні використовують схему з глухозаземленою нейтраллю, хоча за кордоном поступово від неї відмовляються на користь більш сучасних систем.

За міжнародною класифікацією система заземлення позначається двома літерами. Перша буква вказує режим роботи нейтралі джерела живлення, а друга — спосіб підключення металевих корпусів електрообладнання. Для позначень використовуються початкові літери французьких слів:

- T (terre) — заземлено;
- N (neutre) — підключено до нейтралі джерела (занулено);
- I (isolé) — ізолювано.

Відповідно, існує три основні системи заземлення мереж, які детально показані на рис. 16.2. Кожна система має свої переваги та недоліки, що впливають на безпеку, надійність і вибір захисних пристроїв для електроустановок.

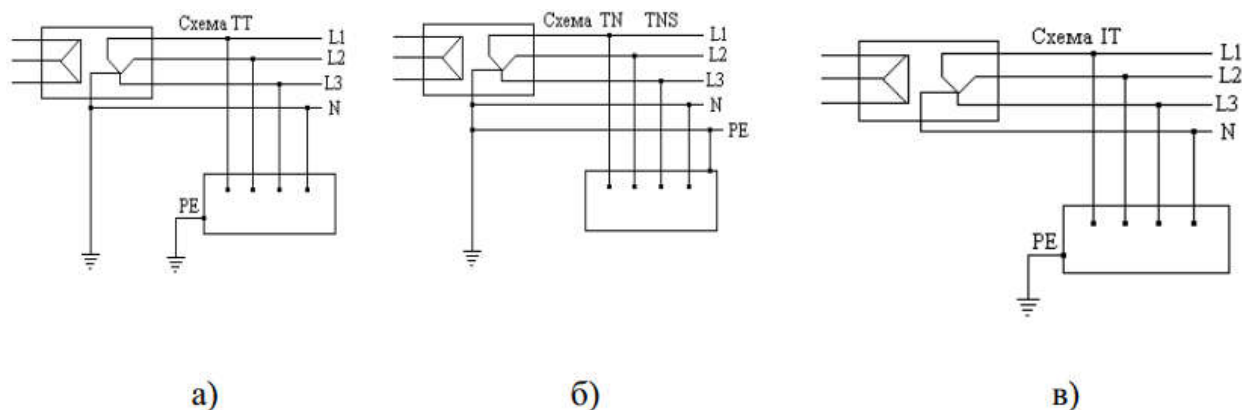


Рис. 16.2 – Системи заземлення: а) ТТ - нейтраль джерела і корпусу електроприймачів заземлені; б) TN - нейтраль джерела заземлена а корпуси електроприймачів занулені; в) IT - нейтраль джерела ізолюваний а корпуси електроприймачів заземлені

Крім базових позначень систем заземлення, застосовуються додаткові літери, які уточнюють спосіб організації захисного та робочого проводу:

- S — означає, що функція захисту виконується окремим захисним проводом (PE), який не суміщений із нульовим робочим проводом (N);
- C — позначає, що функція захисту здійснюється через спільний провід (PEN), тобто нульовий робочий та нульовий захисний провід об'єднані в один.

Приклади застосування цих позначень:

- TN-S — нульовий робочий провід (N) і нульовий захисний провід (PE) розділені, тобто виконують свої функції окремо;
- TN-C — нульовий робочий провід та нульовий захисний провід суміщені в одному проводі (PEN);
- TN-CS — комбінована система: на головних ділянках мережі нульовий провід суміщений (PEN), а на певній ділянці він розділяється на два окремих — робочий (N) і захисний (PE), що дозволяє забезпечити підвищену безпеку в розгалужених мережах.

Такий підхід дає змогу гнучко організовувати систему захисту, підбираючи оптимальний варіант залежно від типу електроустановки, протяжності мережі та вимог до електробезпеки.

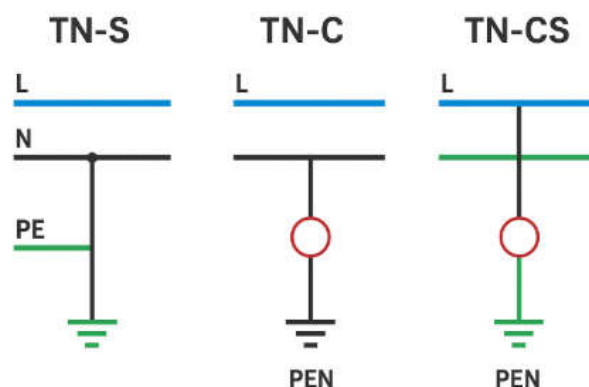


Рис. 16.3 – Схема наочної ілюстрації TN-S, TN-C та TN-CS

16.3. Заземлення в освітлювальних установках

Заземлення має на меті забезпечити безпеку людини при дотику його до металевих корпусів електрообладнання, які опинилися під напругою. У мережах із заземленою нейтраллю до 1000 В заземлення здійснюється з'єднанням металевих частин електроустановки з нульовим проводом, що при замиканні на ці частини фазного проводу створює коротке замикання і веде до відключення аварійної ділянки апаратами захисту. У мережах з ізолюваною нейтраллю і в мережах з постійним струмом заземлення здійснюється з'єднанням металевих частин з заземлювачами за допомогою заземлюючих провідників, що веде до зниження до безпечних значень величини струму, що проходить через тіло людини при дотику його до цих частин, що опинилися під напругою.

Заземлення необхідно в усіх приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також у зовнішніх установках при номінальних напругах мережі понад 42 В змінного і вище 110 В постійного струму. У вибухонебезпечних установках заземлення виконується при будь-якій напрузі в тому числі і при напрузі 12 - 36 В.

Не підлягають заземленню металеві корпуси і конструкції електроустановки в приміщеннях без підвищеної небезпеки, наприклад в приміщеннях житлових і громадських будівель з ізолюючими підлогами і нормальним середовищем. Заземлення корпусу світильника відгалуженням від нульового робочого проводу всередині світильника забороняється. Схема такого заземлення представлена на рис. 16.4.

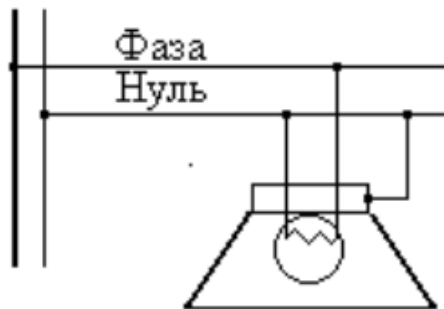


Рис. 16.4 – Схема заземлення корпусу світильника

Питання для самоперевірки

1. Пояснити принцип управління освітленням в приміщенні;
2. Електробезпека та захист в освітлювальних установках;
3. Описати процес заземлення в освітлювальних установках.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису варіантів управління освітленням в приміщенні та його захист.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Розрахунок електричної мережі за умовами мінімуму витрати провідникового матеріалу.

ТЕМА №17. МОНТАЖ СВІТИЛЬНИКІВ ТА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із класифікацією та основними характеристиками світильників і опромінювачів, особливостями їх конструкцій, світлотехнічними показниками, стробоскопічним ефектом, а також із правилами монтажу та організації освітлювальних мереж у різних приміщеннях.

Анотація

Тема присвячена класифікації світильників і опромінювачів за характером світлорозподілу, функціональним призначенням та умовами експлуатації. Розглядаються основні світлотехнічні показники, включаючи ККД та захисний кут, особливості УФ, видимих та інфрачервоних опромінювачів, а також методи усунення стробоскопічного ефекту. Окремо викладаються правила монтажу групових ліній освітлення, прокладки проводки, складання плану освітлювальної мережі та організація монтажних робіт з дотриманням нормативів безпеки, надійності та зручності експлуатації.

Keywords: luminaires, irradiators, classification, lighting performance, efficiency, protective angle, stroboscopic effect, installation of lighting networks, group lines, wiring.

План лекції

1. Класифікація та основні характеристики світильників;
2. Загальні характеристики опромінювачей;

3. Стробоскопічний ефект та способи його усунення;
4. Монтаж групових ліній освітлення з люмінесцентними лампами;
5. Складання плану освітлювальної мережі приміщень сільськогосподарських споруд;
6. Приклад монтажу проводок освітлення з врахуванням вимог чинних нормативів надійності зручності та безпечності;
7. Організація монтажу систем освітлення.

Хід проведення

- I. Організація групи
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми лекції.
- III. Викладення нового матеріалу.
- IV. Підведення підсумків.

17.1. Класифікація та основні характеристики світильників

Конструкція електричних джерел світла, така, що потік випромінювання розподіляється майже по всіх напрямках. В практиці випромінювання необхідно направляти на робочу поверхню, об'єкт. Самі лампи можуть бути уражені руйнівному впливу несприятливих факторів навколишнього середовища. Ось чому електричні джерела випромінювання використовують в сукупності з пристроєм, призначеним для їх кріплення, включення в мережу, перерозподілу потоку випромінювання, захисту від механічних пошкоджень та несприятливих факторів навколишнього середовища. Такий прилад називається світловим (світильник).

Світильник – світловий прилад, перерозподіляючий світло лампи всередині значних тілесних кутів (до 2π).

Прожектор – прилад перерозподіляючий світло лампи всередині малих кутів.

По характеру світлорозподілу світильники підрозділяються на п'ять класів, а в кожному класі на сім типів. Класи світильників визначається відносним значенням потоку Φ , випромінюючого в нижню на півсферу, по відношенню до світлового потоку $\Phi_{\text{св}}$ всього світильника.

У світильників прямого світіння (П) відносне значення потоку в нижню напівсферу $\Phi > 80\%$, у світильників переважно прямого світіння (Н) – $\Phi = 60 \dots 80\%$, світильників розсіяного світіння (Р) $\Phi = 60 \dots 40\%$, у світильників переважно відбитого світіння (В) $\Phi = 20 \dots 40\%$ та у світильників відбитого світіння (О) $\Phi < 20\%$.

За призначенням світильники розподіляють на виробничі, транспортні, для суспільних споруд, для освітлення приміщень, відкритих просторах та ін.

За умовами експлуатації світильники класифікують в залежності від способу встановлення (підвісні, поточні, настільні, настінні та інш.) та виконання.

Світильники характеризуються наступними основними світлотехнічними показниками: світло розподілення, ККД, захисним кутом).

ККД світильника – відношення світлового потоку $\Phi_{\text{св}}$ світильника до світового потоку $\sum \Phi_{\text{л}}$ всіх ламп в цьому світильнику:

$$\eta_{\text{св}} = \Phi_{\text{св}} / \sum \Phi_{\text{л}}.$$

Захисний кут світильника характеризує зону, в межах якої око спостерігача захищене від прямого випромінювання лампи. Його значення визначається кутом, що лежить в межах

горизонталі та лінією, що з'єднує крайню точку випромінюючого тіла з протилежним краєм відбивача або розсіювача, що послаблює яскравість.

17.2. Загальні характеристики опромінювачей

Опромінювальні прилади відрізняються від світильників лише функціональним призначенням при однотипних джерелах. Елементи конструкцій та основні характеристики опромінювачей ті ж, що й у світильників.

Опромінювачі, що застосовують в сільському господарстві, підрозділяються на три групи в залежності від складу випромінення; для УФ, видимого та ІЧ випромінення. Існують також комбіновані опромінювачі для комплексної дії на біологічні об'єкти випромінення.

В опромінювачах для УФ опромінення використовують ртутно-розрядні лампи низького (ДБ, ЛЕ, ЛЕР) та високого (ДРТ, ДРТЕД) тиску.

Прилади видимого випромінювання призначені для опромінення рослин. В цих опромінювачах застосовують практично всі освітлювальні розрядні лампи та розрядні спеціального призначення типу ЛФ (люмінесцентна фотосинтезна), ДРФ (дугова ртутна фотосинтезна високого тиску з гологенними добавками), ДМУ (дугова металогологенна трифазна).

В інфрачервоних опромінювачах використовують лампи розжарювання спеціальної конструкцій та темні випромінювачі типу ТЕН (трубчасті електронагрівачі), які не створюють видимого випромінення.

