

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

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**



ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2 - Електроосвітлення

Конспект лекцій

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2-Електроосвітлення

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

для здобувачів 4 та 2 с.т. курсу
освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»

СУМИ – 2025

УДК 621.3.01.001(075.8)

Укладачі: **Савойський О.Ю.**, ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем
Тесленко О.В., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Н 22 Науково-методичне забезпечення навчального процесу
конспект лекцій:/ укл.: Савойський О.Ю., Рясна О.В., Тесленко
О.В. - Суми, 2025. – 178 с.

У конспекті лекцій: наведений матеріал, який допоможе здобувачам при вивченні питань, що пов'язані з системою електричного освітлення на підприємствах АПК: вибору систем та видів освітлення, загальних методів світлотехнічних розрахунків.

Студенти матимуть можливість розглянути різноманітні типи ламп та джерел світла, вивчити технології енергозбереження, а також ознайомлення з новітніми розробками в галузі світлотехніки з використанням альтернативних джерел енергії.

Рецензенти:

Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри «Енергетика та електротехнічні системи» СНАУ;

Лобода В.Б., к.ф.-м.н., професор кафедри охорони праці та фізики СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою якості інженерно-технологічного факультету. Протокол №4 від «28» січня 2025 року

© Сумський національний
аграрний університет,

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ТЕМА №1. Загальні відомості про оптичне випромінювання.....	7
ТЕМА №2. Основні величини і одиниці вимірювання оптичного випромінювання.....	20
ТЕМА №3. Прилади для вимірювання оптичного випромінювання.....	31
ТЕМА №4. Оброблення результатів вимірювань оптичного випромінювання.....	49
ТЕМА №5. Енергетичні і експлуатаційні характеристики, будова і робота ламп розжарювання.....	53
ТЕМА №6. Будова і принцип дії люмінесцентних ламп, їх основні характеристики.....	64
ТЕМА №7. Газорозрядні, світлодіодні лампи, їх основні характеристики.....	75
ТЕМА №8. Визначення основних показників світлотехнічного розрахунку.....	91
ТЕМА №9. Визначення методів розрахунку освітлення приміщення.....	103
ТЕМА №10. Вибір та розрахунок опромінювальних установок для сільськогосподарських приміщень.....	114
ТЕМА №11. Дослідження установок ультрафіолетового опромінення.....	128
ТЕМА №12. Дослідження установок інфрачервоного опромінення.....	139
ТЕМА №13. Автоматизовані установки інфрачервоного обігріву і ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці.....	151
ТЕМА №14. Управління освітленням сільськогосподарських приміщень.....	158
ТЕМА №14.1 Інтелектуальні системи керування освітленням.....	167
ТЕМА №15. Використання альтернативних джерел енергії в системах освітлення.....	174
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	177

ВСТУП

Електричне освітлення є невід'ємною частиною нашого сучасного життя, визначаючи зручність, безпеку та естетику нашого оточення. Ця дисципліна досліджує технічні та технологічні аспекти створення світла за допомогою електричних джерел. Вона охоплює різноманітні аспекти, починаючи від принципів функціонування ламп та ліхтарів і закінчуючи проектуванням та встановленням систем освітлення в різноманітних об'єктах.

Дисципліна "Електротехнології та електроосвітлення", розділ Електроосвітлення вивчає основні принципи, які лежать в основі генерації світла та його використання для створення ефективної та естетичної освітленості приміщень, об'єктів і вуличних територій. Здобувачі матимуть можливість розглядати різноманітні типи ламп та джерел світла, вивчати технології енергозбереження, а також ознайомлення з новітніми розробками в галузі світлотехніки та використання альтернативних джерел енергії.

Досягнення у цій області впливають на покращення якості життя, робочого середовища та сприяють створенню інноваційних технологій у сфері освітлення. Засвоєння основ "Електротехнології та електроосвітлення" надає можливість розуміти та застосовувати сучасні підходи до проектування та управління освітленням, що робить цю дисципліну невід'ємною частиною навчання фахівців в галузі електротехніки та світлотехніки.

Програмою дисципліни "Електротехнології та електроосвітлення" передбачається вивчення фізичних основ оптичного випромінювання, будови і принципу дії електричних джерел оптичного випромінювання, світильників, установок електричного освітлення і опромінення, методики розрахунку освітлювальних і опромінювальних установок і придбання практичних навичок їх вибору та підготовки до роботи.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати фізичні основи оптичного випромінювання і його біологічну дію та величини і одиниці його вимірювання, будову і принцип дії ламп, світильників, опромінювальних установок та їх характеристики, методику їх вибору.

Вивчивши дисципліну, здобувачі повинні вміти правильно вибирати освітлювальні й опромінювальні установки, використовувати найбільш раціональні типи джерел випромінювання.

ТЕМА №1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОПТИЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з основними поняття та визначення про оптичне випромінювання.

План лекції

1. Основні поняття і визначення;
2. Спектр електромагнітних коливань, його властивості і застосування;
3. Розподілення енергії оптичного випромінювання по спектру;
4. Механізм виникнення оптичного випромінювання;
5. Фотобіологічна дія оптичного випромінювання;
6. Біологічний вплив видимого світла на організм людини.

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 і визначення

Оптичне випромінювання по своїй природі відноситься до електромагнітних коливань. Коливання з довжиною хвилі від 1 нм до 10000 нм називаються оптичним випромінюванням. Всі предмети (тіла), що оточують нас, випускають електромагнітні хвилі. Цей процес супроводжується виділенням накопиченої в них енергії.

У загальному спектрі електромагнітних випромінювань оптична область складає лише невелику частину. Як і всякі інші хвильові процеси, випромінювання прийнято характеризувати довжиною хвилі (λ), під якою розуміється лінійна відстань (у напрямку розповсюдження випромінювання) між двома сусідніми точками з однаковою фазою. Зі швидкістю світла c та частотою ν (число коливань в секунду) довжина хвилі зв'язана наступною залежністю:

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

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

Уявлення про випромінювання як хвильовий процес недостатньо для пояснення деяких властивостей випромінювання. Електромагнітне випромінювання при взаємодії з матерією (речовиною) веде себе так, як ніби його енергія розділена на порції – кванти.

Кванти оптичного випромінювання називають фотонами. Фотони розповсюджуються як матеріальні частинки. Експериментально П. М. Лебедевим було доведено, що випромінювання представляє собою потік матеріальних частинок, які, потрапляючи на яку-небудь поверхню, роблять на неї тиск. Теоретичні обґрунтування квантових властивостей випромінювання належать М. Планку та А. Ейнштейну.

Фотон має властивості як частинки (корпускули), так і електромагнітної хвилі.

Енергія фотона пропорційна частоті електромагнітних коливань ν і обернено пропорційна довжині хвилі

Довжина хвилі - це відстань, яку проходить промінь за час повного періоду коливання. Між швидкістю поширення світла у вакуумі, довжиною хвилі і частотою коливань існує залежність:

Випромінювання, визвані зміщенням електронів при нагріванні або електричним розрядом, відносяться до оптичної зони електромагнітних хвиль. Отже, електромагнітні коливання з довжиною хвиль від $1 \cdot 10^9$ м (нанометри) до 1 мм називаються 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 $c = \nu \cdot \lambda$, то, відповідно, вираз можна записати наступним чином:

$$E = h\nu$$

Однією із основних величин, яка характеризує випромінювання, є потік випромінювання, під яким розуміється потужність випромінювання. Навіть в невеликому потоці, випромінювання є велика кількість фотонів, але кожен із них має дуже малу енергією. Тому для багатьох практичних випадків можна рахувати, що енергія фотонів рівномірно розподілена в потоці випромінювання і поглинання, а випускання тілами даної енергії можна розглядати, як безперервний процес.

В першій половині ХХ століття були встановлені нові факти, які мають безпосереднє відношення до вчення про оптичне випромінювання:

- оптичне випромінювання характеризується хвильовими і корпускулярними властивостями;
- частинки речовини, також як і оптичного випромінювання мають двійну корпускулярну і хвильову природу;
- частинки речовини можуть перетворюватись в оптичне випромінювання, а оптичне випромінювання в речовину.

1.2. Спектр електромагнітних коливань, його властивості і застосування

Оптична область спектра поділяється на 3 зони:

1. УФ - випромінювання – це невидиме випромінювання (ультра – по латині - за), тобто воно знаходиться за видимим випромінюванням в діапазоні довжини хвиль 1 нм - 380 нм. Даний діапазон поділяється на чотири групи:

1 нм – 200 нм – вакуумне ультрафіолетове випромінювання; 200 нм – 280 нм – ультрафіолет в області С;

280 нм – 315 нм – ультрафіолет в області В; 315 нм – 380 нм – ультрафіолет в області А;

2. Видиме випромінювання, це таке, яке може викликати зорове відчуття людини і воно знаходиться в діапазоні довжини хвиль 380-760 нм.

3. ІЧ-випромінювання – це невидиме випромінювання (інфра – по латині - попереду), тобто воно знаходиться попереду видимого випромінювання в діапазоні

довжини хвиль 760-10000 нм. Даний діапазон поділяється на три групи:

760 нм – 1400 нм – інфрачервоне випромінювання в області А;

1400 нм – 3000 нм - інфрачервоне випромінювання в області В;

3000 нм – 10000 нм - інфрачервоне випромінювання в області С. Спектр випромінювання – це сукупність випромінювань, розміщених в ряд в порядку зміни довжини хвилі.

Розглянемо більш детально оптичне випромінювання.

Згідно рис.1 видиме випромінювання займає вузьку полосу в спектрі оптичного випромінювання, але саме воно відіграє вирішальну роль життєдіяльності людини, так як забезпечує можливість орієнтуватись в просторі, розрізняти кольори предметів, які знаходяться поряд, виконувати певні технологічні операції.

Продукти харчування рослинного і тваринного походження, енергоресурси (вугілля, газ, нафта) це результат дії видимого випромінювання Сонця на нашу планету за рахунок фотосинтезу, який проходить безперервно на Землі в зелених рослинах. Випромінювання Сонця показує, що видиме випромінювання неоднорідне, хоча воно створює відчуття білого світла.

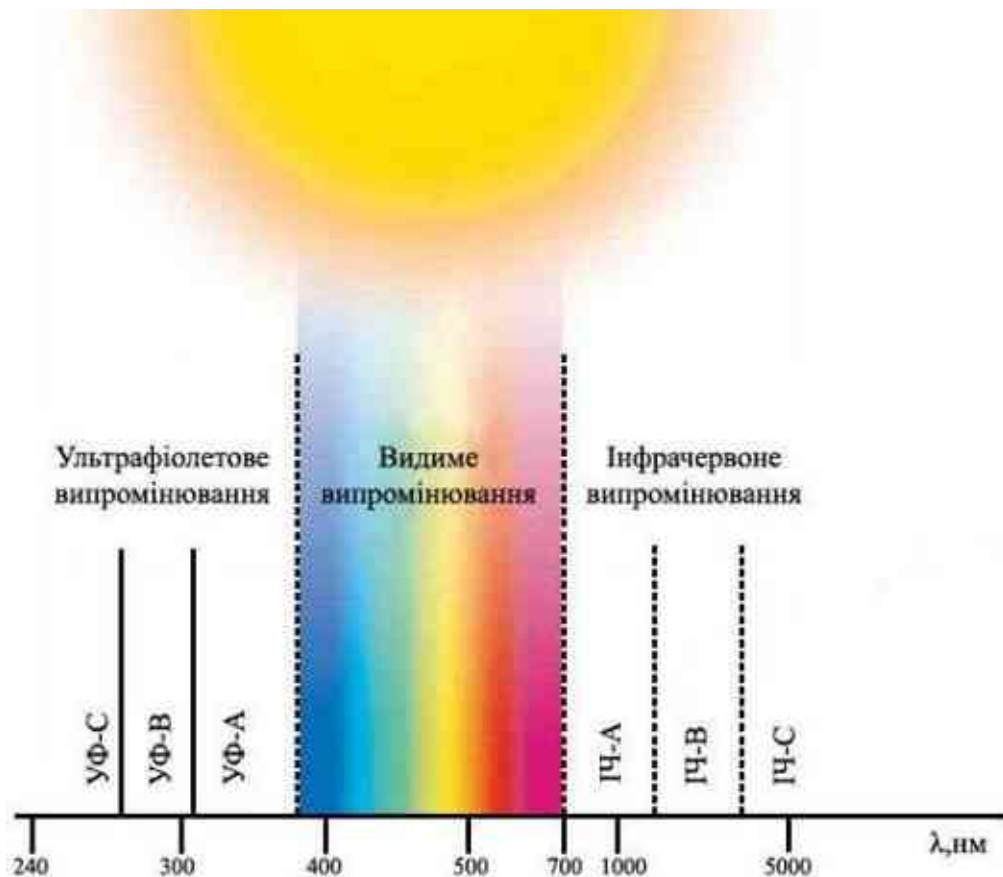


Рис. 1 – Спектр електромагнітного випромінювання

1.3. Розподілення енергії оптичного випромінювання поспектру

Випромінювання Сонця і штучних джерел, які застосовуються на практиці, неоднорідні і складаються з випромінювань різних довжин хвиль. Якщо видиму частину

складного випромінювання, що створює відчуття білого світла, розкласти за допомогою призми на однорідні потоки, то кожен з них буде мати свій характерний колір. Око людини здатне розрізняти більше 150 кольорових відтінків, відповідних випромінювань різних довжин хвиль. Кольорові відтінки плавно переходять один в одного.

Умовно прийнято увесь спектр видимого випромінювання розділяти на вісім ділянок, що відповідають найбільш характерним кольорам. Орієнтовні межі цих ділянок наведено в табл. 1. та рис. 2.

Таблиця №1

«Умовні кольори і орієнтовні довжини хвиль»

Довжина хвилі, нм	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, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
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. 2. - Відношення довжини хвиль до кольору

Кольори, що виникають під впливом однорідних потоків різних довжин хвиль, називаються спектральними кольорами. Додаючи до однорідного випромінювання складне, можна отримати багато відтінків цього кольору, які будуть відрізнятися один від одного співвідношенням білого (складного) і монохроматичного потоків. Складне випромінювання різних джерел може мати різну кольоровість. Кольоровість складного випромінювання визначається відносною наявністю його енергії, що припадає на різні довжини хвиль. Розподіл енергії по спектру - найважливіша характеристика неоднорідного випромінювання.

Очі людини можуть сприйняти мінімальну освітленість 0,1 лк (це місячне сяйво). Максимальна освітленість, до якої можуть пристосуватись очі, складає 100000 лк. При низькій освітленості очі працюють в режимі нічного зору за рахунок роботи паличкових

елементів, при високій освітленості очі людини працюють в режимі денного зору за рахунок колбочкових елементів сітчастої оболонки ока. При переході освітленості з нічної на денну, або навпаки очі людини працюють в режимі сутінок.

Усереднена крива спектральної чутливості ока встановлена Міжнародною комісією по освітленості (МКО 1924 р.) і тепер використовується при всіх розрахунках світлової дії випромінювання (рис. 3. крива 1).

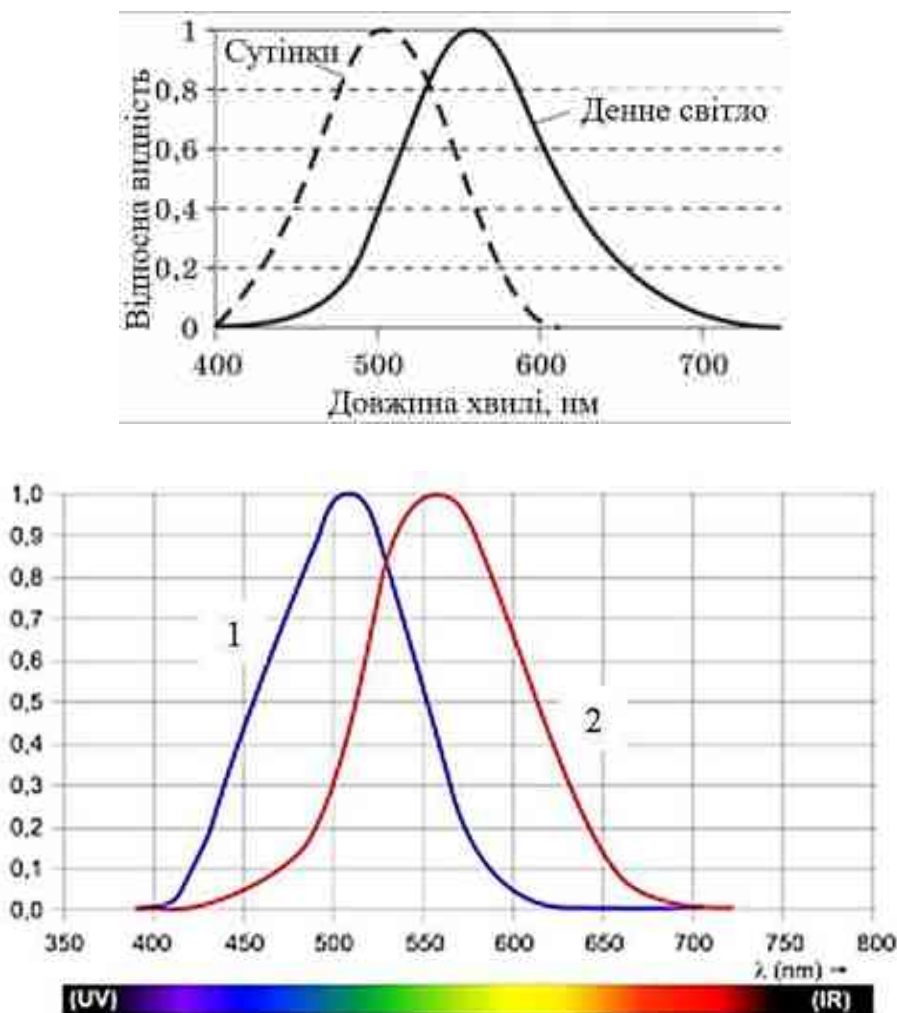


Рис. 3 – Середні значення спектральної чутливості ока: 1 - усереднена крива спектральної чутливості ока; 2 - крива спектральної чутливості ока в умовах нічного зору.