17.3. Стробоскопічний ефект та способи його усунення

Стробоскопічний ефект в люмінесцентних лампах визивається частими (100 раз в секунду) неловимими для бачення миганнями в такт з коливанням змінного струму в освітлювальній мережі, що може призвести до викривлення дійсної картини руху освітлювального приладу.

Стробоскопічний ефект може бути майже повністю ліквідувати парним включенням ламп, при якому одна з них вмикається крізь додатковий конденсатор великої потужності (до 2.5мкФ). За допомогою цього конденсатора між токами в лампах притухає, інша горить максимально яскраво та освітленість вирівнюється.

17.4. Монтаж групових ліній освітлення з люмінесцентними лампами

Групові щітки, від яких починається групові освітлювальні мережі, повинні розміщатися в приміщеннях, зручних для обслуговування.

Щітки керування освітленням необхідно розмістити в зоні бачення ламп, що управляються цим щитом.

ПУЕ обмежує граничний струм апаратів, що захищає групові лінії, значенням 25А, а кількість світильників з лампами розжарювання, ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, що обслуговується групою - 20 на фазу.

При живленні групою газорозрядних ламп потужністю 125 Вт і більше або ламп розжарювання потужністю 500 Вт та більше струм апаратів захисту може бути збільшений до

63А. Лампи потужністю 10 кВт та більше повинні живитися окремими лініями кожна та захищатися відповідно їх струму.

Для ліній живлення люмінесцентних ламп, допускається до 50 ламп на фазу.

Групові лінії можуть бути одно, двох, або трьохфазними. Останні обов'язкові, коли чередування фаз в лінії використовується для зменшення пульсації освітленості. Трифазні групи можуть прийняти втричі більше навантаження, та обслужити в три рази більше світильників ніж однофазні.

Частіше лампи вмикаються в мережу трифазного струму по схемі зірка, чи наприклад коли від мережі 380/220 В живляться лампи 380 В, – по схемі трикутник.

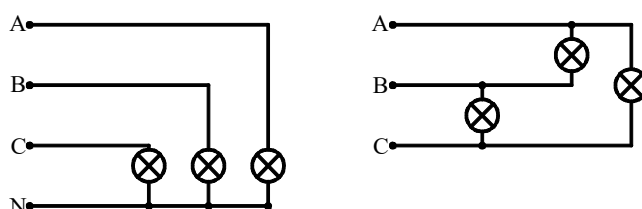


Рис. 17.1 – Схема вмикання ламп (а) зірка, (б) трикутник

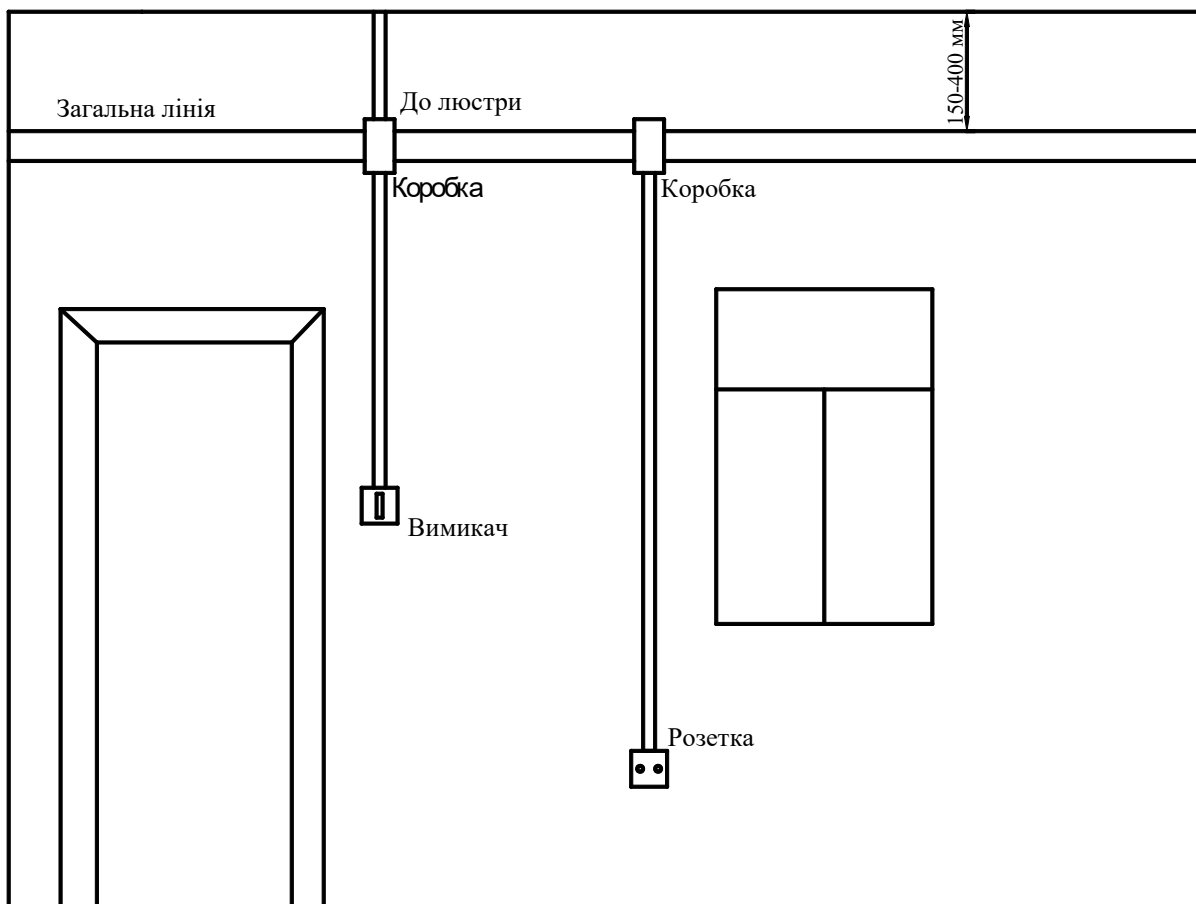
17.5. Складання плану освітлювальної мережі приміщень сільськогосподарських споруд

Електричні мережі взагалі, та особливо освітлювальні мережі, є найбільш розповсюдженим видом інженерних комунікацій, так як вони прокладаються в усіх приміщеннях. За характером та призначенню вони повинні відповідати цілому ряду вимог:

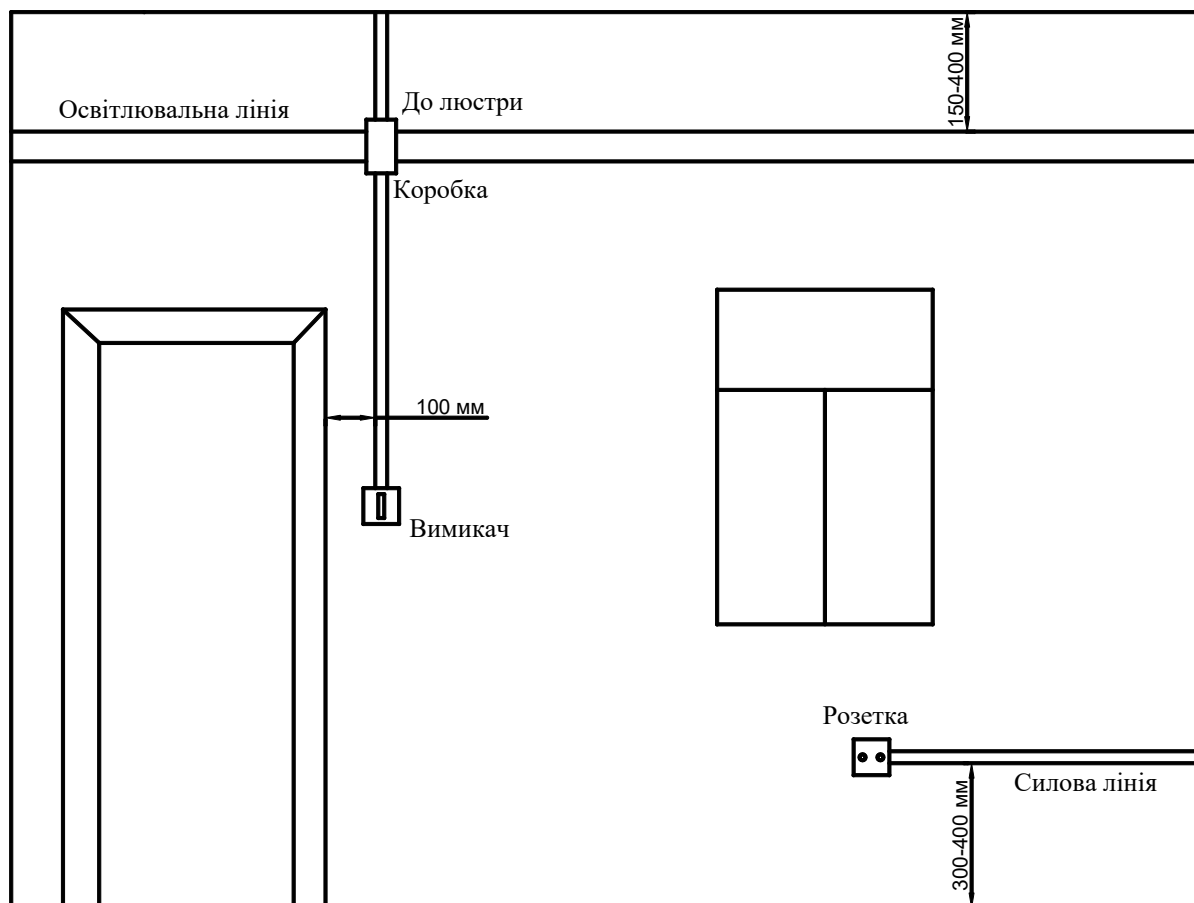
- 1) забезпечувати безперебійність та надійність живлення освітлювальних установок;
- 2) вимагати для свого виконання найменших затрат засобів та дефіцитних матеріалів (мідь та сталейних труб);
- 3) забезпечувати безпечність у відношенні пожежі, вибуху та ураженням електричним струмом;
- 4) по можливості допускати заміну пошкоджених або зношених проводів в процесі експлуатації;
- 5) по можливості бути наглядними, доступними для обслуговування та не погіршувати зовнішнього виду приміщення;
- 6) мати достатньою міцністю та стійкістю до можливим механічним впливом.

17.6. Приклад монтажу проводок освітлення з врахуванням вимог чинних нормативів надійності зручності та безпечності

При класичній прикладці в трубу підстелю штроба ведеться горизонтально на відстані 150..400мм від стелі з відгалуженнями вертикально вниз від коробок до розеток та вимикачем.



Як варіант існує спосіб прокладання проводів в якому, освітлювальну гілку прокладають під стелею, а силову прокладають над підлогою на висоті (300...400мм).



Прокладання скритої проводки на стінах повинна бути мінімізована та мати зрозумілу геометрію. Орієнтиром поворотів та відгалужень служать щітки, коробки, розетки, вимикачі, світильники. Проводка між ними повинні лежати прямими лініями, паралельними або перпендикулярними підлозі.

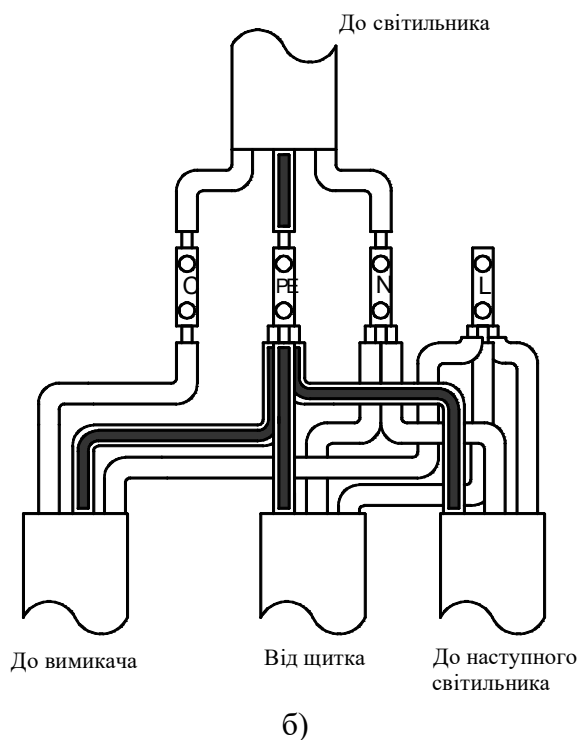
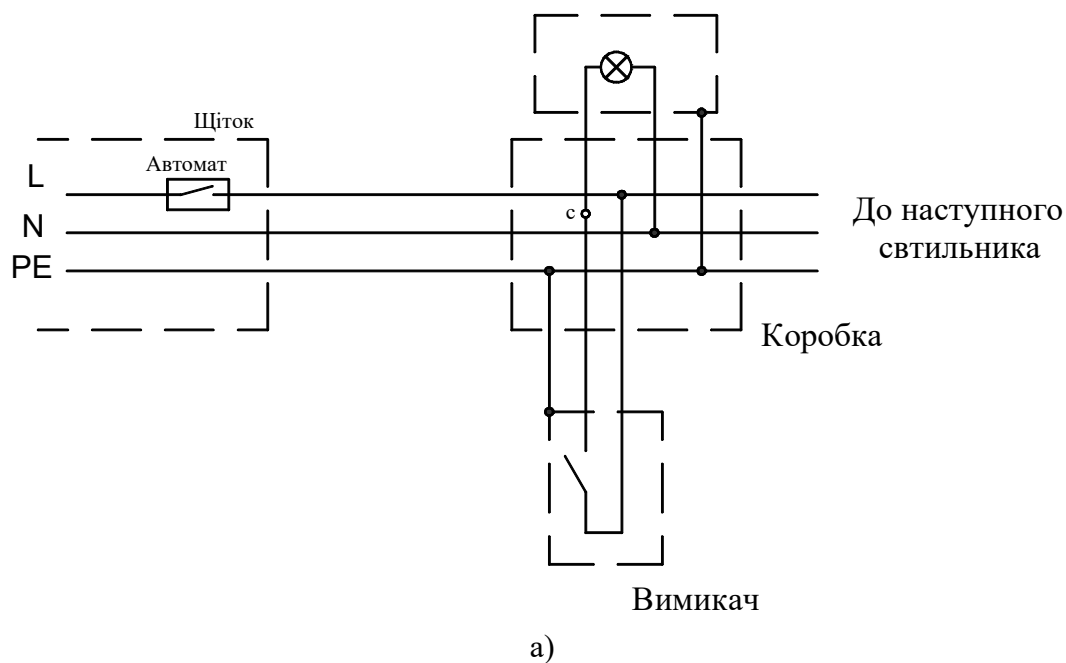


Рис. 17.2 – Найпростіша принципова схема підключення світильника: а) схематичний вид; б) вид на практиці.

17.7. Організація монтажу систем освітлення

Значна частка електромонтажних робіт пов'язана з електровстановлювальними виробами:

- з установкою вимикачів, перемикачів, штепсельних розеток, вилок, запобіжників тощо;
- з установкою освітлювальних щитків світильників, апаратів управління, приладів обліку витрати електроенергії.

Монтаж внутрішньої проводки умовно ділять на дві стадії:

- **підготовчу**, під час якої виконують розмічувальні та заготівельні роботи;
- **основну**, під час якої прокладають проводи й роблять всі необхідні з'єднання.

До підготовчих робіт належать:

- ознайомлення з робочими кресленнями проекту електроустановки та монтажними схемами;
- розмітка місць установки електроустаткування, світильників, арматури, комутаційних апаратів, електричних щитків і ліній прокладання проводів;
- виконання в будівельних основах отворів і гнізд;
- свердління проходів через стіни та інші елементи будівельних конструкцій, виготовлення борозд (штроб) для прихованої проводки;
- встановлення та закріплення електрообладнання щитків, комутуючих апаратів, освітлювальних приладів.

Розмітка є відповідальним видом підготовчих електромонтажних робіт.

Етапи розмітки:

- визначення точок закріплення світильників, вимикачів;
- розмітка траси електропроводки, починаючи від групового щитка.

Одиночні світильники розміщують в центрі стелі. Якщо світильників декілька, їх розташовують на перетині діагоналей однакових прямокутників, на які розбивають площу стелі. У деяких випадках розмітку проводять на підлозі, переносючи потім точки підвісу світильників з підлоги на стелю за допомогою схилів (нитка на кінці якої знаходиться не великий вантаж, схил застосовується для визначення перпендикулярності).

Незахищену відкриту проводку, розраховану на напругу вище 42 В, розташовують на висоті не менше 2 м в приміщеннях без підвищеної небезпеки і не менше 2,5 м у приміщеннях з підвищеною небезпекою і в особливо небезпечних. Висота прокладки захищених проводів, кабелів і проводів в трубах, металорукавах не нормується.

Вимикачі, встановлювані біля входу в приміщення (всередині або поза ним), розміщують зазвичай так, щоб їх не закривала двері що відкриваються. Ставлять вимикачі на висоті 1,5 м від підлоги.

При виконанні підготовчих робіт кріплять установчі вироби: вимикачі та перемикачі; штепсельні розетки; стельові та настінні патрони для ламп; відгалужувальні коробки для з'єднання і відгалуження проводів при прихованій електропроводці.

В освітлювальних мережах відкриту проводку найчастіше здійснюють за допомогою плоских проводів, що мають роздільну оснву. Їх кріплять до поверхонь за допомогою цвяхів. Проте у ряді випадків така проводка виявляється неприйнятною.

Питання для самоперевірки

1. Класифікація та основні характеристики світильників.
2. Загальні характеристики опромінювачей.

3. Стробоскопічний ефект та способи його усунення.
4. Монтаж групових ліній освітлення з люмінесцентними лампами.
5. Складання плану освітлювальної мережі приміщень сільськогосподарських споруд.
6. Приклад монтажу проводок освітлення з врахуванням вимог чинних нормативів надійності зручності та безпечності.
7. Організація монтажу систем освітлення.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з процесу монтаж установок для освітлення та опромінення.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Зовнішнє освітлення будівель, вулиць.

ТЕМА №18. ГРУПОВІ ОСВІТЛЮВАЛЬНІ МЕРЕЖІ ТА ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ: ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ, КОМПОНУВАННЯ ТА МОНТАЖУ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із принципами побудови, компонування та трасування групових освітлювальних мереж, видами електропроводок, їх монтажем і вибором перерізів проводів та кабелів, а також сформувати навички розрахунку і організації безпечних і ефективних освітлювальних систем у різних типах будівель.

Анотація

Тема присвячена основним принципам проектування та монтажу групових освітлювальних мереж у житлових, громадських і виробничих приміщеннях. Розглядаються трипровідні та багатопровідні лінії, правила підключення фазних, нульових робочих та захисних провідників, визначення максимальної кількості ламп на фазу, організація захисту мереж, компонування споживачів та трасування проводки. Окрема увага приділяється типам проводів, шнурів та кабелів, їх конструкції, ізоляції та перерізу, а також способам прокладки та монтажу освітлювальних приладів.

Keywords: luminaires, irradiators, classification, lighting performance, efficiency, protective angle, stroboscopic effect, installation of lighting networks, group lines, wiring.

План лекції

1. Групові мережі;
2. Компонування групових мереж;
3. Трасування групових мереж.
4. Основні відомості про дроти, шнури, кабелі.
5. Види електропроводок і області їх застосування.
6. Монтаж електропроводок і світильників.
7. Розрахунок перерізу проводів.

Хід проведення

- I. Організація групи
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми лекції.

III. Викладення нового матеріалу.

IV. Підведення підсумки.

18.1. Групові мережі

В усіх будинках і спорудах лінії групової мережі, які прокладаються від групових, поверхових і квартирних щитків до світильників загального освітлення, штепсельних розеток і однофазних стаціонарних електроприймачів, повинні виконуватися трипровідними (L-, N- і РЕ-провідники). N- і РЕ-провідники повинні мати відповідну кольорову або іншу маркировку.

Не допускається об'єднувати N-провідники, а також РЕ-провідники різних ліній групової мережі, на відміну від розподільних мереж. N- і РЕ-провідники не допускається підключати на щитках під загальний контактний затиск. При компоновці групових ліній керуються такими загальними вказівками: на кожну фазу групової лінії повинне включатися не більше 20 ламп розжарювання, ламп типу ДРЛ, МГЛ, НЛВТ, в це число включаються також штепсельні розетки.

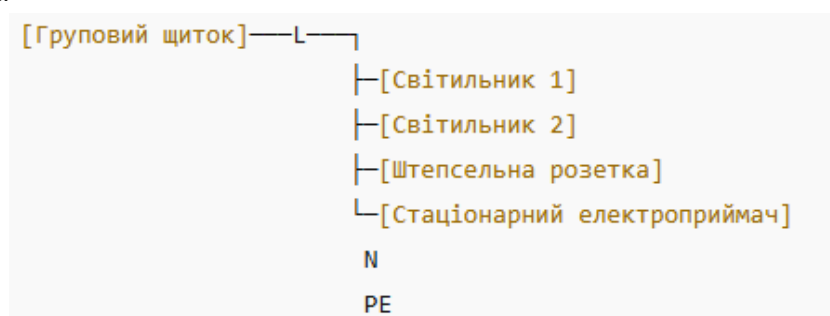
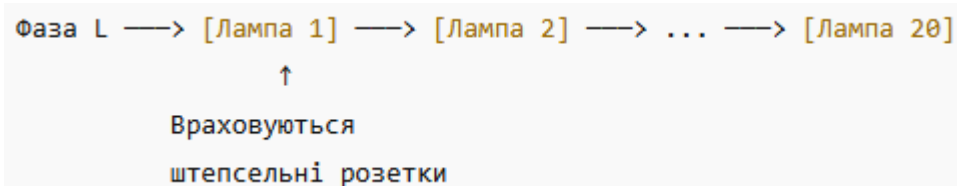


Рис. 18.1 – Структура групової лінії освітлення

У виробничих, суспільних і житлових будівлях на однофазні групи освітлення драбин, поверхових коридорів, холів, технічних поверхів і горищ допускається приєднувати до 60 ЛР кожна потужністю до 60 Вт. Для групових ліній, що живлять багатолампові люстри, число ламп будьякого типу на фазу не обмежується. У групових лініях, що живлять лампи потужністю 10 кВт і більше, кожна лампа повинна мати самостійний апарат захисту. На початку кожної групової лінії повинні бути встановлені апарати захисту на всіх фазних провідниках. Установка апаратів захисту в нульових захисних провідниках забороняється. Трифазні групові лінії використовують у великих виробничих приміщеннях, освітлюваних світильниками з РЛВД, а також при великій кількості світильників з ЛЛ. Одно- і двофазні лінії використовують при живленні невеликих виробничих і допоміжних приміщень, коридорів, драбин, невеликих суспільних будівель, а також в мережах АЕО.

У суспільних будівлях лінії групової мережі, що прокладаються від групових щитків до світильників загального освітлення, штепсельних розеток і стаціонарних електроприймачів, повинні виконуватися три провідними (фазний – L, нульовий робочий – N і нульовий захисний – РЕ провідники).



Не допускається об'єднання нульових робочих і нульових захисних провідників різних групових ліній. Нульовий робочий і нульовий захисний провідники не можна підключати на щитках під загальний контактний затиск. Вибір перерізу провідників живлячих, розподільних і групових ліній здійснюється по розрахунковому струму цих ділянок мереж. Однофазні дво- і трипровідні лінії, а також трифазні чотири- і п'ятипровідні лінії при живленні однофазних навантажень повинні мати переріз нульових робочих (N) провідників, рівний перерізу фазних провідників. Трифазні чотири- і п'ятипровідні лінії при живленні трифазних симетричних навантажень повинні мати переріз робочих (N) провідників, рівний перерізу фазних провідників, якщо фазні провідники мають переріз до 16 мм² по міді і 25 мм² по алюмінію, а при великих перерізах – не менше 50 % перерізу фазних провідників.