Максимум цієї кривої умовно прийнятий за одиницю і припадає на довжину хвилі $\lambda = 555 \text{ нм}$. Крива 2 показує, що в умовах нічного зору око людини реагує на дуже малу освітленість і в цьому випадку спектральна чутливість ока буде зміщена в сторону більш коротких хвиль по відношенню до кривої денного зору. Максимум цієї кривої також прийнятий за одиницю і відповідає довжині хвилі $\lambda = 507 \text{ нм}$.

Зіставляючи криві 1 і 2, треба мати на увазі те, що максимумами їх однакові тільки умовно. В дійсності апарат палочки набагато чутливіший ніж колбочковий. Середні значення спектральної чутливості ока для денного і нічного зору, необхідні для використання в розрахунках світлотехніки.

Між умовами денного та нічного зору є перехідна область рівня освітленості, яку

можна спостерігати в природних умовах кожен день після заходу сонця, коли одночасно функціонують обидва апарати органу зору. У процесі такого переходу спостерігається і перехідна зміна спектральної чутливості очей, що приводить до деяких специфічних явищ. У цей період спостерігається так званий ефект Пуркінє. Суть цього ефекту в тому, що червона і синя поверхні об'єкту нагляду, які вдень здаються приблизно однаково світлими, вночі робляться цілком різними: синій предмет здається набагато світлішим ніж червоний. Останній бачиться вночі зовсім чорним.

1.4. Механізм виникнення оптичного випромінювання

Елементарні частинки речовини - атоми, молекули і кристали - знаходяться звичайно в стані енергетичної рівноваги. Позитивний заряд ядра атома врівноважується негативними зарядами електронів, які обертаються навколо ядра. Процес видалення електрона від ядра потребує витрати енергії. Наближення електрона до ядра супроводжується виділенням енергії. При підведенні ззовні до нейтральних частинок певних порцій енергії вони можуть поглинути її, підвищивши свій запас. Такі частинки називають збудженими. У звичайних умовах ці частинки не можуть довго залишатися в збудженому стані.

Електрони, віддалені тимчасово від ядра при збудженні, знову повертаються на свої стійкі орбіти. При цьому частинки можуть випускати надмірну енергію у вигляді випромінювання. Випускнення енергії збудженими частинками може відбуватися тільки цілком певними порціями. Це означає, що електрони можуть обертатися тільки по орбітах, віддаленим від ядра на строго певній відстані. Кожен атом характеризується лише кількома енергетичними рівнями, кількість яких тим більше, чим складніша його структура. Кожному переходу атома із збудженого стану в стан з більш низьким енергетичним рівнем відповідає стрибкоподібне звільнення енергії у вигляді кванта (порції) випромінювання певної частоти. А кванти оптичного випромінювання називають фотонами.

Таким чином можна сказати, що оптичне випромінювання виникає в результаті переходу електрона на більш низький енергетичний рівень (меншу орбіту обертання навколо ядра атома), див. рис. 4.

У початковий момент елементарні частинки речовини перебувають у стані енергетичної рівноваги. Позитивний заряд ядра атома врівноважується негативними зарядами електронів, що обертаються навколо ядра. При підведенні ззовні (з навколишнього середовища) до нейтральних атомів певної енергії запас її в частинці (атомі) збільшується. При досягненні якогось значення енергії, запасеної в атомі, його електрони збуджуються, тобто частина електронів (в основному верхнього рівня) переходить на іншу, більш високу орбіту. Електрон не може перебувати довгий час у збудженому стані й вертається на свою постійну орбіту. При переході з більш високої на низьку орбіту електрон віддає надлишкову енергію у вигляді випромінювання. Випускнення енергії відбувається порцією, квантом. Величина кванта енергії залежить від будови атома, його структури, кількості енергетичних рівнів, на які може піднятися електрон. Енергія кванта визначається різницею енергій енергетичних рівнів електрона. Розрізняють резонансне й нерезонансне випромінювання.

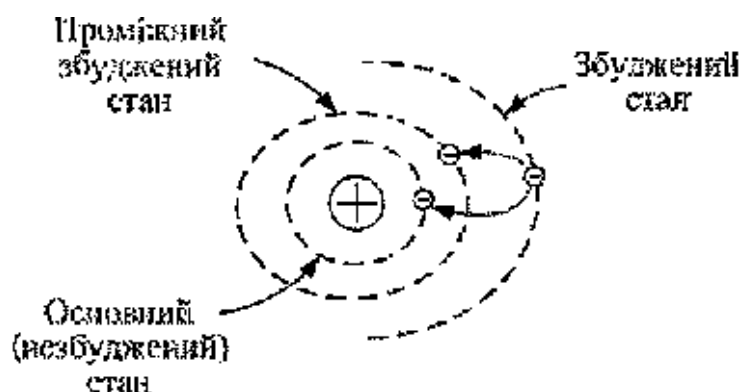


Рис. 4 – До виникнення випромінювання

Нерезонансне випромінювання – випромінювання, що виникає в результаті переходу електронів з одного збудженого стану в інший з меншою енергією, але не на основний – незбуджений.

Резонансне випромінювання – випромінювання, що виникає в результаті переходу електронів зі збудженого стану в незбуджений.

1.5. Фотобіологічна дія оптичного випромінювання

Енергія оптичного випромінювання безпосередньо діє на людей, тварин, рослин, мікроорганізми та інші приймачі. Існують наступні основні види фотобіологічної дії:

Світлова дія. Виражається в зоровому відчутті людини і дозволяє орієнтуватися в просторі. Його приймач - око людини. Еталонна крива спектральної чутливості ока людини наведена на рис. 5 (крива 1).

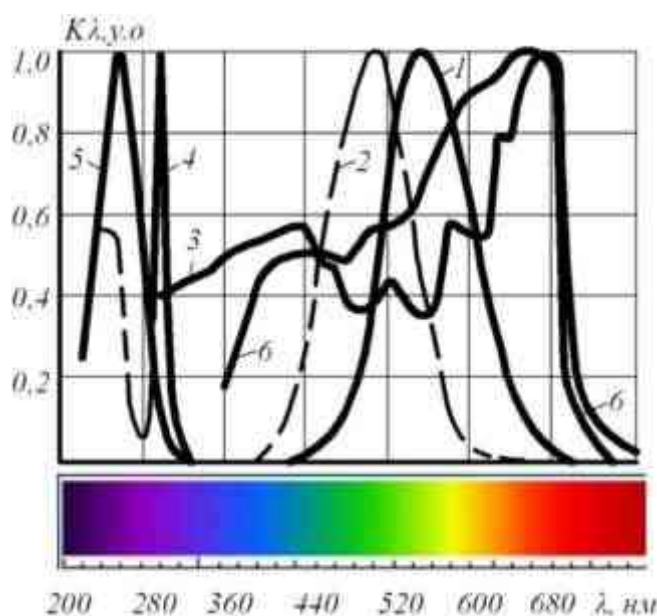


Рис. 5 – Спектральні характеристики: 1 – око людини вдень; 2 – око людини вночі; 3 – зеленого листа по І.І. Свентицькому (теоретична); 4 – шкіра тварини (вітальна); 5 – бактерій; 6 – фотосинтез по Мс. Cree (експериментальна)

Фотосинтезна дія. Виражається в тому, що видиме і довгохвильове УФ випромінювання забезпечує процес, в результаті якого в зелених рослинах із мінеральних речовин синтезуються речовини органічні. Його приймач – зелений лист. Фотосинтез - найважливіший для життя на землі процес. Первинний процес утворення біологічної маси відбувається в листі рослини, при цьому поглинається вуглекислий газ з повітря і виділяється кисень. Енергетичною основою цього процесу служить фотосинтезний потік. Крива спектральної чутливості, за І. І. Свентицькому, наведена на рис. 5 (крива 3).

Максимальну фотосинтезну дію на листок рослини проявляють випромінювання з довжиною хвилі 680 нм. Тому за одиницю випромінювання *фотосинтезного потоку* прийнято потік в 1 Вт з довжиною хвилі 680 нм. Цю одиницю назвали *ф_т* (*ф_т*). Інші одиниці фотосинтезного випромінювання утворені аналогічно одиницям видимого випромінювання. *Сила фотосинтезного випромінювання* І_ф (ф_т ■ ер ~), *фотосинтезна опроміненість* Е_ф (ф_т • м ~²).

Фотоперіодична дія. Виражається в тому, що при різному чередуванні і тривалості періодів освітленості (опромінення) і темряви проявляється вплив на розвиток рослин, тварин, птиці.

Терапевтична дія. Заключається в опроміненні людей, тварин, птиці дозованою кількістю УФ, видимого, ІЧ випромінювань з покращенням обміну речовин, підвищує опір організму до захворювань. Його приймачем є шкіра тварини, а також людини. Під дією цього випромінювання активізуються життєво важливі процеси в живому організмі, зокрема утворюється вітамін D. Вітальний (Vita - lis) - життєвий. Прийом випромінювання супроводжується почервонінням шкіри (еритема). Еталонна крива спектральної чутливості показана на рис 5. (крива 4).

Бактерицидна дія. Полягає в тому, що опромінення УФ випромінюванням у великих кількостях видимим і ІЧ випромінюванням викликає загибель бактерій, рослин, комах. Його приймачем є бактерії, які гинуть під дією бактерицидного потоку. Еталонна крива спектральної чутливості показана на рис. 5 (крива 5).

Мутагенна дія. Виражається в тому, що тривалий вплив на тварин і рослин УФ випромінювання призводить до спадкоємних змін, які можна використовувати для виведення рослин та інших організмів з новими властивостями.

1.6. Біологічний вплив видимого світла на організм людини

Щодня людина піддається дії сонячного світла та світла від штучних джерел з найрізноманітнішою спектральною характеристикою та надзвичайно великим діапазоном інтенсивності: від 100000 лк і більше вдень при прямому сонячному світлі та до 0,2 лк уночі при світлі місяця. Довгий час вважалося, що освітлення потрібно головним чином, щоб бачити. Однак окрім зору під впливом світла в організмі здійснюються багато інших фотобіологічних процесів. Важлива регуляторна роль належить видимому світлу. Відомо, що в похмурі дні у багатьох людей виникає синдром «осіннього смутку», що супроводжується психічною депресією і навіть іноді призводить до самогубств. Експериментально доведено, що подібну депресію можна зняти, якщо людину поміщати на кілька годин протягом кількох днів поспіль яскраво освітлену кімнату.

З виявленням у 2002 році нового фоторецептора з'явилася можливість більш глибоко осмислення біологічного ефекту, який надає світло на організм людини.

Спектральна чутливість нового типу рецепторів, до кінця ще не вивчена, показує, що випромінювання синьої області спектру має більший ефект ніж випромінювання з більшою довгою хвилі.

Останнім часом основні фактори, що супроводжують виконання зорових завдань, такі як освітленість, яскравість, сліпимість, перенесення кольорів та ін інтенсивно досліджувалися і обговорювалися в друку. Відповідні результати цих досліджень лягли в основу існуючих норм висвітлення. У той же час знань про вплив світла на фізіологію накопичено значно менше. Проте результати останніх досліджень показали, як світло може впливати на самопочуття людей.

Про актуальність дослідження впливу світла на функціонування різних систем організму свідчить величезна кількість публікацій із цієї проблеми. Отримані під час цих досліджень результати становлять інтерес багатьох галузей науки, зокрема і світлотехніки. Стрімке зростання числа публікацій свідчить про те, що цей напрямок досліджень перебуває в стадії бурхливого розвитку. За кілька десятиліть експериментальних досліджень було виявлено невідповідність нормованих характеристик світлового середовища при штучному висвітленні реальних біологічних потреб людського організму. Також показано необхідність збільшення штучно створюваної освітленості приблизно в 7-10 разів порівняно з рівнями освітленості, які нині використовуються.

Вплив освітлення на зір та його практичні наслідки були предметом дослідження багатьох сотень років. Понад 150 років дослідники вважали, що в очі є фоторецептори лише двох видів: палички та колбочки. У 2002р. Девід Берсон виявив у сітківці ссавців новий тип фоторецепторів, який відповідає за біологічну дію світла. Чутливість нового фоторецептора неоднакова до світла різних довжин хвиль. Показано, що оптичне випромінювання в діапазоні $\Delta\lambda = 430-470$ нм чинить прямий вплив на освіту в організмі людини гормону втоми - «мелатоніну».

Організм людини сформувався під впливом 24-годинного біоритму («циркадного ритму») з активною денною фазою та фазою відпочинку вночі. Світло синхронізує повторюваність цього біоритму. Світлові сигнали регулюють внутрішній годинник незалежно від відомих фоторецепторів (паличок та колб), завдяки яким бачить людина. Г. Ван Бельд стверджує, що дія видимого світла залежить від рівня освітленості, спектральної чутливості, тривалості та часу доби [4]. Рівень освітленості 1000-2000 лк на око протягом 3 годин може призвести до фазового зсуву від 2 до 4 годин залежно від часу доби. Фазовий зсув біологічного годинника є функцією спектральної характеристики випромінювання.

Створення математичної моделі явищ синхронізації організму людини світловими впливами дозволило вченим ВНІСД зробити висновки про те, що мають значення лише енергетичні характеристики світлових впливів, час їх почала і тривалість. Як нормована світлова величина, що забезпечує синхронізацію гіпоталамічних структур і організму в цілому, доцільно використовувати експозицію на зіниці ока.

Якщо говорити про рівні освітленості, то йдеться про кількість світла спостерігача, що потрапляє в око. Освітленість слід вимірювати на очах, а не як освітленість, що нормується на горизонтальних поверхнях у приміщеннях, що нормується в даний час. Високі рівні освітленості на поверхнях усередині приміщень або на предметах, які рідко потрапляють у поле зору, не мають значного біологічного впливу, а енергія світла розтрачується.

При аналізі безлічі суперечливих даних, отриманих у ході різних досліджень впливу видимого світла на людський організм, виникають запитання, які потребують часу для отримання достатньо ясних та певних відповідей, для подальшої розробки практичних рекомендацій. Справді, світло дає інформацію до роботи зорового апарату, а освітлювальні установки створюються задля забезпечення видимості. Але сьогодні стало відомо, що одночасно виникають інші біологічні процеси, які потребують нового підходу до створення освітлення за одночасного вирішення колишніх завдань.

Медичний аспект впливу видимого випромінювання на організм людини. В даний час вивченню реакцій у відповідь організму людини на світлові впливи приділяється велика увага. Є велика кількість досліджень щодо використання інтенсивного білого світла у лікуванні порушень циркадних ритмів та депресивних станів. Тим не менш, у літературі недостатньо даних про вплив видимого світла на психофізіологічний стан людини.

Досить давно відома лікувальна дія світла (світлотерапія) при нестачі вітаміну Д в організмі, шкірних захворюваннях, а також при так званих «сезоннозалежних депресіях». Відомо також загальне оздоровлююче вплив світла людини.

Терапія яскравим білим світлом посідає чільне місце серед застосовуваних немедикаментозних методів лікування депресії та різних психічних розладів. Існує ціла низка досліджень у галузі медицини, фотобіології, біохімії та хронобіології, які підтверджують той факт, що видиме світло є ефективним регулятором біологічних ритмів, а в деяких випадках і терапевтичним фактором.

Є дані про те, що світло може надавати і негативний вплив на людину, так, дія випромінювання високої інтенсивності з довжиною хвилі 380-500 нм викликає у зоровому органі фотохімічні процеси. Спектр дії ефекту так званої небезпеки блакитного світла розташований досить близько до функції циркадної ефективності. Цей факт вказує на необхідність урахування потужності випромінювання та спектра ламп при оцінці умов освітлення. Оскільки «небезпека блакитного світла» нині піддається розрахунковій оцінці та залежить від рівня опроміненості в умовах загального освітлення, її легко врахувати. Сонячне світло також небезпечне і в великих дозах завдає непоправної шкоди.

Механізм незрячих реакцій та процес вироблення мелатоніну під дією світла. Будова ділянки мозку, що має відношення до цих процесів представлена на рис. 6.

При попаданні світла в клітини-рецептори починається складна хімічна реакція (за участю фотопігменту меланопсину) з продукуванням електричних імпульсів. Ці клітини мають нервові зв'язки з двома утвореннями в мозку: супрахіазматичними клітинами (SCN), що є біологічним годинником мозку, і з шишкоподібною залозою (епіфізом). Шишкоподібна залоза регулює секрецію певних гормонів в організмі.