Переріз PEN провідників повинен бути не менше за переріз N провідників і не менше 10 мм² по міді і 16 мм² по алюмінію незалежно від перерізу фазних провідників. Переріз PE провідників повинен дорівнювати перерізу фазних при перерізі останніх до 16 мм²; 16 мм² при перерізі фазних провідників від 16 до 35 мм² і 50 % перерізу фазних провідників при великих перерізах. Переріз PE провідників, що не входять до складу кабелю, повинен бути не менше 2,5 мм² – за наявності механічного захисту і 4 мм² при його відсутності.

18.2. Компонування групових мереж

Кожна групова мережа повинна містити на фазу не більше 20 ламп розжарювання і ГЛВТ. До них належать також штепсельні розетки.

Для групових мереж, які живлять світлові карнизи, світлові стелі і тому подібне з лампами розжарювання, а також світильники з люмінесцентними лампами потужністю до 80 Вт включно, рекомендується приєднувати:

- до 60 ламп на фазу; для мереж, які живлять світильники з люмінесцентними лампами потужністю до 40 Вт включно,
- - до 75 ламп на фазу; для мереж, які живлять світильники з люмінесцентними лампами потужністю до 20 Вт включно,
- - до 100 ламп на фазу інші.

При розподілі світильників між групами слід керуватися вказаними граничними даними (проте уникаючи зайвого дроблення груп) і топографічними ознаками, тобто відносним розташуванням приміщень. Переважне виділення на окремі групи освітлення проходів і сходових кліток.

Допускається приєднання штепсельних розеток до групових ліній, що живлять світильники, в яких здійснюється управління освітленням місцевими вимикачами. При великому числі розеток рекомендується живлення їх окремими груповими лініями, якщо це не пов'язано з істотним збільшенням протяжності мережі. Управління евакуаційним і аварійним освітленням повинне передбачатися з щитків при мінімальному числі останніх.

Додаткові вимикачі слід передбачати також для аварійного і евакуаційного освітлення окремих непрохідних приміщень, в яких люди не знаходяться постійно (гардероби, конференц-зали і т. п.).

Світильники у входів в будівлі слід приєднувати до групової мережі внутрішнього освітлення, переважно до мережі аварійного освітлення. Для групових мереж, які живлять багатолампові люстри, кількість ламп будь-якого типу не обмежується. Розподіл навантаження між фазами мережі освітлення суспільних будинків і споруд, адміністративних і побутових будинків підприємств має бути рівномірним. Різниця в струмах найбільш і найменш навантажених фаз в межах одного щитка і 15 % – на початку ліній живлення, не повинна перевищувати 30%. На всіх об'єктах цивільного призначення слід застосовувати кабелі і проводи з мідними жилами. Мережі живлення і розподільні мережі, якщо їх розрахунковий перетин дорівнює 16 мм^2 і більше, як правило, виконуються кабелем і дротами з алюмінієвими жилами.

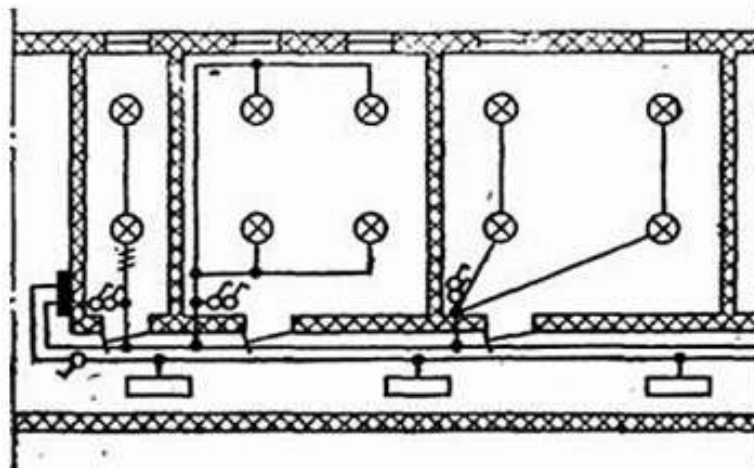


Рис. 18.3 – Схема компонентування групових мереж

18.3. Трасування групових мереж

Приклад трасування групових ліній при прихованій і відкритій прокладці електропроводки показаний на рисунку 1. Бажано обмежувати число проходів дротів крізь стіни, число відгалужуваних коробок і число обходів будівельних елементів.

У приміщеннях із фермами найдоцільніше прокладати лінії групової мережі впоперек ферм, у вигляді перекидань між ними. У пожежонебезпечних складах, що замикаються, забороняється транзитна прокладка ліній, що не відносяться до приймачів. Лінії повинні прокладатися по якомога коротших трасах, при відкритому проведенні — паралельно до стін приміщення, при прихованому, якщо це можливо, — за найкоротшим напрямом. Бажано поєднувати траси ліній, що йдуть в одному напрямі, навіть якщо це декілька подовжує протяжність ліній. Якщо це можливо, варто прокладати лінії по стінах, а не по стелях, лінії ж, відкрито прокладені по стелі, необхідно прокладати перпендикулярно до стіни з вікнами.

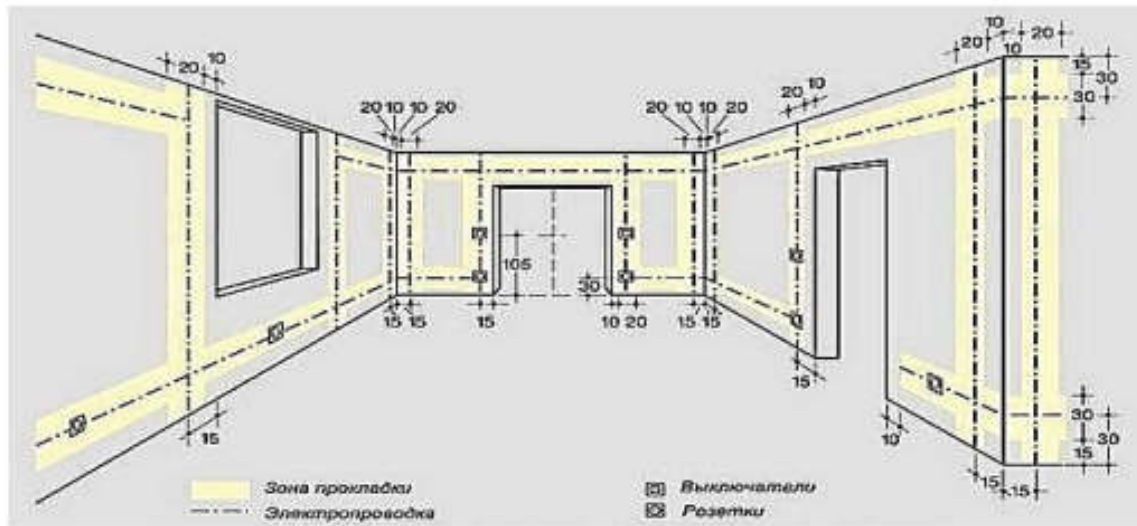


Рис. 18.4 – Приклад прокладання мережі

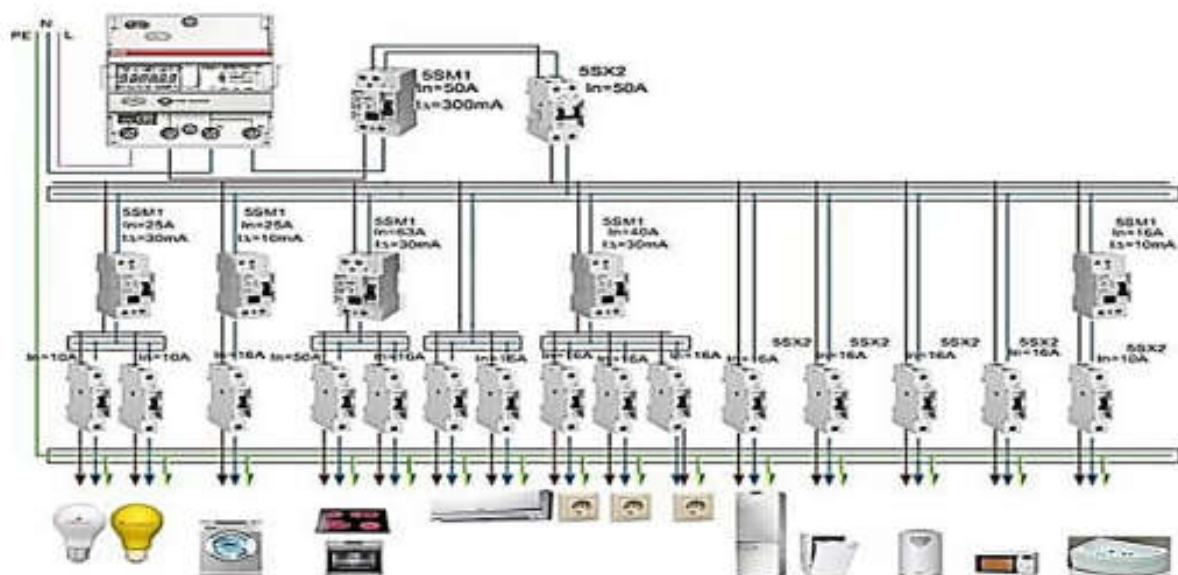


Рис. 18.5 – Розбиття споживачів на групи

18.4. Основні відомості про дроти, шнури, кабелі

Проводом називається провідник електроенергії, призначений для її передачі. Провід може бути голим, голим захищеним, ізольованим незахищеним і ізольованим захищеним.

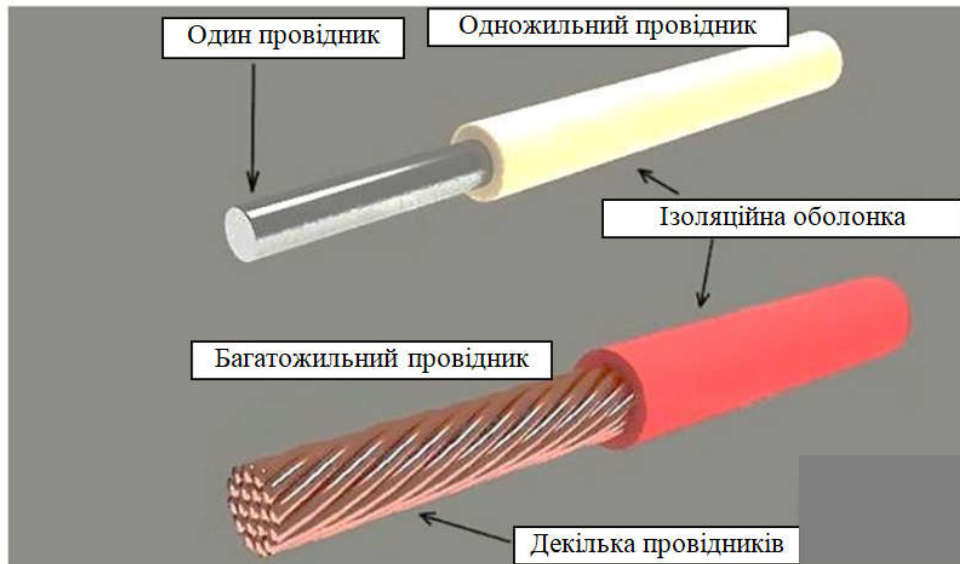


Рис. 18.6 – Загальний вигляд проводів

Голий провід не має ні ізолюючих, ні захисних оболонок. Голий захищений провід має оболонку (обмотка, оплітка, шар емалі і т.п.), що оберігає провідник від корозії. Провідник ізолюваного незахищеного проводу укладений в ізолюючу оболонку (гумову, пластмасову і т.п.), але не має оболонки, що захищає від пошкоджень механічними діями. Ізолювані захищені проводи мають зовнішню оболонку (металеву, гумову і т.п.), що захищає від механічних дій, а також від дій вологи, світла, різних хімічних речовин. Ізолювані проводи на відміну від неізолюваних можуть бути не тільки одножильними, але і багатожильними, тобто можуть складатися з декількох ізолюваних один від одного провідників, укладених в загальну захисну оболонку. Шнуром називається провідник, що складається з двох і більш скручених між собою ізолюваних дротів, що володіють значною гнучкістю, або з декількох ізолюваних гнучких проводів, укладених в загальну оболонку. Кабелем називається провідник, що складається з однієї або декількох скручених разом ізолюваних жил, укладених в герметичну оболонку (алюмінієву, свинцеву і т.д.), поверх якої можуть бути нанесені захисні покриття. Основними конструктивними елементами проводів, шнурів і кабелів є: струмопровідна жила, ізоляція, оболонка і зовнішні захисні покриття.

Струмопровідні жили виконують переважно з міді, алюмінію або алюмоміді і нормують за їх перерізом. Жили з алюмінію перерізом від 2,5 до 16 мм² включно виготовляються одноструминими, а великих перерізів – одно- або багаструминими (скрученими з окремих дротів). Мідні струмопровідні жили залежно від експлуатаційних вимог до провідників виготовляють нормальними, гнучкими або особливо гнучкими. Гнучкі і особливо гнучкі жили будь-яких перерізів виготовляють багаструминими. Залежно від призначення для ізоляції жив кабелів, проводів і шнурів можуть застосовуватися різні сорти кабельного паперу, гуми і пластмаси. Кабельний папір застосовується для ізоляції жив силових і контрольних кабелів. Паперова стрічка накладається методом обмотки на струмоведучу жилу і просочується у вакуумі нафтовим або синтетичним маслом. Ізоляційні гуми виготовляють на основі натурального і синтетичного каучуків. Характерною особливістю такої ізоляції є гнучкість і еластичність. Вулканізована гума накладається суцільним шаром на струмоведучі жили дротів, кабелів і шнурів. Велике поширення набула ізоляція з поліхлорвінілового пластикату, що являє собою суміш поліхлорвінілової смоли з різними пластифікаторами, стабілізаторами і фарбниками. До достоїнств пластикату відноситься його негорючість, волого- і маслостійкість, достатня гнучкість і еластичність.

Суцільна пластмасова ізоляція застосовується в силових кабелях, проводах і шнурах. Для захисту ізоляції від дії світла, вологи, хімічних речовин, а також для оберігання від механічних дій більшість дротів, кабелів і шнурів забезпечуються оболонками.

Металеві оболонки є самими герметичними. Найчастіше їх виготовляють з свинцю і алюмінію. У порівнянні з свинцевими оболонками алюмінієві механічно більш міцні, мають меншу вагу і краще протистоять вібраціям. Свинцеві оболонки володіють більшою механічною стійкістю. Дроти і кабелі з гумовою і пластмасовою ізоляцією забезпечуються оболонками з гуми або пластмаси. З метою захисту оболонок від механічних пошкоджень і корозії застосовуються захисні покриття: броня і зовнішній покрив. Броня виконується із сталевих стрічок або дроту, які обмотуються навколо кабелю і надійно захищають його від механічних пошкоджень. Крім приведених в таблиці основних марок проводів і кабелів, в освітлювальних мережах залежно від умов середовища, прийнятих способів виконання мереж застосовуються і інша кабельна і провідникова продукція, інформацію про яку можна знайти в довідниках.

18.5. Види електропроводок і області їх застосування

Електропроводкою називають сукупність проводів і кабелів з кріпленнями, підтримуючими і захисними конструкціями, що до них відносяться.

Залежно від місця прокладки і умов експлуатації освітлювальні електропроводки можуть бути внутрішніми й зовнішніми. Внутрішніми називають проводки, що прокладаються у закритих опалювальних і неопалювальних будівлях і спорудах, не схильні до дії атмосферних опадів і безпосередньої дії температури зовнішнього повітря. До зовнішніх відносяться проводки, що прокладаються по зовнішніх стінах будівель і споруд і між ними, а також під навісами. Ці проводки можуть піддаватися дії опадів і працюють в умовах температури зовнішнього повітря, що змінюється.

За методом виконання проводки усередині приміщень діляться на відкриті й приховані. До відкритих відносяться проводки виконані по поверхнях стін, стель, по фермах та інших конструкціях. До прихованих відносяться проводки, що прокладаються в конструктивних елементах будівель (у стінах, підлогах, перекриттях), а також в порожнинах над непрохідними підвісними стелями і в землі. Розрізняють змінювані й незмінні приховані проводки. До змінюваних відносяться електропроводки, виконані таким чином, що в процесі експлуатації дроти можуть бути замінені без руйнування будівельних конструкцій. До проводок такого типу належать проводки проводами в різного роду трубах, в каналах і пустотах будівельних конструкцій, з яких при необхідності проводи можуть бути витягнуті й затягнуті знов. Проводки, виконані проводами, наглухо закладеними в тілі будівельних конструкцій (під шаром штукатурки, по перекриттях в конструкції підлог), називаються незмінними. Способи виконання проводок визначаються з урахуванням наступних чинників: умов середовища в приміщенні, призначення приміщення, особливостей будівельних конструкцій і технології, зручності експлуатації, економіки. Слід враховувати, що терміни виконання електромонтажних робіт багато в чому залежать від прийнятого способу проводки. У всіх випадках повинні дотримуватися вимоги пожежної і електробезпеки.

Таблиця 18.1 – Марки дротів і кабелів, що рекомендуються для ОУ

Марка	Характеристика	Переважна сфера використання	Кількість жил	S, мм ²
1	2	3	4	5
ПВ-1	З мідною жилою із ПВХ-ізоляцією	Прокладка в пустотних каналах будівельних конструкцій, що не згорають	1	0,5 - 95
ПВ-2	Те саме, гнучкий	Приєднання ОП, встановлю-них на рухомих кронштейнах	1	2 – 95
АПВ	З алюмінієвою жилою, із ПВХ-ізоляцією	Прокладка в трубах і пустотних каналах будівельних конструкцій, що не згорають	1	2 – 120
ППВ	З мідними жилами, плоский з розділовою підставою, (ПХВ)	Відкрита проводка по будівельних конструкціях	2; 3	0,75-4
АППВ	Те саме, з алюмінієвими жилами	Відкрита проводка по будівельних конструкціях	2; 3	2 -6
АМПВ	З алюмомідною жилою, із ПВХ-ізоляцією	Прокладка в трубах і пустотних каналах	1	1-10
АМППВ	Те саме, плоский	Нерухома відкрита прокладка	2; 3	1,5 -6
ПРТО	З мідною жилою, в оплітці, просочений протигнилоостним складом	Прокладка в трубах, що не згорають	1,2,3,7, 10	0,75 – 120
АПРТО	Те саме, з алюмінієвою жилою	Прокладка в трубах, що не згорають	Те ж	2,5 - 120
ВВГ	Кабель з мідними жилами з ПВХ ізоляцією, в ПВХ оболонці, неброньований	Для відкритої прокладки у виробничих приміщеннях, а також у землі (траншеях)	1,2,3,4	1,5 - 50
АВВГ	Те саме, з алюмінієвими жилами	Те ж саме	1,2,3,4	2,5 - 50
ВБВ	Те саме, з мідними жилами з ПВХ ізол., броньований із зовнішнім покритвом з ПВХ.	Для відкритої нерухокої прокладки; на трасах з великою різницею рівнів	2,3,4	1,5 - 95
АВБВ	Те саме, з алюмінієвими жилами	Те саме	2,3,4	2,5 - 120

Вибір роду проводки і способу її виконання рекомендується проводити в наступній послідовності. Залежно від умов середовища в приміщенні вибираються допустимі марки проводів і способи їх прокладки. З них відбираються ті, перевага яких визначається вимогами технології, гігієни і естетики. І, нарешті, з видів проводки, що залишилися, вибирається найменш трудомістка і економічно доцільна.

У будівлях промислових підприємств переважне розповсюдження мають відкриті способи прокладки.

Прихована прокладка проводів найбільше відповідає архітектурним і гігієнічним вимогам. Така проводка не видна, на ній не збирається пил, Тому прихована проводка

знаходить переважне вживання в суспільних і адміністративних будівлях, в житлових будинках і деяких промислових підприємствах з підвищеними вимогами до чистоти.

При виконанні прихованої проводки безумовна перевага повинна віддаватися змінюваним проводкам.

18.6. Монтаж електропроводок і світильників

При монтажі освітлювальних установок використовують як комплектні низьковольтні пристрої (трансформаторні підстанції, розподільні й групові щитки, ящики із знижувальними трансформаторами і апаратами захисту і т.п.), так і різноманітні монтажні вироби заводського виготовлення. Монтажні вироби, що випускаються промисловістю, можна за умов їх вживання в освітлювальних установках умовно розбити на наступні категорії:

- вироби для прокладки мереж;
- вироби для установки світильників;
- вироби для з'єднання і окінцьовування проводів;
- кріпильні вироби.

Вироби для прокладки мереж є набором уніфікованих вузлів, конструкцій і окремих деталей, що служать для виконання різного роду проводок. Сюди відносяться конструкції з ізоляторами, деталі тросових проводок, короби, лотки, відгалужувальні коробки та ін. Вироби для установки світильників. До них відносяться крюки, шпильки, кронштейни, підвіси і стояки, за допомогою яких здійснюється кріплення світильників до будівельних елементів будівель. Залежно від конструкції світильника, вимог до жорсткості його установки і способу прокладки мережі кріплення може виконуватися одним з наступних способів:

- підвішуванням на гак;
- нагвинченням на трубу;
- установкою на площині за допомогою гвинтів або шпильок.

Випускається серія металевих крюків і шпильок для кріплення світильників вагою до 10 кг до залізобетонних плит перекриття. Крюки і шпильки встановлюють у період будівельних робіт в наскрізні отвори, просвердлені в плитах, і закріплюються в них за допомогою пересувних планок, що дозволяє застосовувати ці вироби в плитах різної товщини. При необхідності декоративного оформлення отворів у стелі і розміщення люстрових затисків для з'єднання дротів мережі із зарядними дротами світильника на крюках можуть закріплюватися стельові розетки. За допомогою крюків і шпильок проводиться кріплення світильників, як правило, в житлових, адміністративних, конторських приміщеннях. Для установки світильників на стінах, колонах, фермах і перекриттях у виробничих приміщеннях служать кронштейни, підвіси і стояки. Ці вироби забезпечуються сполучними металевими коробками, забезпеченими патрубком з трубним різьбленням s^* .

У коробці здійснюється з'єднання проводів мережі із зарядними проводами світильника, а на патрубок нагвинчується або підвішується світильник. Нагвинчення є найнадійнішим і зручнішим кріпленням світильників на кронштейнах, підвісах і стояках. Підвіска здійснюється в тих випадках, коли конструкція світильника не передбачає іншої можливості кріплення. Підвіси випускають різної довжини – від 0,6 до 2,5 м, вільоти кронштейнів також можуть бути різними. Кріплення цих виробів до стін, балок і ферм здійснюється за допомогою спеціальних закріплень, яка також виготовляються заводами.

У виробничих приміщеннях застосовується також кріплення світильників на тросі або тросовому дроті, установка світильників на короби, фермі або шинопроводі.