У сітківці ока світлові хвилі певної довжини хвилі перетворюються на енергію нервового імпульсу. Ця енергія передається по зоровому нерву у верхню частину спинного і в потиличну частку головного мозку, де вона не тільки відображає побачений образ, а й впливає також на основні центри управління організмом, розташовані в головному мозку. Вважається, що ця енергія змушує шишкоподібне тіло виробляти мелатонін.



Рис. 6 – Структури мозку, що забезпечують вплив світла на функціонування різних систем організму

Хоча дія мелатоніну в організмі не цілком зрозуміла, досліді на тваринах дають підстави вважати, що він посилює функції таких стимулюючих життєдіяльність організму ендокринних залоз, як гіпофіз, надниркові залози, статеві залози та підшлункова залоза. Максимальна кількість мелатоніну виробляється вночі, пік активності припадає приблизно на 2 години ночі, а вже до 9-ї години ранку його вміст у крові падає до мінімальних значень.

Сонячне світло є найсильнішим фактором, що пригнічує діяльність залози епіфіза по виробленню мелатоніну (в самій назві лежить грец. слово

"темрява"). Справді, цей гормон, який виконує ритмо-задаючу, антиоксидантну (протизапальну) та імунно-модуляторну функції, може вироблятися лише у темряві. Найоптимальніші для його виробництва умови – це тривалий сон уночі взимку. Саме в цих умовах мелатонін, який покликаний забезпечити організму правильний перехід до темного часу, максимально виробляється в ядрах гіпоталамуса і потім починає виконувати свою головну роль — забезпечує перебудову біоритмів та включає імунну систему.

Таким чином, мелатонін є гормоном, що володіє унікальними адаптивними можливостями. Порушення його продукції, як кількісно, так і ритму, є пусковим механізмом, що призводить на початкових етапах виникнення десинхрозу, за яким слідує виникнення органічної патології.

Світловий вплив на організм людини під час роботи. Відкриття електричного висвітлення вплинуло на внутрішні біоритми людини, що склалися під впливом природних факторів. Останні дослідження спрямовані на те, як за допомогою штучного освітлення покращити самопочуття та мотивацію працюючих, у тому числі в умовах змінної роботи.

Для забезпечення високої якості висвітлення важливим критерієм є вік працівників, з підвищенням якого зростають і вимоги до висвітлення, оскільки зорова працездатність залежить і від «зорових можливостей».

Промислове освітлення використовується для великої кількості зорових робіт та інтер'єрів у невеликих майстернях і величезних заводських цехах для високоточної роботи та вирішення масштабних виробничих завдань. У промисловості бадьорість має першорядне значення, оскільки не лише чинником настрою, а й працездатності і запобігання нещасним випадкам. Існує ряд досліджень, які показують, що використання

більш високих рівнів освітленості для того, щоб упоратися зі втомою, дають можливість залишатися бадьорими довше. Це доводить, що яскраве світло впливає на неспання через центральну нервову систему.

У металургійній промисловості рівень освітленості має бути збільшений від 300 до 2000 лк. За таких рівнів освітленості виникають біологічні ефекти без оптичного зображення (БОІ-ефекти). При цьому спостерігається підвищення зорової працездатності на 16%, зниження шлюбу на 29%, а кількість нещасних випадків зменшується на 52% - це призводить до зростання продуктивності праці більш ніж на 20%.

Нещодавнє відкриття БОІ-ефектів окулярного світла дозволило розробити нові концепції та опції освітлення для роботи вдень, увечері та вночі. Концептуальний алгоритм побудований на використанні підвищених рівнів освітленості в певний момент часу, а також зміні температури кольорів джерел світла. Таке рішення висвітлення призводить до виграних умов для службовця та наймача, оскільки це покращує самопочуття з одного боку, і підвищує продуктивність праці з іншого боку.

Вимогами існуючих стандартів чи рекомендацій визначено рівні освітленості приміщення офісу за відсутності природного світла в межах 100-500 лк. Нові дослідження показали, що люди віддають перевагу високим рівням додаткового штучного освітлення в приміщенні офісу в середньому близько 800 лк при превалюючому денному освітленні.

На думку фахівців, все ще немає загальної моделі, яка могла б вказати, яким чином достаток явищ, механізмів і понять можна зібрати і систематизувати в практичному керівництві для проектувальника світлотехніка. Поруч із існують публікації, у яких автори підтверджують необхідність перегляду існуючих і правил проектування освітлювальних установок різного призначення.

Стан нормування та можливі шляхи розвитку з урахуванням нових поглядів. В основі існуючих стандартів як вітчизняних, так і міжнародних лежить вимога комфортного виконання зорового завдання для досягнення гарного зорового сприйняття.

Норми висвітлення періодично переглядаються з урахуванням економічних, енергетичних та технічних можливостей суспільства у бік оптимізації умов висвітлення. Область досліджень впливу світла на циркадну систему дуже важлива розуміння того, як створювати оптимальне внутрішнє освітлення.

Необхідний розвиток концепції якості освітлення. При розробці рекомендацій необхідно розширити набір критеріїв, що пред'являються до освітлювальних установок, як це зроблено в посібнику IESNA з нормування, де міститься вказівка для проектувальників, що розглядає відносну важливість даної зони в даному оточенні і таких критеріїв, як яскравість поверхонь даному приміщенні, геометрія розташування ока по відношенню до джерела світла, наявність блиску, кольору, наявність кольору, блиск. Показано необхідність розробки простого способу кількісної оцінки світла, що потрапляє в око спостерігача, а також програмного забезпечення для розрахунку цієї величини з подальшим формуванням нового критерію при створенні норм освітлення.

Чутливість третього типу фоторецепторів сітківки до короткохвильових спектрів випромінювання асоціюється з особливостями спектра природного світла в денний і вечірній час, з обумовленою ними вродженою динамікою активності людини в різні періоди світлового дня. У нормах України регламентується вимога достатнього природного висвітлення у приміщеннях із тривалим перебуванням людей, особливо для дітей та для хворих. На думку вчених, перед дослідниками стоїть завдання оцінки

чутливості нових рецепторів до тих випромінювань, які присутні у спектрі природного світла, але відсутні у спектрах випромінювання найпоширеніших штучних джерел світла. У зв'язку з цим може виникнути необхідність підвищення вимог до максимального використання природного освітлення при вдосконаленні норм та розвитку супутніх будівельних та архітектурних рішень.

Результати досліджень, привели до висновку про більшу чутливість або більшу щільність нового типу фоторецепторів у нижній частині сітківки, оскільки світло, що падає на око зверху і досягає нижньої частини сітківки, впливає сильніше ніж світло, що падає знизу. Максимальна чутливість або більша концентрація рецепторів у нижній частині сітківки пояснює особливу біологічну цінність світла, що надходить зверху, як це має місце під час перебування просто неба. Тому для штучного освітлення важливими є умови, створювані світильниками загального освітлення. При вдосконаленні норм з урахуванням нових відкриттів можливе підвищення біологічної дії світла шляхом підвищення інтенсивності світлового потоку від світильників загального освітлення та використання в них ламп з достатнім випромінюванням у короткохвильовій ділянці спектра видимого світла.

У 2004р. компанія OSRAM вперше представила нову 4-смгову ЛЛ Т8 зі збільшеною часткою випромінювання в синій області спектру $\Delta\lambda = 410 - 460$ нм. Ця лампа отримала назву Lumilux Skywhite. Основні характеристики нових ламп: потужність - 58 Вт, світловий потік > 4650 Лм, колірна температура – 8000 К, індекс передачі кольору > 80 , ЦЕФ = 1,0. Лампи даного типу покращують контрастність та зменшують зорову втому, сприяють поліпшенню розумової та фізичної діяльності. Рекомендується застосування нових ламп на робочих місцях з низьким рівнем природного освітлення або за його відсутності.

Результатом багаторічних досліджень, на думку Г.К. Брейнарда та І. Провенсіо має стати розробка нової системи світлових вимірювань, заснована на відкритті меланопсиновмісних світлочутливих клітин разом з новими спектрами дії для сприйняття світла циркадною системою. Зрештою, вважають учені, має бути розроблена нова система світлових вимірювань, яка враховує, що світло служить регулятором циркадної та ендокринної систем та викликає нейроповедінкові реакції. Така фотометрична система повинна ґрунтуватися на розумінні фізіології нових фоторецепторів та їхньої специфічної спектральної чутливості. Доки це завдання не вирішено, світло, з погляду циркадного ефекту, слід кількісно оцінювати в одиницях опроміненості чи щільності потоку фотонів з чітким визначенням спектрального розподілу енергії випромінювання джерел світла.

Професор Д. Гал запропонував запровадити ефективні циркадні величини аналогічно світловим, тобто. побудувати циркадну метрію – циркадометрію та розробити методи вимірювань для оцінки світлотехнічних систем.

Коефіцієнт циркадної ефективності можна виміряти спектро радіометрами та детекторами, коригованими до функції $s(\lambda)$. Вже є перші результати таких вимірів. Німецькі вчені провели вимірювання з використанням цифрової камери ROLLEI, спектральна чутливість якої подібна до функції циркадної ефективності з (λ) , та вимірювальної камери LMK color, забезпеченої спеціальним коригуючим фільтром. Ці пристрої дозволяють проводити вимірювання асв з просторовою роздільною здатністю. Дослідження проводилися у реальній робочій обстановці (в офісах та промислових приміщеннях). Отримані результати вимірювань асв знаходяться в ділянці між 0,35 і 0,45,

рівні опроміненості, що надають циркадний вплив, становлять від 0,06 Вт/м² до 0,24 Вт/м².

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

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. ОСНОВНІ ВЕЛИЧИНИ І ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з основними величинами і одиницями вимірювання.

План лекції

1. Основні величини і одиниці їх вимірювання.
2. Загальні принципи побудови систем ефективних величин.

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.

2.1. Основні величини і одиниці їх вимірювання

Поле оптичного випромінювання нерозривно пов'язане з перенесенням енергії від

випромінюючого тіла до поглинаючого. Це перенесення здійснюється за допомогою електромагнітних коливань.

Оскільки світлові величини є похідними від енергетичних фотометричних величин, їх доцільно розглядати в сукупності, ґрунтуючись на первинності останніх. (див. рис. 1). Фотометричними називають такі величини та одиниці, які характеризують оптичне випромінювання. Термін "фотометрія" утворений з двох грецьких слів: "фос" - світло і "метрео" - вимірюю і означає світлові виміри. Розрізняють енергетичні фотометричні та редуковані фотометричні системи величин.

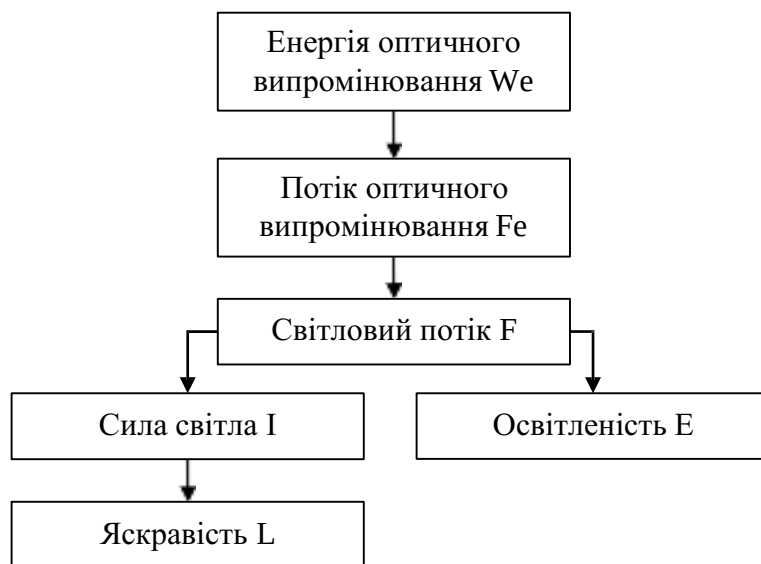


Рис. 1. – Енергетичні величини оптичного випромінювання

Енергетичні величини - характеризують випромінювання безвідносно для його впливу на будь-який приймач випромінювання. Вони виражаються в одиницях, утворених на основі одиниці енергії (джоуль), а в їх позначеннях використовується додатковий індекс "e" (W_e (Φ), F_e , I_e).

Редуковані, або ефективні фотометричні величини характеризують випромінювання, що падає на заданий селективний приймач випромінювання. Якщо як такий приймач служить око людини, такі величини називають «світловими», які сукупність — «системою світлових величин».

Енергія оптичного випромінювання має розмірність, властиву будь-якій формі енергії і вимірюється в джоулях. У практиці частіше потрібно знати не енергію випромінювання, а її потужність (потік випромінювання). Поток випромінювання Φ називають енергію випромінювання, яка переноситься в одиницю часу:

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

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 прийнято називати променистою. Якщо енергія переноситься всією сукупністю довжин хвиль, що входять до складу

випромінювання, то вона називається інтегральною та вимірюється в тих самих одиницях, що й інші види енергії (джоуль, електрон-вольт).

Загальна потужність, що переноситься електромагнітним випромінюванням незалежно від його спектрального складу, у світлотехніці отримала назву потік випромінювання або променистий потік, позначається F_e і вимірюється у ватах:

$$F_e = W_e/t$$

Світловий потік - це потік випромінювання, що оцінюється його дією на око, відносна спектральна чутливість якого визначається усередненою кривою спектральної ефективності, затвердженої МКО (рис. 2).

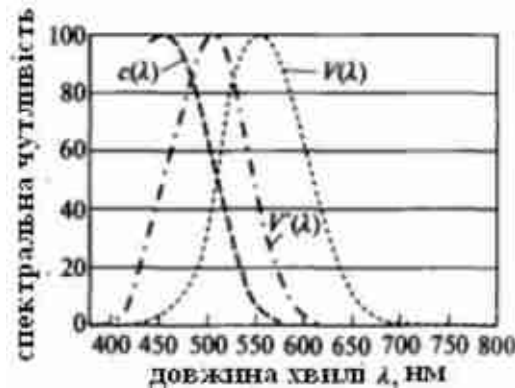


Рис. 2 – Функція спектральної світлової ефективності для денного $v(\lambda)$, нічного $v'(\lambda)$ зору і пригнічення мелатоніна $c(\lambda)$ (циркадна дія)

У світлотехніці використовується і таке визначення світлового потоку: світловий потік - це потужність світлової енергії. Одиниця світового потоку - люмен (лм). 1лм відповідає світловому потоку, випромінюючого в одиничному тілесному куті точковим ізотропним джерелом з силою світла 1 кд. Енергія випромінювання визначається кількістю квантів, які випромінюються випромінювачем у простір. Енергію випромінювання (променеву енергію) вимірюють у джоулях. Кількість енергії, яка випромінюється в одиницю часу називається **поток**ом випромінювання або **променевим** **поток**ом. Вимірюється потік випромінювання у ватах. Позначається Φ_e :

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

де Q_e – енергія випромінювання.

Потік випромінювання характеризується розподілом енергії в часі і в просторі.

У більшості випадків, коли говорять про розподіл потоку випромінювання в часі, не враховують квантового характеру виникнення випромінювання, а розуміють під цим функцію, що дає зміну в часі миттєвих значень потоку випромінювання $\Phi(t)$. Це допускається, оскільки число фотонів, випромінюваних джерелом в одиницю часу, дуже велике.

За спектральним розподілом потоку випромінювання джерела розбивають на три класи: з лінійчатим, смугастим і суцільним спектрами. Потік випромінювання джерела з лінійчатим спектром складається з монохроматичних потоків окремих ліній:

$$\Phi_e = \Phi_{\lambda 1} + \Phi_{\lambda 2} + \dots + \Phi_{\lambda n}$$

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. Розподіл випромінювання реального джерела в навколишньому просторі не рівномірний. Тому світловий потік не буде вичерпною характеристикою джерела, якщо одночасно не визначається розподіл випромінювання по різних напрямках навколишнього простору. Для характеристики розподілу світлового потоку користуються поняттям просторової щільності світлового потоку в різних напрямках навколишнього простору. Просторову щільність світлового потоку, що визначається відношенням світлового потоку до тілесного кута з вершиною в точці розміщення джерела, в межах якого рівномірно розподілений цей потік, **називають силою світла**:

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

де Φ - світловий потік; w - тілесний кут.

Одиницею сили світла є кандела. $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$. Це сила світла, що випускається в перпендикулярному напрямку елементом поверхні чорного тіла, площею $1:600000 \text{ м}^2$ при температурі затвердіння платини.

Освітленість. *Освітленість* - це кількість світла або світлового потоку, що падає на одиницю площі поверхні. Вона позначається буквою E і вимірюється в люксах (лк). Один люкс дорівнює одному люмену на метр квадратний ($\text{лм}/\text{м}^2$). Освітленість можна визначити як щільність світлового потоку на освітлюваній поверхні:

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

В таблиці 1. приведено декілька прикладів освітленості.