При виконанні групової мережі проводами з несучим тросом світильники масою до 5 кг кріпляться за допомогою відгалужувальних тросових коробок У230 і У231, а при виконанні тросових мереж кабелем з використанням відгалужувальних коробок КОРИ-73 або У409 кріплення світильників масою до 15 кг виконують на підвісах К354. Установка люмінесцентних світильників в лінію здійснюється за допомогою монтажних коробів КЛ-1 і КЛ-2. У коробі закріплюються утримувачі світильників, які можуть переміщуватися уздовж корпусу. В місцях розривів між світильниками щілини в коробі закривають кришками. Заломлені всередину краї короба утворюють два канали, в яких прокладають дроти, що живлять світильники. Проводи робочого і аварійного освітлення прокладаються в різних каналах одного короба. Для кріплення коробів передбачений набір різних кріпильних деталей: підвіси, кронштейни, скоби. Для установки світильників на світлотехнічних містках застосовують поворотні кронштейни, за допомогою яких здійснюється поворот світильника в положення для обслуговування. Для забезпечення швидкого знімання світильників для чищення або ремонту приєднання світильників до мережі рекомендується проводити за допомогою штепсельних з'єднань Електронастановні вироби (розетки, вимикачі) для відкритої установки вмонтовують на дерев'яних або пластмасових поїдрозетниках, а для прихованої установки – в універсальних монтажних коробках.

Штепсельні розетки встановлюються:

- у виробничих приміщеннях на висоті 0,8 – 1,0 м, при підведенні живлення зверху допускається установка на висоті 1,5 м;
- у суспільних і житлових будівлях залежно від оформлення інтер'єру, але не вище 1 м, допускається їх установка в спеціально пристосованих для цього плінтусах;
- у школах, дитячих установах та інших приміщеннях для дітей – на висоті 1,8м.

Вимикачі для світильників загального освітлення встановлюють на висоті від 0,8 до 1,7 м від підлоги, а в школах, дитячих установах та інших приміщеннях для перебування дітей – на висоті 1,8 м.

Допускається установка вимикачів під стелею з керуванням за допомогою шнура. Вимикачі, встановлювані в приміщенні поблизу дверей, рекомендується розміщувати з боку дверної ручки.

Монтаж освітлювальної установки має свої особливості, оскільки монтажні роботи часто суміщені з будівельними або ведуться безпосередньо в діючих приміщеннях, тобто в обмежених умовах. Безпека роботи в цих умовах залежить в першу чергу від дотримання технології монтажу, визначеної в проекті виконання монтажних робіт, правильною організацією праці і безумовним виконанням всіх вимог охорони праці, зокрема специфічних для даного вигляду робіт.

18.7. Розрахунок перерізу проводів

Площа поперечного перерізу струмопровідних жил проводів і кабелів визначають, виходячи з двох основних умов: тривалого допустимого струму навантаження (інакше по нагріву) проводів і допустимої втрати напруги. Розрахунок за звичай виконують по одній із умов, а по другій – перевіряють.

Переріз провідників внутрішніх освітлювальних мереж у виробничих приміщеннях сільськогосподарських підприємств згідно ПУЭ:2007 та (НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) розраховують за допустимою втратою напруги, а потім перевіряють за умовою нагріву. Згідно названих документів, для внутрішніх освітлювальних мереж, при номінальній напрузі на ввіді, допустима втрата напруги дорівнює **2,5%**. Крім того, площі поперечного перерізу провідників повинні забезпечувати механічну міцність і бути узгоджені з уставками захисних апаратів.

При виборі перерізу проводів і кабелів за допустимою втратою напруги повинна бути витримана умова:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} \leq \Delta U_{\% \text{доп}}$$

де $\Delta U_{\% \text{розр}}$, $\Delta U_{\% \text{доп}}$ – відповідно, розрахункова та допустима втрати напруги, %.

Розрахункові втрати напруги $\Delta U_{\% \text{розр}}$ визначають за умовою, що навантаження по фазам розподілені рівномірно і на всіх ділянках прокладено однаковий провід:

- для лінії:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} = \frac{\sum P_i l_i}{c S_i} = \frac{\sum M_i}{c S_i}$$

- для однієї ділянки:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} = \frac{P_i l_i}{c S_i} = \frac{M_i}{c S_i}$$

де P_i – потужність i -ої розрахункової ділянки, кВт; l_i – довжина i -ої розрахункової ділянки, м; M_i – електричний момент навантаження i -ої розрахункової ділянки, кВт·м; c – постійний коефіцієнт для даного провідника, який залежить від напруги мережі, кількості фаз та матеріалу провідника; S_i – переріз провідника i -ої розрахункової ділянки, мм².

Починають розрахунок перерізу проводів із складанням розрахункової схеми освітлювальної мережі.

Площа поперечного перерізу проводів на кожній ділянці визначається за формулою:

$$S_i = \frac{M_i}{c \Delta U_{\% \text{доп}}}$$

Площа поперечного перерізу живлячої мережі на ділянці від розподільного пристрою до групового щитка визначається за виразом:

$$S_{\text{жсм}} = \frac{M_{\text{жсм}} + \alpha \cdot (\sum M_i)}{c \cdot \Delta U_{\% \text{доп}}}$$

де α – коефіцієнт, що враховує зміну числа проводів на відгалуженнях; $M_{\text{жсм}}$ – електричний момент навантаження живлячої мережі на ділянці від розподільного пристрою до групового щитка, кВт·м.

Таблиця 18.2 - Значення коефіцієнта α при розрахунках перерізу проводів

Лінія	Відгалуження	α
Трифазна з нульовим робочим провідником	Однофазне	1,85

Трифазна з нульовим робочим провідником	Двофазна з нульовим робочим провідником	1,39
Двофазна з нульовим робочим провідником	Однофазне	1,33
Трифазна без нульового робочого провідника	Двох провідне	1,15

Отримане в результаті розрахунку значення перерізу провідника округляють до найближчого найбільшого стандартного значення (табл. 18.3, 18.4) та визначають фактичну втрату напруги для обраного провідника за формулами (розрахунку втрати напруги $\Delta U\%$ розр).

Таблиця 18.3 - Тривало допустимі сили струму для проводів і шнурів з гумовою і поліхлорвініловою ізоляцією з мідними та алюмінієвими жилами

Переріз струмопро- відникової жили, мм ²	Струмові навантаження на провід, А					
	Прокладе- них від- крито	Прокладених в одній трубі				
		два одно- жильних	три одно- жильних	чотири одножильних	один дву- жильний	один три- жильний
3 мідними жилами						
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1,0	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
3 алюмінієвими жилами						
2,5	24	20	19	19	19	16
4	32	28	27	23	25	21
6	39	36	32	30	31	26
10	55	50	47	39	42	38
16	80	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65

Крім того, обраний стандартний переріз провідників слід перевіряти на механічну міцність, тобто на мінімально допустимий переріз провідника в залежності від виду, способу прокладки та матеріалу провідника (табл. 20.5). Якщо розрахунковий переріз буде менш допустимого, то треба обрати рекомендований переріз та перерахувати фактичну втрату напруги.

Таблиця 18.4 - Тривало допустимі сили струму для проводів з мідними жилами з гумовою ізоляцією у металевих захисних оболонках, кабелів з мідними жилами з гумовою ізоляцією у

свинцевій, поліхлорвініловій, найритовій або гумовій оболонках, броньованих і неброньованих та кабелів з алюмінієвими жилами і гумовою або пластмасовою ізоляцією у свинцевій, поліхлорвініловій та гумовій оболонках, броньованих і неброньованих

Переріз струмопро- відної жили, мм ²	Струмові навантаження на кабель, А				
	Одножильні прокладені відкрито	Двожильні		Трижильні	
		прокладе- них в повітрі	прокладе- них в землі	прокладе- них в по- вітрі	прокладе- них в землі
З мідними жилами					
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
З алюмінієвими жилами					
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	39
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115

Таблиця 18.5 - Допустимі мінімальні перерізи провідників для різних видів і способів провідки

Назва провідки	Допустимий переріз провідника, мм ²	
	мідного	алюмінієвого
1. Ввід в виробниче приміщення	4,0	4,0
2. Ввід в жиле приміщення	4,0	4,0
3. Внутрішня провідка:		
а) скрита, на роликах, на скобах, тросова	1,5	2,5
б) на ізоляторах з прольотом не менше двох метрів	2,5	4,0
4. Зовнішня провідка по конструкціям	2,5	4,0
5. Зарядка світильників	0,5	-
6. Голі провідники:		
а) в приміщеннях	2,5	4,0
б) повітряні лінії	6,0	16,0

Отриманий переріз проводів на ділянках перевіряють за умовою нагріву, за тривало допустимим струмом:

$$I_{тр. доп.} \geq I_{розрах},$$

де $I_{тр. доп.}$ - тривало допустима сила струму для проводів, А; $I_{розрах}$ - розрахункова сила струму, А.

Розрахункову силу струму визначають за формулами:

- для однофазної мережі:

$$I_{PO3P} = \frac{P_{PO3P}}{U_H \cdot \cos \varphi}$$

- для трифазної мережі:

$$I_{PO3P} = \frac{P_{PO3P}}{3U_H \cdot \cos \varphi}$$

де P_{PO3P} - розрахункова потужність навантаження, Вт; U_H - номінальна напруга ламп, В; $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності ламп.

При визначенні робочих струмів ділянок мережі з газорозрядними лампами і пристроями групової компенсації необхідно враховувати, що від джерела енергії до точки вмикання конденсаторних батарей мережа має коефіцієнт потужності не менш, ніж 0,9, а від вказаної точки до джерел світла та випромінювання – біля 0,6.

Узгодження тривало допустимого струму обраного провідника, який визначається маркою проводу, площею поперечного перерізу його жил, способу прокладки, з уставками захисних апаратів здійснюється за умовами, наведеними у табл. 18.6. Тривало допустимий струм $I_{тр.доп.}$ вибирають по табл. 18.3, 18.4.

Таблиця 18.6 - Нормовані співвідношення між тривало допустимим струмом провідників і номінальними струмами плавких вставок запобіжників і розчіплювачів автоматичних вимикачів

Провідники	Характеристика приміщення	Нормоване відношення для апаратів захисту			
		Плавкі запобіжники	Автоматичні вимикачі із зворотною залежною від струму характеристикою		Автоматичні вимикачі, які мають тільки електромагнітний розчіплювач
			нерегулюючий розчіплювач	регулюючий розчіплювач	
Мережі, які захищаються від струмів короткого замикання					
Провідники всіх типів	Всі приміщення	> 0,33	> 1,0	> 0,66	> 0,22
Мережі, які захищаються від перевантажень					
Відкрито прокладені ізольовані провідники з горючою оболочкою	Виробничі не вибухонебезпечні приміщення	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0
	Всі інші приміщення	> 1,25	> 1,0	> 1,0	> 1,25

Захищені провідники, кабелі з резиновою і пластмасовою ізоляцією, провідники в трубах	Виробничі пожежонебезпечні приміщення	> 1,0	> 1,0	> 1,0	> 1,0
	Приміщення торгіві, службово-побутові, громадські та жилі приміщення, вибухонебезпечні установки	> 1,25	> 1,0	> 1,0	> 1,25
Кабелі з паперовою ізоляцією	Приміщення: пожежонебезпечні, торгіві, службово-побутові, громадські та жилі приміщення, вибухонебезпечні установки	> 1,0	> 1,0	> 0,8	> 1,0

Питання для самоперевірки

1. Пояснити основні відомості про дроти, шнури, кабелі.
2. Види електропроводок і області їх застосування.
3. Монтаж електропроводок і світильників.
4. Розрахунок перерізу проводів.
5. Пояснити принцип побудови групових мереж;
6. Компонування групових мереж;
7. Трасування групових мереж.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з процесу монтаж установок для освітлення та опромінення.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Вибір типу щита, апаратури керування та захисту мереж від коротких замикань та перевантажень.
3. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Розподільні та групові освітлювальні щитки.

ТЕМА №19. ВИКОРИСТАННЯ УСТАНОВОК ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти із фізичними основами, принципом дії, конструктивними особливостями та галузями застосування ультрафіолетового (УФ) і інфрачервоного (ІЧ) випромінювання в аграрному виробництві. Сформувати розуміння переваг використання випромінювань у процесах знезараження, сушіння, стимуляції росту рослин та дезінфекції тваринницьких об'єктів.

Анотація

В темі розглянуто фізичні властивості ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, їх вплив на біологічні об'єкти та можливості використання у сучасному сільському господарстві. Наведено приклади застосування УФ-випромінювання для знезараження води, повітря, насіння, кормів і продуктів тваринництва, а також ІЧ-випромінювання — для сушіння, пастеризації, дезінсекції та термічної стерилізації. Описано конструкції та принцип роботи установок, зокрема термокамери. Показано переваги фізичних методів обробки порівняно з традиційними хімічними способами, а також їх енергоефективність та екологічну безпечність.

Keywords: ultraviolet radiation, infrared radiation, decontamination, sterilization, disinfection, agrotechnology, energy efficiency, thermal chamber, irradiation unit.

План лекції

1. Використання ультрафіолетового опромінення
2. Використання інфрачервоного випромінювання

Хід проведення

- I. Організація групи
- II. Мотивація навчальної діяльності. Оголошення теми лекції.
- III. Викладення нового матеріалу.
- IV. Підведення підсумків.

19.1. Використання ультрафіолетового опромінення

Окрім наведених прикладів використання ультрафіолетового (УФ) випромінювання у тваринництві та птахівництві, цей метод застосовується як технологічний прийом більш ніж у двадцяти різних процесах сучасного сільськогосподарського виробництва.

Системи водопостачання для сільських населених пунктів і ферм зазвичай базуються на використанні відкритих водойм (річок, водосховищ), а також колодязів шахтного чи артезіанського типу. Згідно з державними стандартами, в одному літрі води з джерел питного водопостачання може міститися до 10^3 мікроорганізмів, тому перед подачею у водопровідну мережу вода обов'язково повинна пройти очищення та знезараження.

Прозора вода, вільна від зважених частинок і колоїдних домішок, добре пропускає короткохвильове УФ випромінювання, яке має потужну бактерицидну дію. Властивість випромінювання з довжиною хвилі менше ніж 280 нм знищувати бактерії покладено в основу технології знезараження води за допомогою УФ випромінювання.

Порівняно з традиційним хлоруванням, УФ знезараження має низку переваг: не змінює природний склад, смакові та хімічні властивості води, ефективно знищує всі види бактерій, а також вирізняється простотою експлуатації обладнання. Вартість такої обробки у 2–3 рази нижча за хлорування, а енергоспоживання становить $10\text{--}15 \text{ Вт}\cdot\text{год}\cdot\text{м}^{-3}$ для підземних джерел і близько $30 \text{ Вт}\cdot\text{год}\cdot\text{м}^{-3}$ для відкритих водойм після попереднього фільтрування. У таких установках використовують бактерицидні лампи типу ДБ та ртутно-кварцові лампи високого тиску ДРТ-1000.

Розрізняють два основні типи установок для УФ знезараження води — з зануреними та незануреними джерелами випромінювання.

Установка з незануреними лампами являє собою систему кількох лотків, над якими в параболічних відбивачах розташовані бактерицидні лампи типу ДБ-60. Вода надходить у лотки самопливом через перфоровану перегородку, де утворюються завихрення, що сприяють її перемішуванню. Рухаючись по лотку, вода піддається інтенсивному опроміненню й знезараженню. Над перегородкою створюється тонкий шар води, який проходить зону максимальної дії випромінювання. Після проходження одного лотка вода потрапляє до наступного, де процес повторюється. Такі установки мають невелику потужність, призначені для малих обсягів води і працюють без створення напору. Схематичне зображення установки з незануреними джерелами наведено на рис. 19.1.

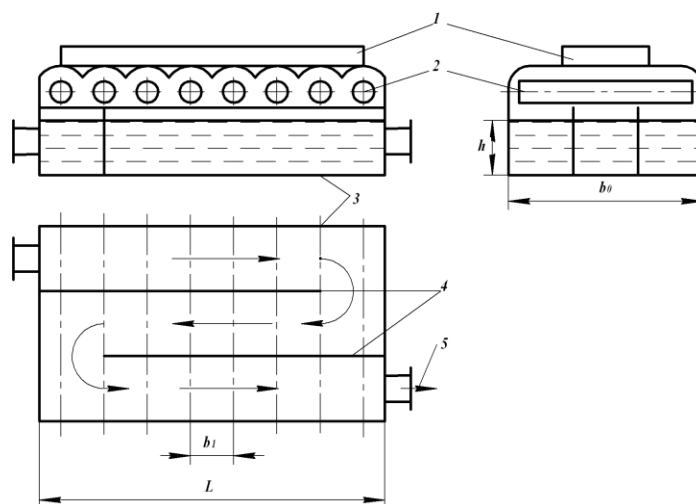


Рис. 19.1 – Ескіз установки для знезараження води з незануреними джерелами бактерицидного випромінювання: 1 - пускова регулююча апаратура ламп; 2 - бактерицидні лампи; 3 - корпус установки; 4 - перегородки; 5 - напрямлення руху води

Більш широке застосування отримали установки, у яких джерела випромінювання занурені у воду. У таких системах потік води, що знезаражується, рухається безперервно по спіральній траєкторії, омиваючи циліндричні кварцові колби, всередині яких розміщені бактерицидні лампи типу ДБ-60, ДРТ-1000 або спеціальні ртутно-кварцові лампи РКС-2,5 потужністю 2,5 кВт.

Окремі модифікації таких установок оснащуються щітковими механізмами з турбінками спірального типу, що приводяться в дію потоком води та забезпечують автоматичне очищення кварцових колб від нальоту.

Такі установки підключаються безпосередньо до водопровідної системи, забезпечуючи безперервне знезараження води. Схему установки з зануреними джерелами випромінювання наведено на рис. 19.2.

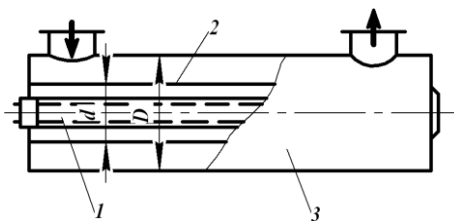


Рис. 19.2 – Установка проточного зануреного бактерицидного випромінювача: 1 - лампа типу ДБ; 2 - кварцовий чохол; 3 - корпус випромінювача

Знезараження тваринницьких стоків перед їх використанням як добрив є надзвичайно важливим і водночас складним завданням, оскільки воно пов'язане з охороною навколишнього середовища від забруднення та запобіганням зараження людей і тварин гельмінтами.

В науково-дослідному інституті проведено лабораторні дослідження з визначення ефективності знезараження тваринницьких стоків під дією ультрафіолетового випромінювання. Результати експериментів показали, що при опроміненні шару рідини товщиною 1,5 мм, який вільно стікає по поверхні бактерицидної лампи, уже через 3–4 секунди гинуть яйця фасціол і 20–30 % яєць свинячої аскариди.

Пастеризація молока за допомогою УФ випромінювання з довжиною хвилі 254 нм є у 6–8 разів економнішою, ніж традиційна теплова обробка. Дослідження визначили оптимальні режими та дози УФ-опромінення для ефективного знезараження молока. При дозованому опроміненні молока за температури 10–24 °С кількість мікроорганізмів зменшується на 93–99,7 %, підвищується вміст вітаміну D, при цьому його природні властивості не змінюються.

Ультрафіолетове знезараження повітря дедалі частіше застосовується у продуктових складах, овочесховищах, молочних цехах, профілакторіях і пунктах штучного осіменіння. УФ випромінювання ефективно знищує мікроорганізми, що перебувають у повітрі та можуть бути носіями інфекційних захворювань.

Для очищення повітря, стін та предметів у приміщеннях використовують бактерицидні лампи типу ДБ-30 і ДБ-60, які встановлюють в опромінювачах, виходячи з питомої потужності $0,3 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ для великих приміщень і до $2,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ — для малих. Якщо знезараження виконується у присутності людей, бактерицидна опроміненість не повинна перевищувати $0,5 \cdot 10^4 \text{ мкб} \cdot \text{м}^{-2}$ при восьмигодинному перебуванні або $0,1 \cdot 10^4 \text{ мкб} \cdot \text{м}^{-2}$ при цілодобовому, щоб уникнути подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів.

Опромінювачі з такими лампами встановлюють на висоті 1,8–2 м від підлоги, уникаючи потрапляння прямого випромінювання в очі людини.

Практика використання ламп ДБ-30 у пташниках (із розрахунку одна лампа на 50 м^3 повітря) показала позитивні результати: при триразовому ввімкненні ламп на одну годину мікрофлора знижується на 50–70 %, підвищується іонізація повітря, а несучість курей зростає на 5–7 %.

Перспективним напрямом є знезараження повітря в системах вентиляції. Досвід показав, що встановлення двох дифузорів із 30 лампами ДБ-30 кожен на початку вентиляційного каналу дозволяє знизити бактеріальне забруднення в пташнику на 80–95 %, покращити іонний склад повітря, зменшити вміст сірководню та вуглекислого газу, а також усунути неприємні запахи завдяки озонотворенню. Ефективність таких установок знижується при наявності пилу, тому опромінювачі потребують регулярного очищення.

Використання бактерицидних ламп також ефективно для знезараження повітря у приміщеннях із швидкопсувними продуктами. У цьому випадку питома потужність установки має становити не менше $0,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$, а тривалість опромінення — понад 9 годин. У холодильних камерах, рефрижераторах і продуктових відсіках суден застосування УФ випромінювання дозволяє підвищити температуру зберігання на $4\text{--}5^\circ\text{C}$ порівняно зі стандартною при відносній вологості $95\text{--}98\%$ та не менш ніж п'ятикратному обміні повітря на годину.

Стерилізація посуду й тари — ще одна поширена сфера використання УФ випромінювання. Тривалість опромінення залежить від типу джерела та властивостей оброблюваної поверхні. Так, установки для дезінфекції молочних ємностей з двома лампами ДБ-30 знижують бактеріальну забрудненість на $84\text{--}97\%$ за 40 хвилин, лампа ДРТ-400 забезпечує повну стерилізацію за 24 хвилини, а ДРТ-1000 — за $3\text{--}6$ хвилин. При опроміненні оцинкованих або дерев'яних поверхонь лампою ДБ-15 з відстані $0,2 \text{ м}$ протягом 30 секунд гине $90\text{--}95\%$ не спороутворюючих мікроорганізмів, а для знищення спор необхідно продовжити опромінення до $5\text{--}15$ хвилин. При цьому забруднення чи шорсткість поверхні значно знижують ефективність знезараження.

Оброблення насіннєвого матеріалу ультрафіолетовим випромінюванням у оптимальних дозах позитивно впливає на його посівні якості — підвищує схожість, енергію проростання, прискорює дозрівання культур і сприяє зростанню врожайності. Так, при опроміненні насіння цукрових буряків урожайність підвищується на $7\text{--}9\%$, а вміст цукру — на $15\text{--}19\%$. Аналогічний ефект спостерігається і при вирощуванні кормової моркви з насіння, обробленого УФ-випромінюванням. У середньому схожість насіннєвого зерна після опромінення зростає на $3\text{--}5\%$, а енергія проростання — на $10\text{--}15\%$. Таке насіння дає дружніші та ранніші сходи, а строки дозрівання врожаю скорочуються на $2\text{--}3$ дні.

Для здійснення обробки насіння використовують опромінювальну установку типу УОЗ-2 (рис. 19.3). Зерно з бункера (2) подається на вібраційний лоток (5), де протягом $55\text{--}60$ секунд проходить під дією дев'яти ламп типу ДРТ-1000 (1). Лоток завдовжки 6 м і шириною $0,9 \text{ м}$ приводиться в коливальний рух електродвигуном потужністю $0,6 \text{ кВт}$ (6). Під першою секцією лотка розташований пиловідсмоктувач (3) із повітропроводом і вентилятором (4), який працює від електродвигуна потужністю $0,25 \text{ кВт}$.

Дугові ртутно-кварцові лампи змонтовані на висоті $0,65 \text{ м}$ над транспортером у коробчастому корпусі-відбивачі та підключені через регульовані активні баластні опори. Загальна потужність установки становить 16 кВт , а її продуктивність — $1\text{--}1,5 \text{ т}$ зерна за годину.