Таблиця №1

«Освітленість»

Літо, день під безхмарним небом	100000 лк
Вуличне освітлення	5 – 30 лк
Повний місяць в ясну ніч	0,25 лк

Для характеристики поверхонь, які світяться за рахунок світлового потоку, який проходить через них або відображається від них, служить відношення випромінюючого елементу поверхні світлового потоку до площі цього елемента. Ця величина називається **світністю**:

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

Світність - це щільність світлового потоку, що випускається світловою поверхнею. Одиницею світності служить люмен на метр квадратний світлової поверхні, що відповідає поверхні площею 1 м^2 , яка рівномірно випромінює світловий потік 1 лм . У разі загального випромінювання вводиться поняття енергетичної світності випромінюючого тіла (M_e). Одиниця енергетичної світності - $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Світність в цьому випадку можна виразити через спектральну щільність

енергетичної світності випромінюючого тіла $M_{\epsilon\lambda}(\lambda)$:

$$M = 683 \int_0^{\infty} M_{\epsilon\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

Для порівняльної оцінки наводимо енергетичні світності до світності деяких поверхонь:

Поверхня сонця - $M_e = 6 \cdot 10^7$ Вт/м²;

Нитка лампи розжарювання - $M_e = 2 \cdot 10^5$ Вт/м²;

Поверхня сонця в зеніті - $M = 3,1 \cdot 10^9$ лм/м²;

Колба люмінесцентної лампи – $M = 22 \cdot 10^3$ лм/м².

Яскравість. Яскравість - це сила світла, випромінювана одиницею площі поверхні в певному напрямку. Одиниця виміру яскравості - кандела на метр квадратний (кд/м²). Поверхня сама по собі може випромінювати світло, як поверхня лампи, або відбивати світло, що поступає з іншого джерела, наприклад поверхні дороги. Поверхні з різними властивостями відображення при однаковій освітленості будуть мати різну ступінь яскравості.

В таблиці 2 приведено яскравість деяких джерел.

Таблиця №2

«Яскравість джерел»

Назва	Яскравість
Поверхня сонця	2000000000 кд/м ²
Люмінесцентні лампи	5000 до 15 000 кд/м ²
Поверхня повного місяця	2500 кд/м ²
Штучне освітлення дороги (30 лк)	2 кд/м ²

Вживані в практиці джерела оптичного випромінювання дають, як правило, складний потік, що складається з випромінювань з різними довжинами хвиль. Спектральний розподіл потоку випромінювання джерела із суцільним спектром можна зобразити у прямокутній системі координат з осями: потік випромінювання - довжина хвилі (рис. 3. а).

Значення потоку випромінювання відкладаються у вигляді прямокутників шириною $\Delta\lambda$ і висотою, що дорівнює в деякому масштабі однорідному потоку на цій ділянці. Однак таким графіком користуватися незручно, а й крім того, він є наближеним, умовним. У практиці розподілення випромінювання по спектру визначають значенням **спектральної щільності потоку** випромінювання. Спектральна щільність φ_λ (Вт·нм⁻¹) чисельно дорівнює відношенню однорідного потоку $\Delta\Phi$ до ширини смуги спектру $\Delta\lambda$, на якій виміряне однорідний потік:

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

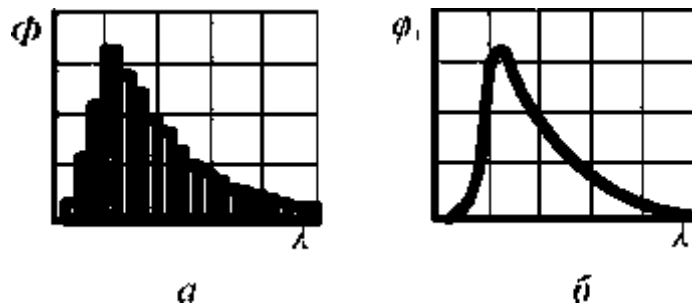


Рис. 3. – Спектральний розподіл потоків випромінювання із загальним спектром (а) та спектральна щільність потоку випромінювання (б)

Приймаючи $\Delta\lambda$, що прагне до нуля, отримаємо в межах:

$$\varphi\lambda = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_{\lambda}}{\Delta\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{d\lambda}$$

Функція спектральної щільності потоку випромінювання зазвичай будується в прямокутній системі координат (рис. 1,б). Інтегруючи задану функцію спектральної щільності в межах оптичної частини спектру, отримаємо значення потоку випромінювання (Bm) даного джерела:

$$\Phi = \int_{\lambda=1,0_{м.м}}^{\lambda=1,0_{м.м}} \varphi(\lambda) d\lambda$$

Функція спектральної щільності потоку випромінювання є основною характеристикою джерела енергії випромінювання, тому що дозволяє оцінити і спектральний склад потоку випромінювання і його значення. Вона може бути представлена як у вигляді графіка, так і у вигляді таблиці, в якій дані спектральної щільності наводяться зазвичай з інтервалом в 10 нм. Значення потоку випромінювання може бути обчислено як площа, обмежена кривою $\varphi(\lambda)$ та віссю абсцис при відомих масштабах по осях.

Просторова щільність потоку випромінювання джерела називається **силою випромінювання** ($Вт \cdot sr^{-1}$) і визначається відношенням потоку випромінювання до тілесного кута, в якому він укладений і рівномірно розподілений:

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

Щільність випромінювання ($Вт \cdot м^{-2}$) являє собою відношення потоку випромінювання до площі випромінюючої поверхні:

$$R = \frac{d\Phi}{dS_e}$$

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

Важливою для розрахунків величиною є **опроміненість** (щільність опромінення). Вона визначається відношенням потоку випромінювання, що падає на опромінюючу поверхню і рівномірно розподілений по ній, до площі цієї поверхні ($Вт \cdot м^{-2}$):

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

Одиницею виміру опромінення, як і для вимірювання щільності випромінювання, служить $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$. Різниця між цими величинами полягає лише в тому, що поняття щільності випромінювання належить до випромінювача і характеризує його, а поняття опромінення відноситься до опромінюваної поверхні.

Оскільки процес перетворення випромінювання в інші види енергії визначається не тільки значенням опромінення приймача і спектральним складом випромінювання, але і тривалістю опромінення, важливе значення має величина, яка називається кількістю опромінення.

Кількість опромінення H ($\text{Вт} \cdot \text{с} / \text{м}^2$) представляє собою значення енергії випромінювання, яка впала на одиницю опромінюваної поверхні протягом часу опромінення. У загальному випадку:

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

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

2.2. Загальні принципи побудови систем ефективних величин (видимого, ультрафіолетового, випромінювання, що використовується в рослинництві).

При розрахунку світлотехнічної установки треба знати і враховувати не тільки властивості джерела, а й властивості приймачів енергії випромінювання.

Основними енергетичними характеристиками любого приймача є його інтегральна і спектральна чутливість.

Інтегральна чутливість приймача, тобто чутливість до складного випромінювання, характеризується відношенням ефективної частини енергії до всієї енергії випромінювання, що падає на приймач. У загальному випадку інтегральна чутливість приймача випромінювання g може бути виражена 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 поглинання енергії випромінювання і вибірковістю реакції на поглинену енергію. Для оцінки чутливості приймача до однорідних випромінювань введено поняття спектральної чутливості, яка представляє собою відношення однорідних потоків, падаючих на приймач - ефективного потоку до повного:

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

де dF_λ - ефективний потік однорідного випромінювання при даній довжині хвилі; $d\Phi_\lambda$ - повний потік однорідного випромінювання при тій же довжині хвилі. dF_λ визначає собою

міру реакції даного приймача на падаюче на нього випромінювання, тому висловлюється в одиницях, що характеризують цю реакцію. Наприклад, якщо приймачем служить фотоелемент, то $dF\lambda$ може бути виражений в одиницях, що характеризують фотоэффект - амперах. При фотохімічних приймачах $dF\lambda$ може виражатися кількістю речовини, яка вступила в реакцію за одиницю часу. Отже, значення спектральної чутливості виражається іменним числом: $\text{лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$, $\text{А}\cdot\text{Вт}^{-1}$ і т. п.

Спектральна чутливість селективних приймачів випромінювання, виражена графічно, являє собою криву $g(\lambda) = f(\lambda)$, що має максимум у певних частинах спектра. Якщо цей максимум прийняти за одиницю, то спектральна чутливість приймача до випромінювання з даною довжиною хвилі може бути виражена відносною величиною в частках від максимальної:

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

Знання потоку випромінювання даного джерела або створеного ним опромінення, вираженого в енергетичних одиницях, ще не дає достатніх підстав для того, щоб передбачати результат впливу випромінювання на приймач випромінювання. Для того щоб передбачити і розрахувати результат дії потоку випромінювання відомої величини на приймач, необхідно оцінити цей потік за рівнем реакції на нього приймача випромінювання.

Для спрощення розрахунків і полегшення кількісної оцінки процесу перетворення енергії випромінювання введено поняття ефективного потоку, під яким розуміється потужність випромінювання, оцінена за рівнем реакції на нього приймача енергії випромінювання. Пояснимо зміст поняття ефективного потоку на наступному прикладі. На рис. 2 (а) зображена функція спектральної щільності випромінювання джерела.

Для спрощення висновку прийнято, що $\phi(\lambda) = \text{const}$ в межах деякої частини спектра. Площа фігури a, b, c, d , як відомо, являє собою в певному масштабі значення потоку випромінювання джерела. Відносна спектральна чутливість приймача енергії випромінювання приведена на рис. 4 (б). Виділимо на графіку $\phi(\lambda)$ рівні за значенням потоку випромінювання $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$.

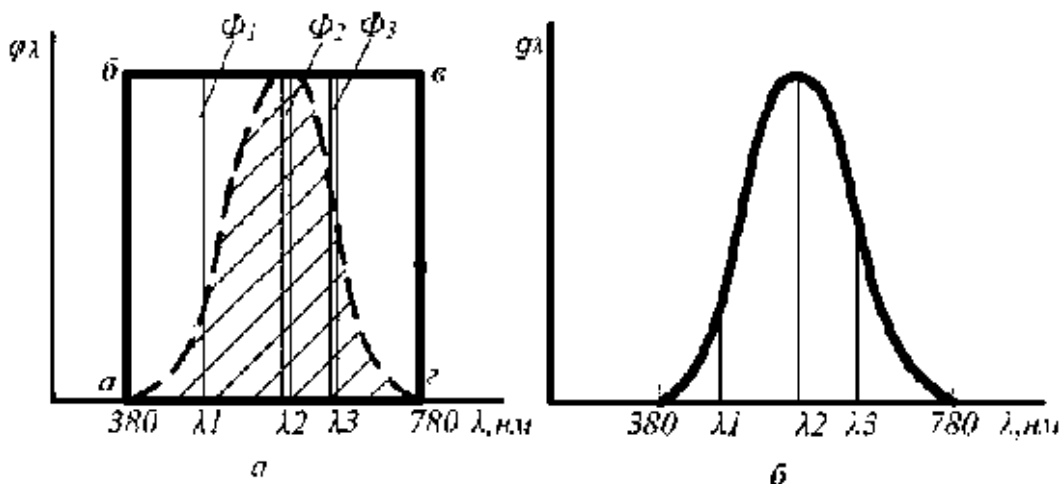


Рис. 4 – До пояснення «ефективний потік випромінювання»

Чи приведе їх енергетично рівний вплив на приймач до однакової його реакції?

Реакція приймача буде пропорційна добутку потоку однорідного випромінювання на спектральну чутливість приймача при даній довжині хвилі. Ця похідна і представляє собою ефективний потік, тобто потік випромінювання, оцінений за рівнем реакції на нього приймача випромінювання

$$F_1 = \Phi_1 g_{\lambda 1}; \quad F_2 = \Phi_2 g_{\lambda 2}; \quad F_3 = \Phi_3 g_{\lambda 3}$$

Причому в нашому прикладі $F_1 < F_2 > F_3$. Множачи ординати кривої $\phi(\lambda)$ на відповідні їм значення $g(\lambda)$, можна одержати на графіку (рис. 4, а) криву. Площа, обмежена віссю абсцис і цієї кривої, являє собою значення ефективного потоку даного джерела. Таким чином, у загальному випадку для випромінювання з суцільним спектром чисельне значення ефективного потоку можна визначити за виразом:

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

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

Використовуючи поняття відносної спектральної чутливості, ефективний потік можна визначити за наступним виразом:

$$F = (g_{\lambda})_{\max} \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \phi(\lambda) K(\lambda) d(\lambda)$$

Вибір одиниць вимірювання ефективного потоку залежить від типу приймача і міри його реакції (струм в колі фотоелемента, швидкість фотохімічної реакції і т. п.). Слід зазначити, що не для всіх приймачів можна встановити міру реакції і виміряти її. До числа таких приймачів в першу чергу відносяться біологічні.

З визначення ефективного потоку слідує, що він оцінюється рівнем реакції на нього приймача і тільки цим відрізняється від потоку випромінювання. Це дає підставу для побудови систем ефективних величин за аналогією з системою енергетичних величин. Однак із-за великого числа приймачів енергії випромінювання, що володіють різними залежностями чутливості, не представляється можливим мати одну систему ефективних величин. Число різних систем ефективних величин разом з тим не повинно бути великим, так як це ускладнило б практичні розрахунки. В даний час у практиці розрахунків та проектування освітлювальних і опромінювальних установок використовують чотири системи ефективних величин. Кожна з таких систем будується на основі спектральної чутливості якого-небудь одного з близьких за спектральної чутливості приймачів. Цей приймач називають еталонним, якщо він задовольняє наступним вимогам:

- реагує на будь-які однорідні випромінювання в тому діапазоні спектра, в межах якого розташовані криві спектральної чутливості всіх приймачів даної групи;
- міра реакції приймача при опроміненні його піддається безпосередньому чи непрямому вимірюванню;
- ефективні величини системи, побудованої на основі еталонного приймача, мають адитивність, тобто властивість, що дозволяє обчислити ціле шляхом простого підсумовування складових.

Слід зазначити, що жодна із систем ефективних величин: бактерицидних, еритемних, світлових та фіто-величин - повною мірою не задовольняє перерахованим

вище вимогам. Лише система світлових величин визнана в міжнародному масштабі в 1924 р., незважаючи на властиві їй недоліки, аналогічні недолікам трьох інших перерахованих систем. Однак практика в нашій країні і за кордоном показує, що використання систем ефективних величин, незважаючи на їхні недоліки, дозволяє домагатися більших результатів у практичному використанні оптичного випромінювання, наприклад, у сільськогосподарському виробництві.

У практиці розрахунку освітлювальних установок дуже часто виникає потреба обчислювати освітленість за відомою силою світла джерела випромінювання. Установимо залежність між цими величинами.

Точкове джерело світла A (рис. 5) освітлює елементарний майданчик dS на поверхні q . Сила світла джерела в напрямку освітлюваної площі Id . Кут між нормалью до елемента поверхні і напрямком сили світла β . Елементарний тілесний кут $d\omega$, в межах якого розподілено світловий потік, падаючий на майданчик dS , можна визначити виходячи з найпростіших геометричних співвідношень:

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

Тоді світловий потік, падаючий на майданчик dS ,

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

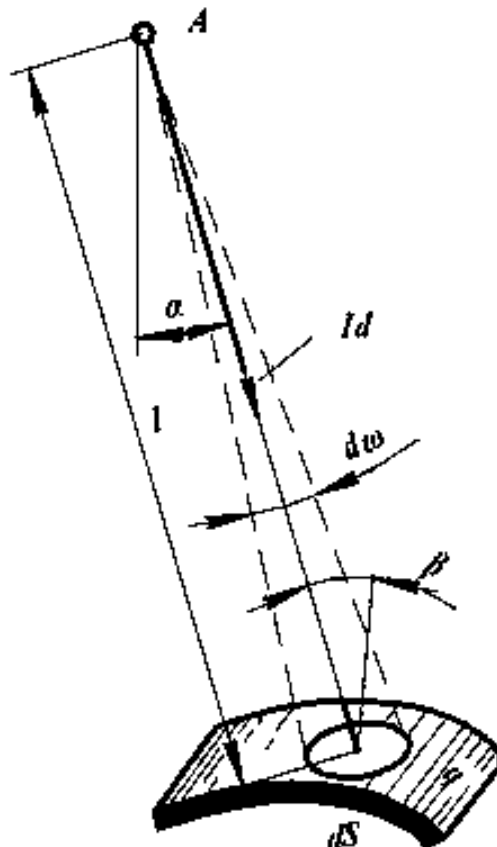


Рис. 5 – До висновку відношення між силою світла і освітленістю

Освітленість майданчика dS отримаємо за висловом:

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

Таким чином, освітленість поверхні в даній точці прямо пропорційна силі світла і косинусу кута між вектором сили світла і нормаллю до освітлюваної поверхні і обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла до точки.

Для характеристики енергії випромінювання в ультрафіолетовій частині спектра користуються системами ефективних величин: бактерицидної і еритемної.

В якості еталонного приймача енергії випромінювання для системи бактерицидних величин прийняті бактерії, для яких відома відносна спектральна чутливість до випромінювань з різними довжинами хвиль. Відносна бактерицидна ефективність однорідних випромінювань графічно зображена на рис. 6.