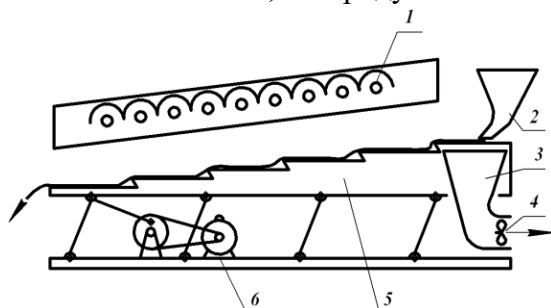


Рис. 19.3 – Схема установки УОЗ-2 для передпосівної обробки зерна УФ опроміненням: 1 - лампа ДРТ1000 в корпусі - відбивачі; 2 - бункер подачі зерна; 3 - пиловідсмоктувач; 4 - вентилятор; 5 - вібраційний лоток; 6 - електродвигун

19.2. Використання інфрачервоного випромінювання

Дозоване застосування інфрачервоного (ІЧ) випромінювання під час обробки насіння сільськогосподарських культур позитивно впливає на їх посівні властивості. Зокрема, при опроміненні насіння ярої пшениці ІЧ випромінюванням нагрівальних елементів (ТЕНів) протягом 10–30 секунд температура поверхні зерна підвищується до 25–45 °С, що не лише не погіршує його якості, а й сприяє підвищенню урожайності.

У Волгоградському сільськогосподарському інституті створено установку ЕМПОС-2, призначену для ІЧ- та видимого опромінення насіння. Під час роботи насіння переміщується по вібраційному лотку під лампами розжарювання, з'єднаними попарно-послідовно та живленими від мережі 380 В. За 40–60 с зерно нагрівається до 48–55 °С. Така обробка дозволяє одночасно підсушити насіння, провести дезінсекцію, передпосівну підготовку, а також підвищити схожість і якість майбутніх рослин. Ефект дезінсекції зумовлений вибіркоvim впливом ІЧ випромінювання на живі організми, вміст вологи в яких зумовлює інтенсивне поглинання енергії. Комахи, що перебувають у зерні, нагріваються до температур, які для них є смертельними. Потужність установки становить 16 кВт, продуктивність — 500 кг/год, а питома витрата електроенергії — 25–40 кВт·год/т.

Для знезараження мішкотари розроблено пересувний дезінсектор, який складається з двох вертикальних плоских ІЧ-випромінювачів. Мішки, закріплені на безкінечному ланцюгу з гаками, переміщуються між випромінювачами. За 70 с тканина нагрівається до 100 °С, що забезпечує загибель комах. Потужність установки становить 12,6 кВт, продуктивність — до 600 мішків/год, при цьому енерговитрати дорівнюють близько 1 кВт·год на 5 мішків.

У сфері післязбиральної обробки перспективним є також сортування плодів та овочів за оптичними характеристиками. Більшість зрілих плодів, овочів і ягід має відмінне від незрілих забарвлення, тоді як пошкоджені екземпляри вирізняються кольором і формою. Фотосортувальні машини функціонують на основі аналізу коефіцієнтів відбиття, пропускання та поглинання ІЧ і видимого випромінювання.

Також створено серію машин для сортування томатів за ступенем зрілості, відокремлення пошкоджених яблук, непридатних до зберігання, а також для відділення картоплі від хворих бульб, грудок землі та каміння. Принцип дії таких машин ґрунтується на порівнянні коефіцієнтів відбиття випромінювань різних довжин хвиль. Наприклад, пристрій для сортування томатів оцінює відбиття при 550, 640 і 660 нм, поділяючи плоди на п'ять фракцій під час руху зі швидкістю 0,12 м/с. За сигналом електронного блоку штовхачі спрямовують плоди у відповідні ємності.

Пастеризація молока за допомогою ІЧ випромінювання має значні переваги над традиційною термічною обробкою у теплообмінниках. Вже за 3–4 с дії випромінювання знищується до 99,9 % бактерій, після чого молоко може зберігатися при температурі +5 °С протягом 8–10 діб. Дослідники відзначають збереження природного смаку продукту, високу швидкість процесу та зниження енерговитрат на 1,5–2 рази. Як джерело ІЧ випромінювання пропонуються кварцові галогенні лампи розжарювання типу КГ 220-1000-1.

Ще одним перспективним напрямом застосування ІЧ випромінювання є сушіння лакофарбових покриттів під час ремонту сільськогосподарської техніки та електродвигунів. Рекомендується розміщувати ІЧ лампи на відстані 0,2–0,5 м від поверхні, що обігрівається, та одна від одної так, щоб забезпечити рівномірність нагрівання. Випромінювачі можуть бути інтегровані у стіни сушильних камер або тунелів, крізь які переміщуються деталі чи вироби.

Завдяки компактності та високій питомій потужності інфрачервоні лампи особливо зручні для сушіння обмоток статорів електродвигунів без необхідності демонтажу обладнання з фундаменту.

Установка (рис. 19.4) призначена для знезараження медоносних бджіл шляхом короткочасного опромінення інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням під час їх проходження через спеціально спроєктований льотковий канал, з'єднаний із вуликом. Конструкція пристрою є відносно простою, надійною та забезпечує безпечне проведення обробки без шкоди для бджолосім'ї.

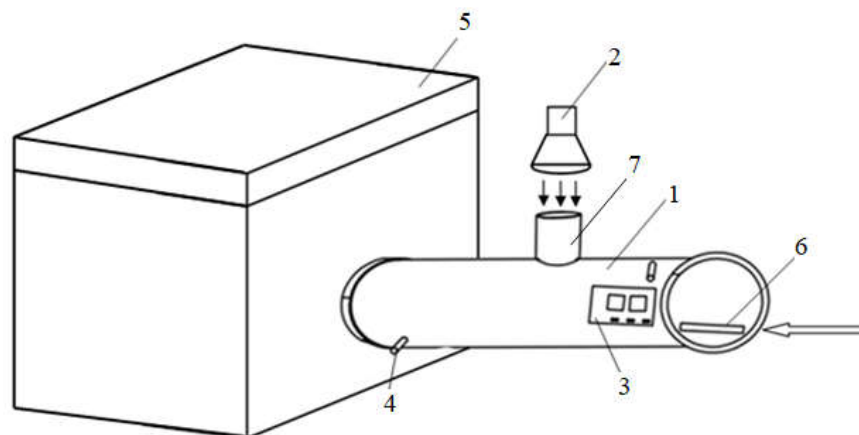


Рис. 19.4 – Конструкція теплокамери для стерилізації медоносних бджіл від кліща Varroa: 1 - теплокамера; 2 - лампа інфрачервоного випромінювання; 3 - теплове реле; 4 - термодатчики; 5 - вулик; 6 - льоток (вхід до камери); 7 - канал дії інфрачервоного випромінювання

Основними складовими установки є:

- теплокамера (1) – виконує функцію ізольованої зони опромінення, герметично з'єднаної з вуликом (5);
- інфрачервона лампа (2) – забезпечує випромінювання необхідної інтенсивності для термічного впливу на кліща;
- теплове реле (3) з термодатчиками (4) – контролює температуру в робочій зоні, запобігаючи перегріванню;
- льоток (6) – канал для входу бджіл у теплокамеру;
- канал дії ІЧ випромінювання (7) – зона, у якій відбувається безпосереднє знезараження.

Внутрішні поверхні теплокамери виконані з термостійкого матеріалу, який забезпечує відбивання та рівномірний розподіл теплового потоку в межах робочої зони. Конструктивна форма каналу спрямовує рух бджіл через простір, де діє інфрачервоне випромінювання, що дозволяє забезпечити рівномірну обробку комах.

У верхній частині камери розташована інфрачервона лампа потужністю 100–150 Вт, яка генерує випромінювання в діапазоні 0,8–1,4 мкм. Цей спектр довжин хвиль є оптимальним для вибіркового термічного впливу на кліща *Varroa destructor*, не завдаючи шкоди самій бджолі.

Як джерело випромінювання використовується лампа типу 150 W E27 R123, що характеризується високим коефіцієнтом тепловіддачі, компактністю та стійкістю до тривалих теплових навантажень.

Таким чином, запропонована установка забезпечує ефективну термічну стерилізацію бджіл, є енергоощадною, технологічно простою у виготовленні та може бути впроваджена в практику пасіництва для екологічно безпечного контролю популяції кліща *Varroa*.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КОНСПЕКТУ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«Електричне освітлення та опромінення в сільському господарстві» для підготовки до лекційних занять здобувачами за першим(бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Конспекти лекцій повинні бути написані в одному лекційному зошиті з дисципліни «Електричне освітлення».
2. Обсяг сторінок для лекційного зошиту слід обирати в діапазоні 60-90 сторінок.
Лекційний зошит повинний бути підписаний на титульному аркуші чи на початку – Назва дисципліни, П.І.П., курс, група студента.
3. Кількість лекцій та їх зміст повинні відповідати тематичному плану.
4. Кількість рукописних сторінок – 10-15, в залежності від стилю писання студента.
5. Конспект пишеться кожним студентом власноруч (одним коляром пасти) та вміщує: назву теми, план, текстове викладання теми, теми на самостійне опрацювання.
6. Після ознайомлення з текстовим змістом лекції, необхідно додатково опрацювати теми на самосійну підготовку.
7. У разі пропуску лекційного заняття, текстовий матеріал пропущеної теми необхідно записати або вклеїти в зошит.
8. Для перевірки конспекти надаються на кафедру відповідальним представником від групи, або в електронному вигляді (папка з фото сторінок конспекту у випадку дистанційного навчання) викладачу, який проводив практичні заняття у групі.
9. Конспекти перевіряються на проміжних атестаціях та заліковому тижні.
10. Всі конспекти лекцій повинні бути надані до підписання допуску до сесії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Influence of electromagnetic radiation on the growth and productivity of agricultural crops in the agro-industrial complex / A. Stavinskiy, A та ін. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Т. 21, № 1. С. 59–75.
2. Електричне освітлення та опромінення : методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок освітлення методом коефіцієнту використання світлового потоку» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. Р. В. Кушлик, Р. Р. Кушлик. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 17 с.
3. Електричне освітлення та опромінення : методичні вказівки до практичної роботи «Розподілення навантаження групових ліній по фазам. Вибір марок проводів і способу їх прокладки. Розробка специфікації на матеріали та обладнання» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. Р. В. Кушлик, Р. Р. Кушлик. Мелітополь : ТДАТУ, 2019. 14 с.
4. Електричне освітлення та опромінення : навч. посіб. / Р. В. Кушлик та ін. Харків : ТОВ «Планетапрінт», 2016. 332 с. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/navch.-posib.chastyna-1.elektrychne-osvitlennja.pdf>
5. Мардзявко В. А. Електричне освітлення : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2024. 212 с.
6. Садовий О. С. Електричне освітлення та електротехнології : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2015. 91 с.
7. Садовий О. С., Мардзявко В. А. Використання фітоламп для збільшення продуктивності овочевих культур у закритому ґрунті в умовах післявоєнного відновлення. Продовольча безпека України в умовах післявоєнного відновлення: глобальні та національні виміри. Міжнародний форум : доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 28-30 травня 2025 р.) / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2025. С. 161-164. DOI: <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-86-5-52>
8. Кунденко М. П., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Аналіз технології генерації НВЧ випромінювання з визначенням адаптивного типу діодів для подальшого конструювання апаратів для знезараження // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2023. – № 2. – С. 24–37.
9. Електричне освітлення та опромінення : навч. посіб. / Р. В. Кушлик, В. Ф. Яковльов, Ю. М. Федюшко, М. П. Кунденко та ін. ; за ред. Р. В. Кушлика. – Харків : Планета-прінт, 2016. – 332 с.

Навчальне видання

**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ В СІЛЬСЬКОМУ
ГОСПОДАРСТВІ**

конспект лекцій

Укладач: **Мардзявко** Віталій Анатолійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 14.

Тираж 20 прим. Зам. №_____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідотство суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 09.06.2013 р.