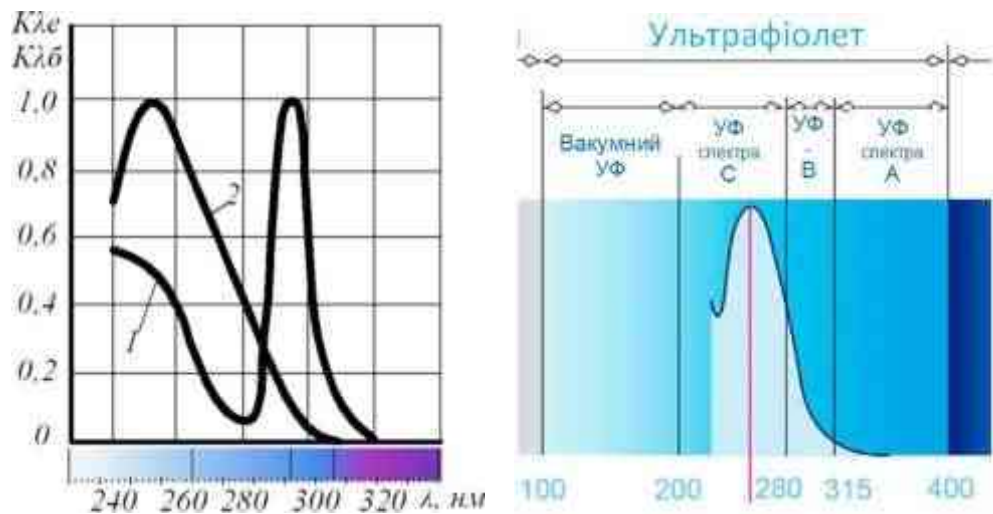


Рис. 6 – Спектр дії ультрафіолетового випромінювання: 1 - спектр еритемної дії УФ випромінювання; 2- спектр бактерицидної дії УФ випромінювання.

Максимальну чутливість бактерії знаходять до однорідних випромінювань з довжиною хвилі $\lambda = 254 \text{ нм}$, тобто максимальна ефективність знищення бактерій має монохроматичне випромінювання при $\lambda = 254 \text{ нм}$.

Бактерицидний потік. Вихідною величиною в системі бактерицидних величин служить **бактерицидний потік**, який визначається як потік випромінювання, оцінений за його бактерицидну дію, тобто за ефективністю знищення бактерій.

$$\Phi_E = \int_{\lambda=240 \text{ нм}}^{\lambda=300 \text{ нм}} \varphi(\lambda) K(\lambda)_E d\lambda$$

Одиницею бактерицидного потоку прийнято вважати бакт, чисельно рівний випромінювання потужністю в 1 Вт при $\lambda=254 \text{ нм}$. У практиці часто користуються величиною мікробакт, яка дорівнює $1 \cdot 10^{-6}$. Щільність бактерицидного потоку по поверхні опромінюється тіла називається **бактерицидним опроміненням** ($\text{б} \cdot \text{м}^{-2}$ або $\text{мкб} \cdot \text{м}^{-2}$):

$$E_b = \frac{d\Phi_E}{dS}$$

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.
 - Бактерицидний потік. Сила бактерицидного потоку. Кількість бактерицидного потоку.
 - Еритемний потік. Основні величини оптичного випромінювання, яке використовується в рослинництві і одиниці його вимірювання.

ТЕМА №3. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з основними приладами для вимірювання оптичного випромінювання, їх будовою та призначенням.

План лекції

1. Оптичні властивості тіл.
2. Вимірювальні приймачі оптичного випромінювання.
3. Люксметри.
4. Прилади для вимірювання ультрафіолетового і 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.

3.1. Оптичні властивості тіл

В установках і приладах для освітлення і опромінення для вимірювання оптичного випромінювання застосовують різноманітні матеріали, як прозорі, так і непрозорі. При проектуванні та експлуатації освітлювальних і опромінювальних установок необхідно знати основні оптичні (світлотехнічні) властивості матеріалів.

Потік випромінювання, що падає на тіло з непрозорого матеріалу, частково

поглинається ним, а частково відбивається. Якщо тіло прозоре, то, крім відображення і поглинання, частина потоку випромінювання воно пропускає. Для кількісної оцінки відображення, поглинання і пропускання користуються відповідними коефіцієнтами.

Коефіцієнтом відображення ρ називають відношення потоку випромінювання Φ_ρ , відбитого тілом, до потоку випромінювання Φ , падаючого на нього:

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

Коефіцієнт поглинання α дорівнює відношенню потоку випромінювання Φ_α , поглиненого тілом, до потоку випромінювання, що падає на нього:

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

Коефіцієнт пропускання τ дорівнює відношенню потоку випромінювання Φ_τ , що пройшов крізь тіло, до потоку випромінювання, що падає на нього:

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

Коефіцієнти відбиття, поглинання і пропускання можуть ставитися до інтегрального потоку випромінювання, потоків випромінювання окремих ділянок оптичного спектру (видимий, ультрафіолетовий, інфрачервоний) або до ефективних потоків (світловий, еритемний, бактерицидний і т. д.). Відповідно до закону збереження енергії у всіх випадках:

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

Отже, для одного і того ж падаючого на тіло потоку:

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

Більшість матеріалів відбиває і поглинає випромінювання вибірково, тобто їх коефіцієнти відбивання і поглинання для різних довжин хвиль не однакові. Тому користуються поняттями спектральних коефіцієнтів відбиття ρ_λ , поглинання α_λ та пропускання τ_λ . Аналітично вони визначаються наступними 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.

В залежності від властивостей поверхні тіла і внутрішньої структури відбитий і пропущений ним потік випромінювання може по-різному розподілятися у просторі. Розрізняють три види відображення і пропускання: 1) спрямоване, 2) розсіяне (дифузне) і 3) направлено-розсіяне (рис. 1).

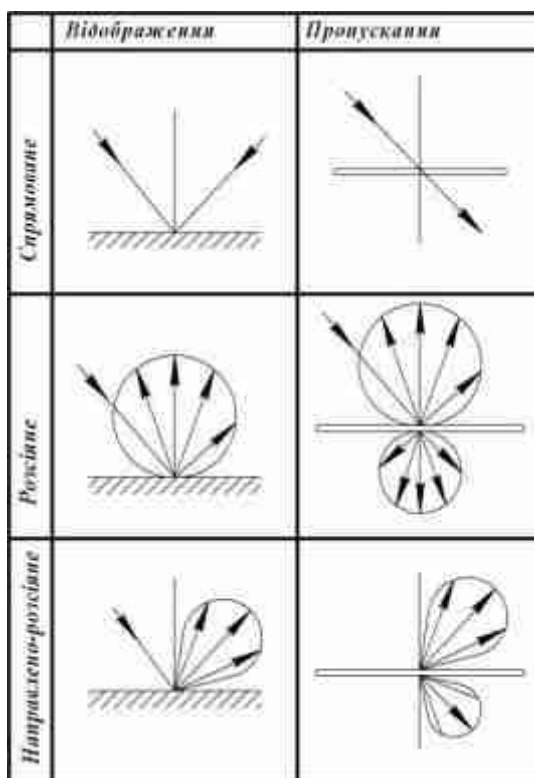


Рис. 1 – Різновидності відбивання і пропускання потоку оптичного випромінювання

Спрямованим (дзеркальним) відображенням мають гладкі поверхні, у яких розміри нерівностей малі в порівнянні з довжиною хвилі падаючого випромінювання (полірований метал, дзеркальне скло). При направленому відображенні кут відбиття дорівнює куту падіння, а відбитий промінь перебуває в одній площині з падаючим променем і перпендикуляр до поверхні, що відбиває в точці падіння. Ідеальні дзеркала мають яскравість тільки в напрямку відбитого променя, а у всіх інших напрямках їх яскравість дорівнює нулю.

При направленому пропусканні значення тілесного кута, в межах якого поширюється пройдений потік, також залишається незмінним.

У випадку розсіяного або дифузного відбиття і пропускання від плоскої поверхні тілесний кут, в межах якого поширюється відбитий або пройдений тілом потік випромінювання, дорівнює 2π . Відображене активне випромінювання при цьому поширюється рівномірно по всіх напрямках півсфери. Яскравість такої поверхні у всіх напрямках практично однакова.

У поверхонь з розсіяним відображенням (гіпс, фарба) нерівності значно перевищують довжину хвилі падаючого випромінювання. Дифузні пропускання має молочне скло. Об'ємне розсіювання випромінювання обумовлено наявністю в їх складі частинок речовин з різними показниками заломлення.

Матеріалів з ідеально дзеркальним, ідеально дифузним відображенням або пропусканням в природі немає. У існуючих матеріалів є обидві різновиди відбиття або пропускання одночасно. У опромінюючих і освітлювальних приладах застосовують матеріали з направлено-розсіяним відображенням і пропусканням.

3.2. Вимірювальні приймачі оптичного випромінювання

В залежності від фізичних явищ, які визначають принцип дії, приймачі оптичного випромінювання поділяються на три групи: фотоелектричні, фотоелектронні і теплові.

Фотоелектричні приймачі випромінювання (фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, напівпровідникові фотоелементи із закриваючим шаром) засновані на *внутрішньому фотоефекті*. По конструктивному виконанню вони відносяться до напівпровідникових приладів. Внутрішній фотоефект проявляється у зміні провідності матеріалів під дією оптичного випромінювання.

Фотодіоди - це структура, в якій при поглинанні фотона утворюється пара електрон - дірка. Виникаюча різниця потенціалів є мірою потоку випромінювання (див. рис. 2).



Рис. 2. – Зображення фотодіода

Фототранзистори є структурою, базова область якої може опромінюватися світлом. Фототранзистор служить, таким чином, одночасно і підсилювачем фотоструму, тому в порівнянні з фотодіодом він має на порядок велику чутливість, проте менша швидкодія.



Рис. 3. – Зображення фототранзистору

Фоторезистори — це напівпровідникові елементи, що міняють свою електропровідність під дією випромінювання. Завдяки великій потужності розсіювання, що допускається, за допомогою фоторезисторів можна комутувати великі струми, достатні для перемикання електромагнітних реле.

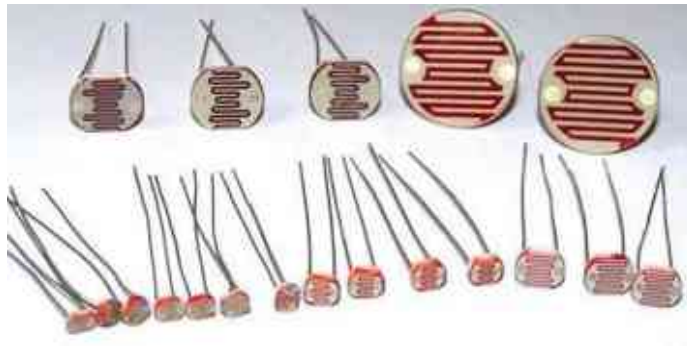


Рис. 4. – Зображення фоторезисторів

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом виконуються зазвичай у вигляді скляного вакуумованого або газонаповненого балона, усередині якого розміщуються анод і катод у вигляді фоточутливого шару, нанесеного на внутрішню поверхню балона.

При освітленні фотокатода звільняються електрони, і при підключенні анодної напруги від зовнішнього джерела виникає фотострум, пропорційний потоку випромінювання.

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом володіють високим внутрішнім опором і працюють при великих різницях потенціалів, тому їх вихідні сигнали можна використовувати безпосередньо для управління виконавчими пристроями.

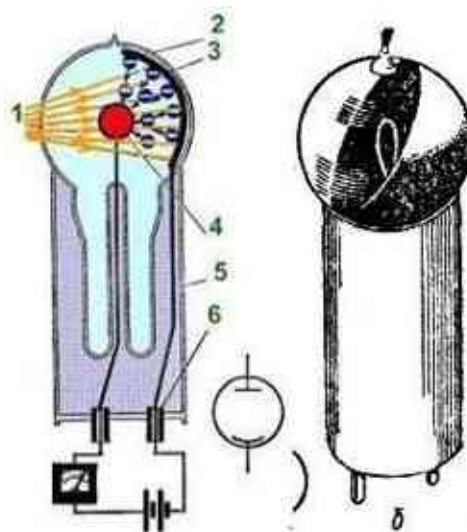


Рис. 5 – Зображення фотоелемента із зовнішнім фотоелементом

Фотоелемент з зовнішнім фотоелементом (рис. 5) розміщений у скляній колбі 2, де створено вакуум (у вакуумному фотоелементі) або яку після відкачування повітря заповнено розрідженим газом (аргоном з низьким тиском — в іонних фотоелементах). Внутрішню поверхню колби, за винятком невеликого «вікна» для проходження світлового потоку 1, покрита фотокатодом 3, що являє собою шар срібла з нанесеним на нього напівпровідниковим шаром оксиду цезію. Анод 4 фотоелемента виготовлено у вигляді кільця, щоб він не перекривав шлях світловому потоку до катода. Колбу розміщують у

пластмасовому цоколі 5, у нижній частині якого знаходяться контактні штирки 6 з виводами від анода й катода.

Фотоелектронний помножувач (ФЕУ) (рис. 6) — це пристрій, що містить в одному балоні вакуумний фотоелемент і вторинний електронний підсилювач. Потік випромінювання звільняє з фотокатода електрони, які розганяються в електричному полі і фокусуються на емітери (диноди). При попаданні кожного прискореного електрона на динод звільняється від 5 до 10 нових електронів. Фотопомножувачі можуть мати 9 – 14 динодів і збільшувати загальне число фотоелектронів в 109 разів.



Рис. 6. – Зображення фотоелектронного помножувача

Розглянувши вимірювальні приймачі оптичного випромінювання, можна сказати, що енергія оптичного випромінювання переводить електрони кристалічної решітки матеріалу в вільний стан, що збільшує провідність матеріалу. На вказаному явищі заснована більша частина розглянутих приймачі оптичного випромінювання, як приклад можна представити дію фоторезисторів. Будова фоторезистора показана на рис. 7, а.

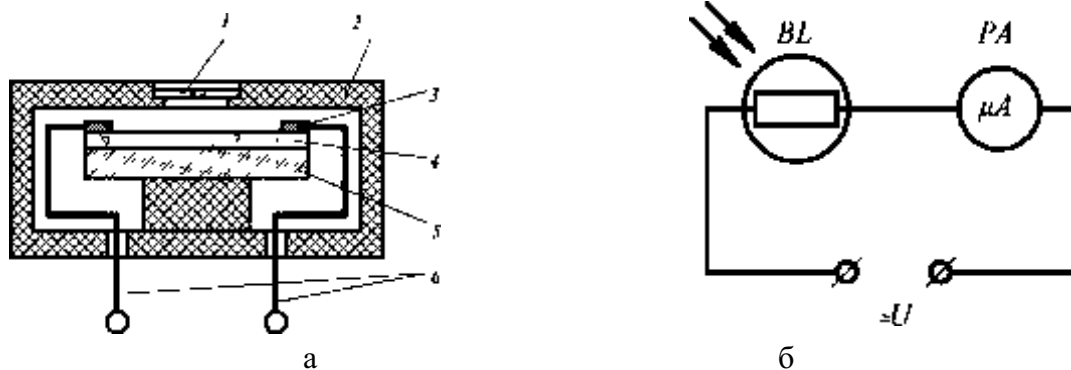


Рис. 7 – Конструкція (а) і схема включення фото резистора (б): 1 - захисний прозорий шар; 2 - корпус; 3 - електрод; 4 - шар напівпровідника; 5 - підкладка (ізолятор); 6 - виводи.

Фоторезистор можна включати в коло постійного або змінного струму. Під дією оптичного випромінювання провідність фоторезистора збільшується, і струм в колі зростає. Спектральні характеристики деяких фоторезисторів приведено на рис. 8.

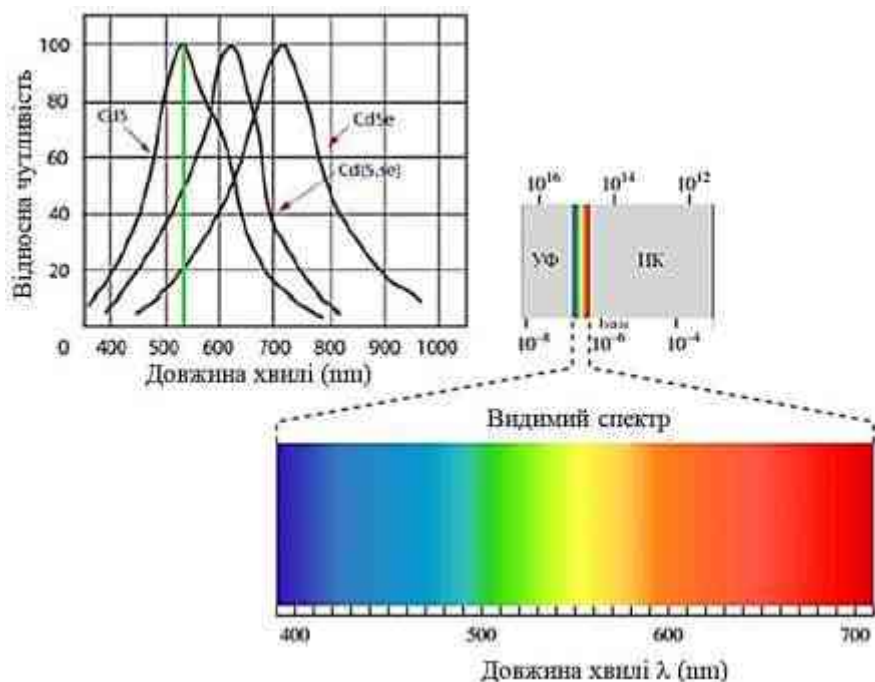


Рис. 8 – Спектри чутливості фоторезисторів

Пік чутливості фоторезисторів припадає на випромінювання з довжиною хвилі 540 (0,54 мкм) та 560 нм (0,56 мкм), що відповідає зеленому кольору. Для роботи в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, який невидимий для людського ока, застосовують фоторезистори на основі сполук свинцю (PbS, PbSe), індію (InSb), а також германію Ge та кремнію Si, легованих домішків.

Далі зображено графік (рис. 9) спектральної чутливості інфрачервоних фотопровідних детекторів серії РВ45. Чутливий елемент виконаний з селеніду свинцю PbSe.

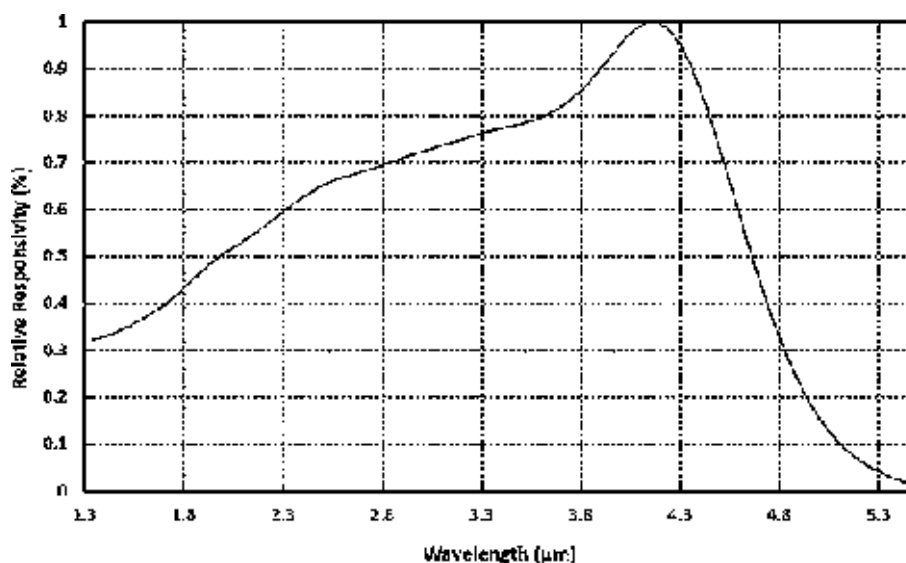


Рис. 9 – Спектральної чутливості інфрачервоних фотопровідних детекторів

Область спектральної чутливості даних детекторів лежить в інтервалі від 1 до 4,7

мікрометрів (μm), а пік чутливості посідає випромінювання з довжиною хвилі 4 мікрометри.

Під дією оптичного випромінювання збільшується провідність і напівпровідникових матеріалів у фотодіодах і фототранзисторах. При опроміненні p - n переходів зворотний струм приладу збільшується. Фотодіоди та фототранзистори, як датчики оптичного випромінювання використовуються в колах постійного струму при зустрічному включенні щодо полярності джерела живлення. На рис. 10 показана схема вимірювача опроміненості з фотодіодом.

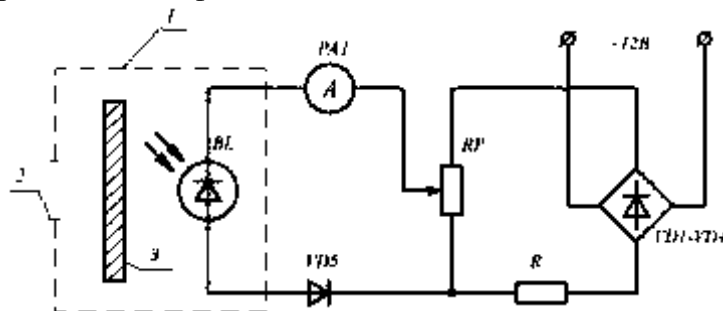


Рис. 10 – Схема вимірювача опроміненості з фотодіодом: BL - фотодіод ФД-6Г; RP - потенціометр; PA1 - мікроамперметр; R – обмежуючий опір; VD1...VD4 - випрямний міст; VD5 – блокуючий діод; 1 - корпус вимірювача; 2 – вікно; 3 - світлофільтр.

Зворотна провідність фотодіода в режимі, який показано на рис. 4 пропорційний опроміненості і не залежить від величини зовнішнього опору. Спектральні характеристики деяких фотодіодів приведено на рис. 11.

Фотоелементи з внутрішнім фотоелементом мають досить високу чутливість до випромінювань ультрафіолетової, видимої та інфрачервоної частин спектру. Поріг чутливості в них досягає 10^{-11} Вт, однак їм властиві такі недоліки, як нелінійна залежність фотоструму від опромінення, яскраво виражена залежність характеристик приладу від температури.

Вказані недоліки ускладнюють використання фотоелементів з внутрішнім фотоелементом для вимірювання оптичного випромінювання.

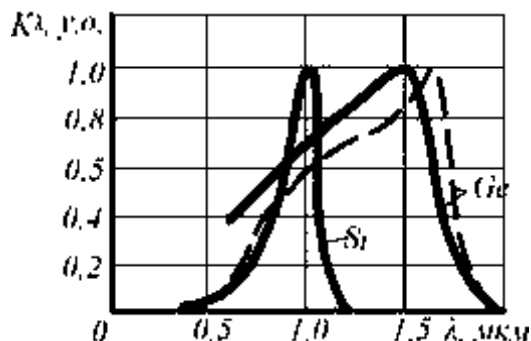


Рис. 11 – Спектри чутливості фотодіодів на основі германію (Ge) і кремнію (Si)

Дія фотоелементів із запираючим шаром заснована на явищі виникнення електрорушійної сили на електродах приладу при впливі на нього оптичного

випромінювання. Вентильний фотоелемент (рис. 12) являє собою струмопровідну підкладку 1, на яку нанесено шар напівпровідника 2 (окис міді, селен, сірчисте срібло) і тонкий прозорий електрод 3 з срібла, золота або платини.

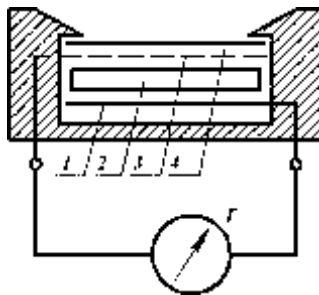


Рис. 12 – Вентильний фотоелемент

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 за рахунок вентильних властивостей запираючого шару неможливий. Накопичення зарядів протилежного знаку на електродах створює різницю потенціалу, під дією якої в зовнішньому колі із вимірювальним приладом Γ 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) засновані на *зовнішньому фотоефекті*.

Зовнішній фотоефект проявляється в емісії електронів матеріалу катода при опроміненні їх енергією оптичного випромінювання.

Катооди фотоелементів виготовляють з матеріалів, що мають властивість поглинати оптичне випромінювання необхідного діапазону хвиль і випускати електрони під дією цього випромінювання.

Фотоелементи можуть бути вакуумними і газонаповненими. У вакуумних елементах фотострум визначається потоком електронів, які залишили катод під дією випромінювання. У газонаповнених фотоелементах фотострум підсилюється за рахунок іонізації інертних газів порожнини колби фотоелемента під дією потоку електронів, які покинули катод при його опроміненні.

На рис. 13 зображено фотоелемент із зовнішнім фотоефектом і його схема включення.

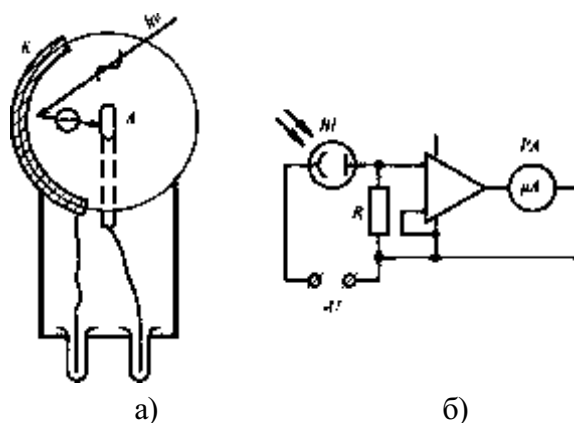


Рис. 13 – Фотоелемент із зовнішнім фотоелементом: а) конструкція; б) принципова електрична схема

Ефективний квант, що володіє певним рівнем енергії, «вибиває» з катода K електрон, який в електричному полі балона направляється до анода A , викликаючи фотострум в зовнішньому колі. Фотострум пропорційний числу ефективних квантів. Для отримання такого ж струму від сусідніх (активних) квантів потрібно більшу їх кількість. Кванти, частота яких знаходиться за межами чутливості фотоелемента, фотоструму не викликають незалежно від їх енергій. Катоди фотоелементів виконуються з різних з'єднань срібла, цезію, сурми і кисню, що мають малу роботу виходу електронів. Реакція фотоелемента на випромінювання оцінюється фотострумом тому його інтегральна чутливість $K\phi$ до джерела A вимірюється в $A/лм$. Чутливість фотоелемента можна значно підвищити, наповнивши його балон інертним газом. Електрон, прискорений електричним полем міжелектродного простору, вириває з нейтральної молекули інертного газу додаткові електрони, збільшуючи фотострум. Чутливість може бути ще більш збільшена, якщо в балоні фотоелемента встановити кілька додаткових електродів з поступово пониженим потенціалом від анода до катода. Такі фотоелементи називаються фотопомножувача. На рис. 14 показано принципову схему вмикання фотопомножувача.

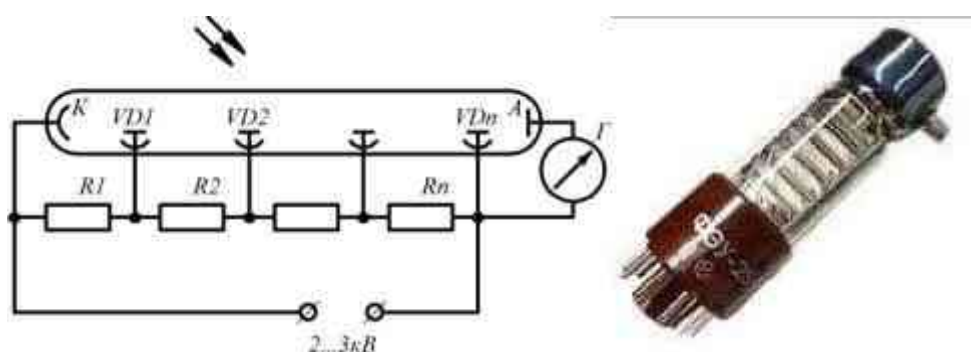


Рис. 14 – Принципова схема вмикання фотоумножувача: K – катод; $VD1...VDn$ – діоди; A – анод; $R1...Rn$ – резистори дільника; Γ - вимірювальний прилад, гальванометр.

Крім катода K і анода A , в колбі фотоумножувача розміщені додаткові електроди-діоди VD . Оптичне випромінювання поглинається катодом, що випускає під його дією електрони у вакуум колби. У електростатичному полі, створюваному електродами, що

мають певну конфігурацію і потенціал один відносно іншого, електрони прискорюються і фокусуються на діноді $VD1$. Електрони, що мають за рахунок прискорення достатній запас енергії, вибивають з тіла дінода вторинні електрони, число яких у кілька разів перевищує число первинних. Потік електронів знову прискорюється і фокусується на наступному діноді. З останнього дінода електронний потік збирається анодом.

Коефіцієнт посилення багатокаскадних фотоумножувачів (7 ... 14 каскадів) досягає 10^7 . Фотоумножувачі дуже чутливі і дозволяють виявляти потоки випромінювання потужністю $10^{-12} \dots 10^{-15}$ Вт, що обумовлює їх переваги перед фотоелементами з наступним посиленням фотоструму.

Фотоумножувачі застосовуються для реєстрації та вимірювання випромінювань ультрафіолетової і видимої частин спектру. Вхідне вікно фотоумножувача виготовляють з сапфіру, кварцу, увіолевого скла або інших матеріалів з високою прозорістю в необхідному діапазоні довжин хвиль. Напруга джерела живлення фотоумножувача досягає декількох кіловольт, що вимагає обережності при роботі з ним.

На рис. 15 приведено спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом.

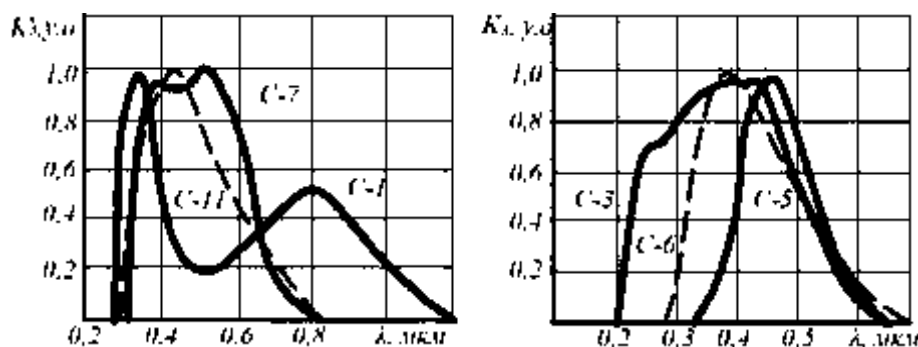


Рис. 15 – Спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом

Теплові приймачі випромінювання. В даних приймачах поглинаюча енергія перетворюється в тепло, в наслідок чого змінюється їх температура (див. рис. 16). Таким чином, завдання вимірювання оптичного випромінювання зводиться до вимірювання перепаду температур, яка визивається поглинанням енергії випромінювання приймачем.

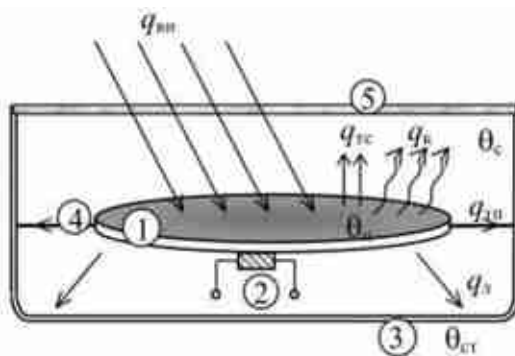


Рис. 16 – Тепловий приймач оптичного випромінювання: 1 - металевий диск; 2 -

термоелектричний перетворювач; 3 - корпус; 4 - елементи кріплення; 5 - скляна кришка

Завдяки чорненій поверхні диска практично весь потік оптичного випромінювання, що потрапляє на диск, поглинається диском і перетворюється на внесений тепловий потік q_m . Після закінчення теплового перехідного процесу і стабілізації температури диска встановлюється тепловий баланс між внесеним тепловим потоком і тепловими потоками тепловіддачі (розсіювання) в навколишнє середовище:

$$q_{\text{вн}} = q_m + q_{\text{тс}} + q_k + q_{\text{л}},$$

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

Стале значення температури диска (перетворювача) $\theta_{\text{п}}$ визначається величиною внесеного оптичним випромінюванням теплового потоку, а також значеннями теплових провідностей всіх згаданих видів теплообміну і температур середовища $\theta_{\text{с}}$ і стінок корпусу $\theta_{\text{ст}}$. Для забезпечення точності перетворення потоку оптичного випромінювання в температуру диска повинні бути знижені до можливого мінімуму теплові потоки тепловіддачі (розсіювання) в навколишнє середовище. Аналізу факторів, що впливають на величини теплових провідностей, зменшення теплового потоку q_m може бути досягнуто використанням для елементів кріплення диска матеріалів з малою питомою тепловою провідністю, зменшення теплових потоків $q_{\text{тс}}$ і q_k можна досягти герметизацією корпусу і створенням всередині нього вакууму, а зменшення теплового потоку $q_{\text{л}}$ - дзеркальним покриттям стінок корпусу.

Теплові приймачі розрізняються за способом перетворення енергії, яка поступила на чутливий елемент в електричний сигнал.

За цим принципом теплові приймачі можна розділити на три групи: болометри, в яких використовується залежність опору металу або напівпровідника від температури; термоелектричні термометри (термоелементи), засновані на виникненні при нагріванні між двома провідниками з різних сплавів термо-ЕРС, оптико-акустичні (пневматичні) приймачі, в яких для реєстрації випромінювання використовується теплове розширення газу.

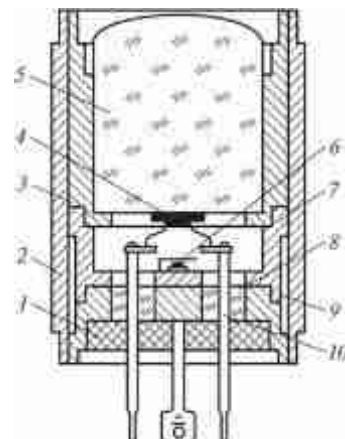


Рис. 17 – Зображення болометра: 1 - компаунд; 2 - корпус; 3 - тримач лінзи; 4 -

активний терморезисторний елемент; 5 - лінзи; 6 - компенсаційний терморезисторний елемент; 7 - основа; 8 - ізолятор; 9 - цоколь; 10 - виводи

Чутливий елемент болометра 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. 18).

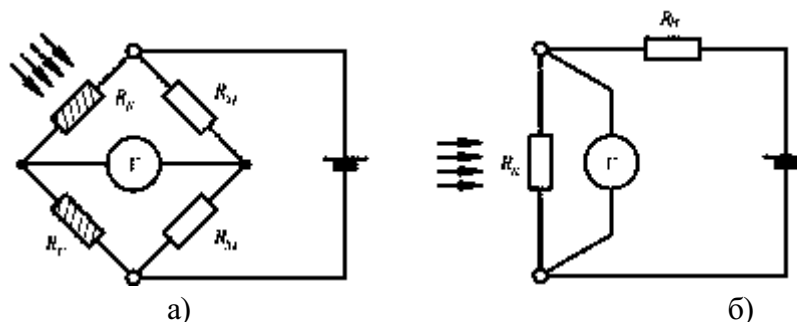


Рис. 19 – Схеми включення болометрів: а) мостова; б) схема з навантажувальним опором

До теперішнього часу широко застосовується для вимірювання температур випромінювання радіаційний термоелектричний термометр. Термопара складається з спаю двох металів, які вибираються таким чином, щоб при нагріванні спаю між холодними і гарячими кінцями провідників виникала достатньо висока термо-ЕРС. При цьому температура холодних кінців термопари підтримується постійною.

3.3. Люксметри

Для вимірювання освітленості використовують спеціальні прилади, які називають люксметрами. Найбільш широке розповсюдження отримали переносні люксметри, що складаються з селенового фотоелемента і чутливого електровимірювального приладу.

На рис. 20 показано загальний вигляд люксметра Ю-117.

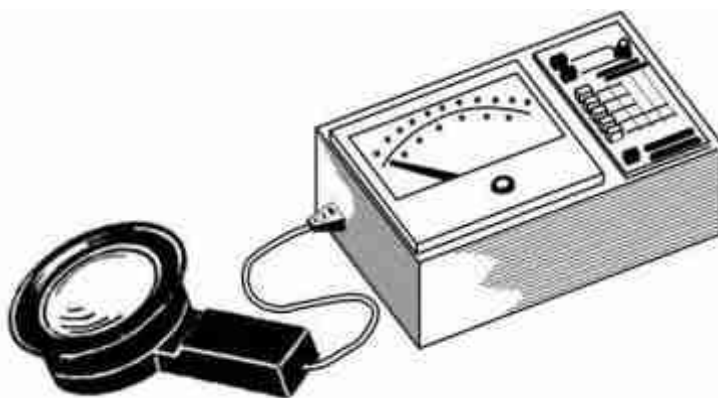


Рис. 20 – Загальний вигляд люксметра Ю-117

Селеновий фотоелемент - це напівпровідниковий прилад з запираючим шаром. Принцип його дії заснований на фотоелектричному ефекті, що полягає в тому, що під дією світла виникає електричний струм. Сила електричного струму, що проходить по фотоелементу, прямо пропорційна його освітленості.

Селеновий фотоелемент має криву спектральної чутливості, яка наближається до кривої чутливості ока. На рис. 21 показано спектри чутливості селенових фотоелементів.

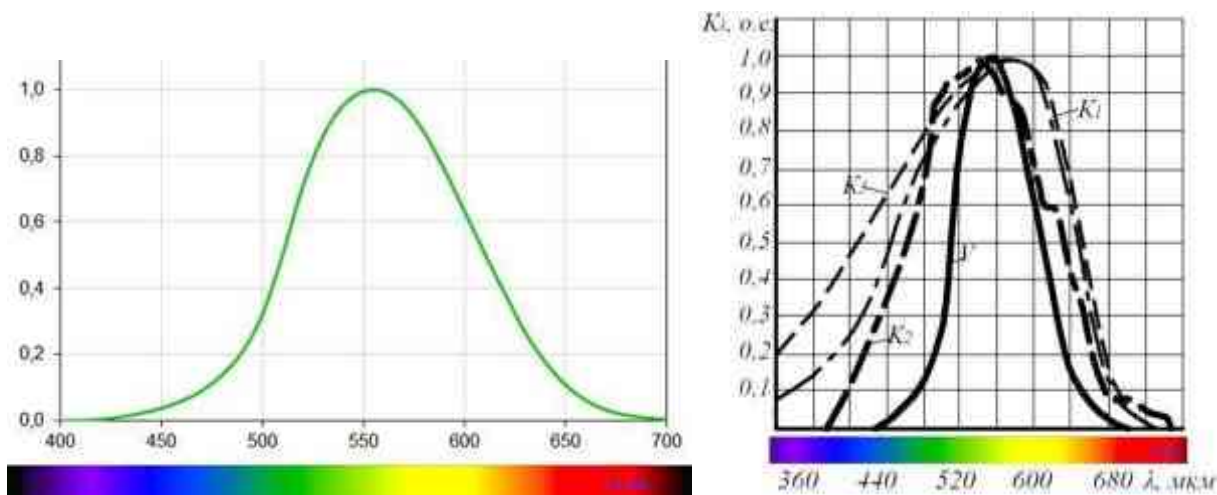


Рис. 21 – Спектри чутливості селенових фотоелементів: K1 – фотоелемента люксметра Ю-117; K2 – теж з насадками КС; K3 – не корегованого фотоелемента; V – крива світності

Завдяки цьому за допомогою спеціальних кольорових світлофільтрів вдається отримати спектральну чутливість селенового фотоелемента, дуже близьку до спектральної чутливості ока. Застосування такого світлофільтру знижує чутливість фотоелемента. Так як селеновий фотоелемент - не цілком стійкий вимірювальний прилад і його покази можуть коливатися через зміну температури, тривалості освітлення і т. д., то для отримання більш точних результатів треба вимірювати освітленість кілька разів і усереднювати дані. При вимірі освітленості необхідно стежити за тим, щоб наприймальну частину фотоелемента не падали випадкові тіні від людини або обладнання. Положення гальванометра повинно бути горизонтальним. Враховуючи вплив напруги живлення на потік джерел світла, його слід щоразу контролювати.

Промисловість випускає люксметри типу Ю116 і Ю117, однак виготовляють і мобільні, більш прості у використанні люксметри рис. 21, однак люксметри всіх типів містять селенові фотоелементи, вмонтовані в оправу з ручкою, і мікроамперметр, шкала якого проградуйована в люксах.

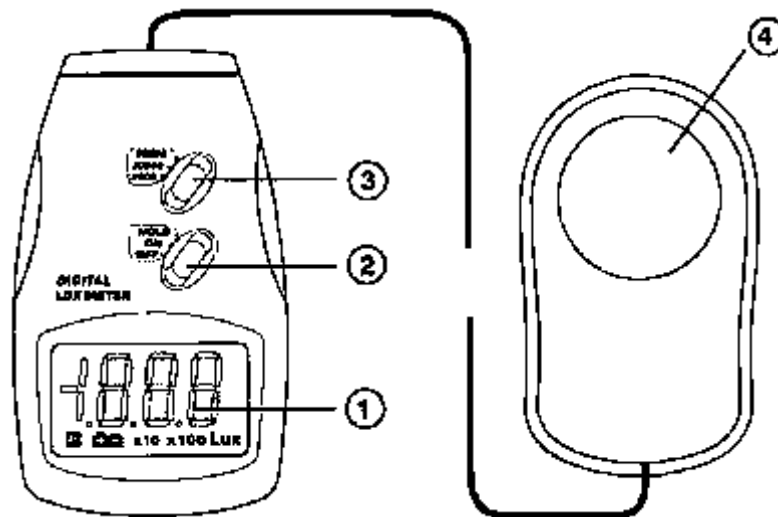


Рис. 21 – Люксметр цифровий LX1010BS: 1 - дисплей; 2 - вимикач живлення; 3 - перемикач діапазонів вимірювань; 4 - оптичний датчик.

3.4 Прилади для вимірювання ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювання

У 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.

Ерметр УФМ-71 призначений для вимірювання середнього сферичного еритемного опромінення від штучних джерел ультрафіолетового випромінювання. В якості приймача випромінювання використаний фотоелемент Ф-27 з напівпрозорим катодом, нанесеним зсередини на сферичну колбу фотоелемента. Максимум спектральної чутливості приладу близький до максимуму спектральної еритемної ефективності випромінювання (рис. 22).

Прилад градується на еталонній УФ лампі ДРТС-250 і при вимірюванні опромінення, створюваної лампами ЛЕ і ДРТ, необхідно в результаті вимірювання вводити поправочні коефіцієнти 1,6 і 1,45 відповідно.

Межа виміру ерметра $3000 \text{ мер} \cdot \text{м}^{-2}$. Наведена похибка вимірювання не перевищує $\pm 15\%$. Живлення приладу автономне.

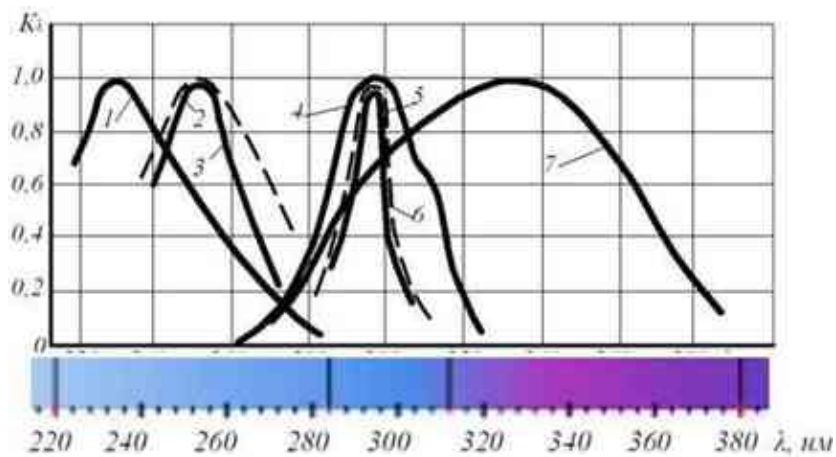


Рис. 22 – Спектри дії випромінювання: (2 - бактерицидного, 5 - еритемного) і відносна спектральна чутливість приладів для вимірювання УФ випромінювання: 1 - уфіметра УФІ -73 і уфідозиметра УФД - 73 з фотоелементом Ф-7; 3 - бактометра УФБ-1А; 4 - ерметра УФМ -71 і ер дозиметра УФД-1А; 6 - ерметра УБФ; 7 - уфіметра УФД-73 з фотоелементом Ф-26

Спектральна чутливість приладу близька до спектральної еритемних ефективності випромінювання (рис. 22), що дозволяє виміряти опромінення, створену джерелами УФ випромінювання будь-якого спектрального складу без введення поправочних коефіцієнтів. Необхідна спектральна характеристика приладу отримана шляхом застосування великої кількості оптичних фільтрів, що мають значну товщину (13-40 мм) і як наслідок малий коефіцієнт пропускання випромінювання. Остання обставина зумовила використання в якості приймача випромінювання фотоумножувач ФЭУ-18А з підсилювачем постійного струму. Для досягнення косинусної кутової характеристики приймача випромінювання перед його входним вікном встановлена насадка у вигляді так званої кулі Лярше.

Межі виміру приладу: в області УФ-А до $900 \text{ мер} \cdot \text{м}^{-2}$; в області УФ-В до $6000 \text{ мер} \cdot \text{м}^{-2}$. Відносна похибка вимірювання опромінення не перевершує $\pm 30\%$.

Бактометр УФБ-1А призначений для вимірювання бактерицидної опромінення на площині в одиницях системи ефективних величин під штучними джерелами випромінювання. Спектральна чутливість приладу (рис. 14) визначається спектральною характеристикою спеціально розробленого фотоелемента «Ванда». Межа виміру бактометра $5000 \text{ мбк} \cdot \text{м}^{-2}$. Наведена похибка вимірювання не перевищує $\pm 20\%$. Живлення приладу автономне. Для вимірювання ультрафіолетового випромінювання найбільшого поширення набули також вимірювальні прилади, в яких використовуються вакуумні фотоелементи з зовнішнім фотоефектом.

Уфіметр УФИ-73 призначений для вимірювання УФ опромінення на площині в одиницях системи енергетичних величин. Він комплектується або фотоелементом Ф-7 для вимірювань в бактерицидній області УФ випромінювання (220-280 нм), або фотоелементом Ф-26 з оптичним фільтром УФС-2, коригуючий його спектральну чутливість під П-подібну форму для вимірювань в діапазоні 280...380 нм. Цей діапазон іноді називається «благотворною» областю УФ випромінювання (рис. 14).

Приймачі забезпечені насадкою з двох кварцових концентричних матованих

півсфер, що наближають їх кутову характеристику до закону косинуса. Прилад проградуйований на еталонній лампі типу ДРТ. Межа вимірювання приладу $10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ з трьома піддіапазонами. Приведена похибка вимірювання $\pm 5\%$. Живлення приладу автономне або від мережі.

Уфідозиметр УФД-73 призначений для вимірювання кількості УФ випромінювання, що створюється штучними джерелами на площині.

Приймальна частина уфідозиметра та її характеристики аналогічні приймальній частині і характеристикам уфіметра УФІ-73. Вимірювання виконується в одиницях системи енергетичних величин.

Робота приладу заснована на перетворенні струму фотоелементів в електричні імпульси, частота яких пропорційна величині УФ опромінення. Вимірювання кількості опромінення здійснюється підрахунком числа імпульсів за допомогою п'ятирозрядного лічильника.

Ємність лічильника 10^6 імпульсів, ціна ділення лічильника $0,02 \text{ Вт} \cdot \text{хв} \cdot \text{м}^{-2}$. Похибка вимірювання кількості опромінення $\pm 5\%$. Живлення приладу від мережі або від акумуляторів.

Ердозиметр УФД-1А призначений для вимірювання в системі ефективних величин кількості опромінення на поверхні сфери і для вимірювання сферичної еритемної опроміненості від штучних джерел випромінювання.

Спрощена функціональна схема приладу показана на рис. 23.

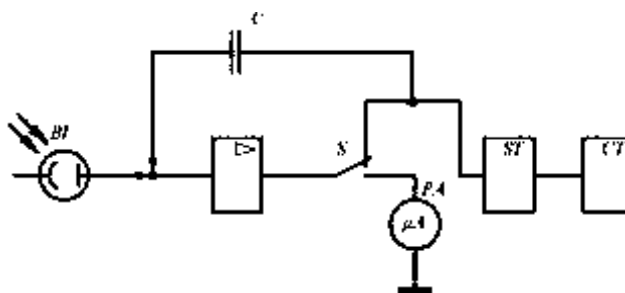


Рис. 23 – Спрощена функційна схема ердозиметра УФД-1А.

У режимі вимірювання опромінення сигнал фотоелемента Ф-27 після підсилення вимірюється мікроамперметром, який проградуйований в $\text{мер} \cdot \text{м}^{-2}$. При вимірюванні кількості опромінення (перемикач S у верхньому положенні) підсилювач, у зворотний зв'язок якого включається конденсатор С, працює як інтегратор. При заряді конденсатора напруга на виході підсилювача лінійно зростає. Коли вона досягає наперед заданого значення, спрацює граничний пристрій СТ, який подасть сигнал на лічильник імпульсів СТ і розрядний конденсатор С. Далі процес повторюється.

Ердозиметр має 7 піддіапазонів вимірювання опромінення опроміненості до $1000 \text{ мер} \cdot \text{м}^{-2}$ і може вимірювати кількість еритемного опромінення до $100 \text{ ер} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-2}$. Основна наведена похибка приладу не більш $\pm 25\%$. Живлення від мережі.

Для вимірювання ІЧ випромінювання застосовують прилади з досить високою і постійною чутливістю в ІЧ області спектру. Для цієї мети використовують неселективні приймачі випромінювання: піранометр Янішевського, болометри і термоелементи з оптичним фільтром КС-19, а також прилади, спеціально призначені для вимірювання ІЧ

випромінювання.

Пристрій ТФА-2 призначено для автоматичної реєстрації ІЧ опромінення і кількості ІЧ опромінення в діапазоні довжин хвиль від 700 до 3000 нм. Межа реєстрації кількості опромінення $500 \text{ Вт} \cdot \text{хв} \cdot \text{м}^{-2}$. Приведена похибка реєстрації $\pm 5\%$. Живлення приладу від мережі.

Фотоцуп ИВФ-1 призначений для вимірювання опромінення у видимій (360-760 нм) та інфрачервоній (760- 2500 нм) областях спектру. Прилад комплектується двома змінними приймачами випромінювання, чутливими в кожному із зазначених діапазонів довжин хвиль.

Межа вимірювання опромінення $100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ з двома під діапазонами. За допомогою нейтрального фільтра межі вимірювання можуть бути підвищені в 5 разів. Наведена похибка вимірювання $\pm 5\%$. Живлення приладу автономне.

Пристрій ІКМ-71. В даний час розроблений спеціальний прилад типу ІКМ-71 для вимірювання ІЧ-опромінення від штучних джерел випромінювання в умовах сільськогосподарського виробництва. Його спектральна чутливість лежить в межах 620-10000 нм. Прилад проградуирований у $\text{Вт}/\text{м}^2$, межі вимірювання 0-250; 0-500; 0-1000 $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Відносна похибка вимірювання 10%. Живлення автономне від гальванічних батарей. Прилад складається з двох частин: датчика (термоелектричного приймача випромінювання) та вимірювального блоку, які розміщені в одному корпусі. Вимірювальний блок складається з електричної частини приладу, комутаційних і регулюючих елементів. Термоприймач за допомогою тримача, шарнірно з'єднаний з розсувною телескопічною штангою, яка укладена в алюмінієвий корпус. Крізь трубку штанги і ручки пропущений екранований провід для підключення термоприймача до схеми приладу.

Термоелектричний приймач (термобатарея типу РК-15, рис. 24) складається з десяти хромель-копелевих термопар, з'єднаних послідовно.

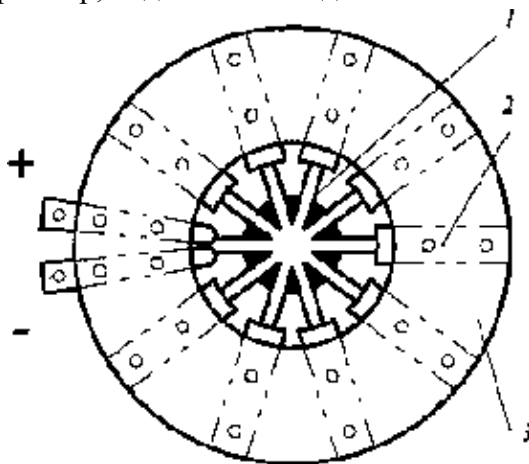


Рис. 24 – Термоелектричний приймач приладу ІКМ-71(термобатарея РК-15): 1 - термопара хромель - копель; 2 - електропровідна пластина; 3 - ізолюючий диск

Гарячий спай термобатареї покритий платиною. Термобатарея зверху закрита блендою з каліброваним отвором діаметром 4 мм і кришкою.

Габаритні розміри приладу $215 \times 110 \times 100 \text{ мм}$, вага 2,5 кг. Прилад призначений для вимірювання ІЧ-опромінення в процесі експлуатації установок для ІЧ - обігріву

молодняку сільськогосподарських тварин і птиці, сушіння насіння та продуктів.

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.

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 люксометрів, 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?

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 люксометрів.
4. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Прилади для вимірювання випромінювання при вирощуванні рослин.

ТЕМА №4. ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методами оброблення результатів вимірювання.

План лекції

1. Оптичні вимірювання;
2. Класифікація оптичних вимірювань;
3. Оптичні методи вимірювань.

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. Оптичні вимірювання

Оптичні вимірювання – технічна наука, основним змістом якої є вимірювання та контроль конструктивних параметрів оптичних елементів та систем, а також вимірювання фізичних характеристик об'єктів, що вивчаються за допомогою оптичних методів та оптичних приладів. Головна особливість оптичних вимірів полягає в тому, що вони мають високу точність та наочність. Оптичні вимірювання відносяться до вимірювань вищої точності, яка можна порівняти з довжиною світлової хвилі ($\lambda_{\text{ср}} = 0.555 \text{ мкм}$). Тому, наприклад, і в машинобудуванні, і в приладобудуванні оптичні вимірювання застосовуються там, де потрібні гранично високі точності. Так, кінцеві заходи виготовляються і атестуються із застосуванням інтерферометрії, причому точність, що досягається, знаходиться на рівні $\lambda_{\text{ср}}/20$, так що похибка не перевищує 0.03 мкм.

З іншого боку, наукові дослідження, а також розробки в галузі високих технологій вимагають проведення вимірювань із найвищими точностями, які нерідко перебувають на межі теоретично передбачених можливостей.

Єдність вимірів та їх необхідну якість контролюються та забезпечуються державними та відомчими метрологічними службами.

В оптичному приладобудуванні виробництво сучасних оптичних приладів, що відповідають вимогам високих технологій, має бути забезпечене високоточними методами та апаратурою оптичних вимірювань та контролю. Сучасне оптичне приладобудування характеризується збільшенням обсягів випуску оптичної продукції, удосконаленням її технічних характеристик, а також необхідністю створення та виробництва нових класів приладів та систем.

До оптики нового класу можуть бути віднесені, наприклад, оптичні системи космічних телескопів, високоякісні об'єктиви дослідницьких мікроскопів, оптичні прилади для технологій мікроелектроніки, оптичні системи пристроїв запису і відтворення інформації, оптичні системи для лазерних технологій. Ці групи оптичних систем можуть відповідати своєму призначенню насамперед за умови досягнення гранично високих оптичних характеристик якості зображення, коли хвильовий фронт, сформований оптичною системою, не має відхилень понад кілька сотих часток довжини світлової хвилі від форми, що відповідає ідеальній якості зображення (найчастіше - сферичної).

4.2. Класифікація оптичних вимірювань

Для виконання вимірювання необхідно мати:

Метод виміру. Методом виміру називають сукупність прийомів використання принципів та засобів виміру.

Принцип виміру. Під принципом виміру розуміється наукова основа виміру, тобто комплекс знань про сукупність фізичних явищ та технічних досягнень, на яких ґрунтуються дані виміру.

Засоби виміру. Засобами вимірювання є вимірювальні установки, що включають функціонально об'єднані вимірювальні заходи, прилади та вимірювальні перетворювачі.

Методика вимірів. Методикою вимірів називають встановлену сукупність операцій, умов і правил, виконання яких при вимірі забезпечує отримання результатів вимірів згідно з цим методом.

Умови виміру. Правила застосування засобів вимірювань, за дотримання яких величини, що впливають на точність та здійснювання вимірювань, знаходяться в допустимих межах.

4.3. Оптичні методи вимірювань

Оптичні методи вимірювань засновані на використанні оптичних засобів вилучення вимірювальної інформації про об'єкт, що досліджується, або, як кажуть, на використанні оптичного сигналу для кодування вимірювальної інформації. Так, у вимірювальному мікроскопі інформацію про геометричні координати об'єкта, що вимірюється містить розподіл освітленості в оптичному зображенні об'єкта. Інтерферометр дозволяє судити про малі деформації відполірованої поверхні за змінами форми (фазової структури) досліджуваного хвильового фронту оптичного випромінювання, які перетворюються інтерферометром змін змін інтерференційних смуг, що залежать від розподілу освітленості в інтерференційній картині.

Як необхідні ознаки виміру можуть бути названі:

- Принцип методу та її теоретичні основи, що вказують на можливості та принципові обмеження методу.
- Математичний апарат для отримання результату вимірювання, що включає значення вимірюваної величини та похибки її визначення.
- Відомості про об'єкт вимірювання, його математичний та фізичний опис (модель).
- Функціональна схема вимірювальної установки, вимоги до її характеристик та параметрів її елементів.
- Вимоги до умов проведення виміру.
- Методика вимірювання, що включає вказівки щодо встановлення об'єкта, налаштування установки, виконання вимірювальних спостережень та зчитування даних, їх обробки та отримання результату вимірювання.

Відомі численні методи оптичних вимірів поділяються на прямі та непрямі.

Прямий вимір. Вимірювання, що проводиться прямим методом, при якому потрібне значення фізичної величини отримують безпосередньо з даних вимірювального експерименту. Прямі вимірювання дозволяють безпосередньо отримати потрібне значення фізичної величини.

Непрямий вимір. При непрямому вимірі потрібне значення фізичної величини визначають на підставі результатів прямих вимірювань інших фізичних величин,

функціонально пов'язаних з шуканою величиною певною математичною залежністю. Числове значення шуканої величини знаходиться шляхом розрахунку після підстановки формулу знайдених величин $Q = (X, Y, Z)$.

Непрямі методи застосовують у тих випадках, коли прямі вимірювання експлуатаційно недоцільні або недостатньо точні. У практиці оптичних вимірів непрямі виміри зустрічаються набагато частіше, ніж прямі. Похибки можуть виникати через неточність формул, які застосовуються до розрахунку.

Сукупні виміри. Одні й самі величини вимірюють прямим чи непрямим методом кілька разів, причому від одного виміру до іншого змінюють поєднання вимірюваних величин. Шукані значення величин знаходять рішенням системи рівнянь, що пов'язують вимірювані та шукані величини. Сукупні вимірювання дозволяють, за необхідності, обійтися без атестованого зразка. Наприклад - абсолютні методи вимірювання помилок оптичних поверхонь, коли три пробні скла послідовно накладають один на одного в різних поєднаннях.

Метод безпосередньої оцінки. Цей метод полягає у прямому вимірі всієї шуканої величини, значення якої визначається безпосередньо по відлікового пристрою вимірювального приладу прямої дії. Метод найбільш простий та поширений.

Диференціальний метод. Метод порівняння, заснований на реєстрації вимірювального сигналу, що є різницею вимірювальних сигналів, що надходять від об'єкта, що досліджується, і заходи, що зберігає відоме значення вимірюваної величини. Отже, в диференціальному методі безпосередньо вимірюється не сама потрібна величин, а її відступ від величини відомої з високою точністю.

Спільні виміри. Величини вимірюють кілька разів, при цьому від одного виміру до іншого змінюють умови виміру.

Шукані значення величин знаходять також розв'язуванням системи рівнянь, що зв'язують виміряні та шукані величини. Наприклад - вимірювання товщини трьох кінцевих заходів на контактному довгомірі.

Питання для самоперевірки

1. Пояснити поняття оптичне вимірювання?
2. Перерахувати класифікацію оптичних вимірювань.
3. Перерахувати та пояснити необхідні ознаки виміру.
4. Пояснити численні методи оптичних вимірів.

Завдання на самостійне опрацювання та підготовку

1. Самостійно відновити матеріал з опису основних методів оптичного вимірювання.
2. Самостійно опрацювати додатковий матеріал на тему: Використання теорії похибок в оцінюванні результатів вимірювань.

ТЕМА №5. ЕНЕРГЕТИЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БУДОВА І РОБОТА ЛАМП РОЗЖАРЮВАННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з будовою та видами електричних джерел оптичного випромінювання.

План лекції

1. Основні закони теплового випромінювання.
2. Будова і робота ламп розжарювання, їх енергетичні і експлуатаційні характеристики.
3. Галогенні лампи розжарювання.
4. Інфрачервоні лампи.
5. Основні закономірності електричного розряду в газах і парах металів.

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. Основні закони теплового випромінювання

Теплове випромінювання є результат перетворення енергії теплового руху атомів і молекул тіла в енергію оптичного випромінювання. Температура випромінюючого тіла визначає як значення потоку випромінювання, так і його спектральний склад.

Основні закони теплового випромінювання сформульовані стосовно до абсолютно чорного тіла, під яким розуміється приймач оптичного випромінювання, який повністю поглинає падаюче на нього випромінювання незалежно від напрямку падіння, спектрального складу і поляризації. Існує й інше визначене поняття абсолютно чорного тіла: це тепловий випромінювач, здатний створювати при інших рівних умовах найбільший у порівнянні з іншими тепловими випромінювачами потік випромінювання.

Закон Кірхгофа встановлює зв'язок між здібностями тіла випромінювати і поглинати випромінювання: відношення щільності випромінювання тіл з однаковою температурою дорівнює відношенню їх 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·м².

Іншими словами, відношення щільності випромінювання до коефіцієнта поглинання для всіх тіл, що мають однакову температуру - величина постійна, що дорівнює щільності випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі.

Закон Стефана-Больцмана встановлює зв'язок між щільністю випромінювання тіла і його температурою. Стефан і Больцман встановили, що щільність випромінювання абсолютно чорного тіла залежить тільки від його температури і пропорційна четвертій степені її:

$$R_T = \sigma T^4$$

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

Для практики дуже важливо знати розподіл енергії в спектрі теплового випромінювання. Розподіл енергії в спектрі теплового випромінювання абсолютно чорного тіла описується 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, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$; C_1 - постійна, що дорівнює $3,74 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^4$; C_2 - постійна, рівна $1,43 \cdot 10^4 \text{ мкм} \cdot \text{град}$; e - основа натуральних логарифмів.

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

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

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

Закон зміщення Віна. Рівняння ($\lambda_{\text{max}} T$) визначає положення максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла і виражає закон зсуву Віна: при підвищенні температури випромінюючого тіла максимум кривої спектральної щільності його потоку випромінювання зміщується в бік коротких довжин хвиль.

На рис. 1. показана спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур.

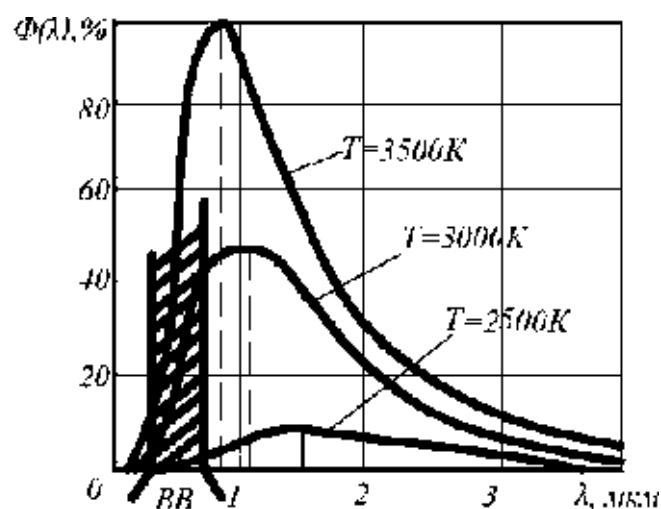


Рис. 1. – Спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур

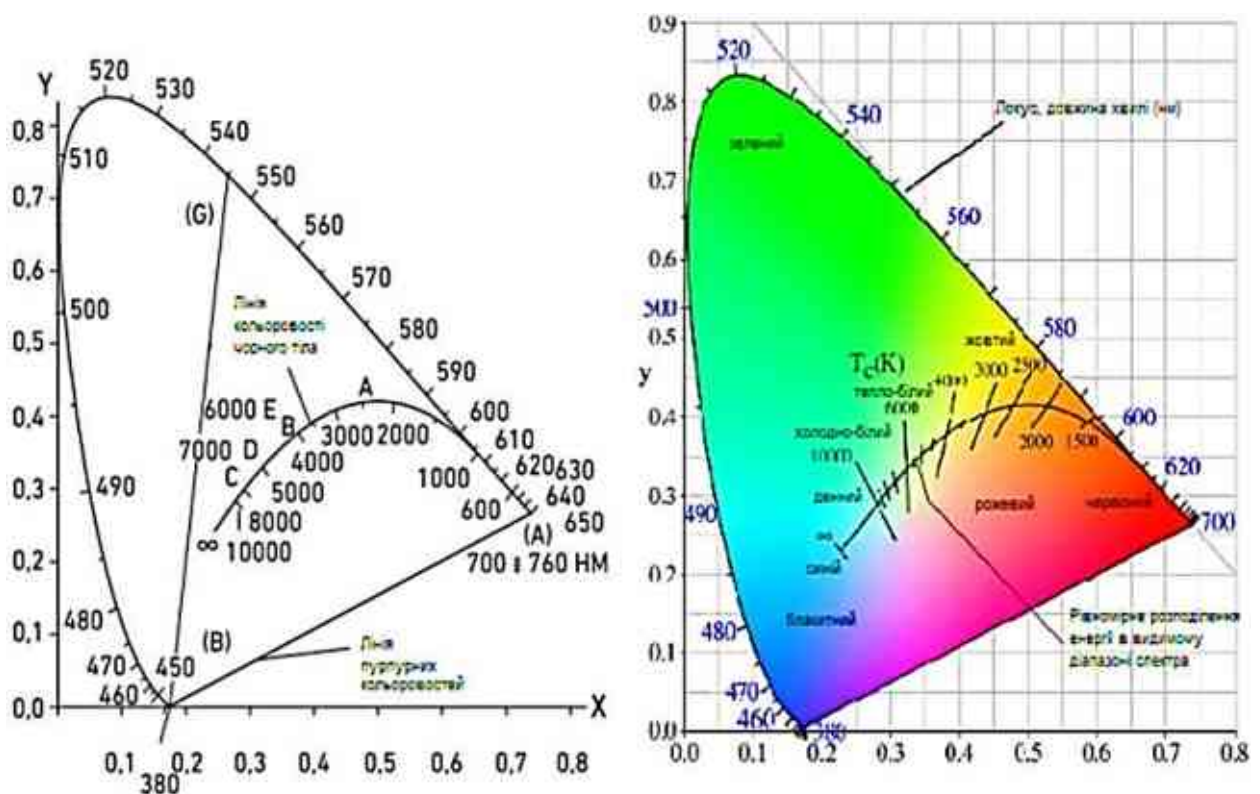


Рис. 2. – Колірна температура

Колірний графік, зображений на рис. 2, має цікаву властивість: якщо ми будемо підсумовувати випромінювання двох різних кольорів, то координати кольоровості що отримаємо в результаті змішування нового кольору завжди будуть перебувати на прямій лінії, що з'єднує координати вихідних кольорів. Змішуючи три кольорових випромінювання, можна отримати будь-який колір, що знаходиться всередині трикутника, утвореного точками координат вихідних кольорів. Очевидно, що білий колір може бути отриманий безліччю комбінацій трьох монохроматичних (Однорідних) випромінювань. Для зручності користування прийнято вважати основними три кольори – червоний, зелений і синій. Якщо вихідні кольори є строго монохроматичними, тобто розташованими безпосередньо на локусі, то, комбінуючи їх в певних пропорціях, можна отримати необмежену кількість нових кольорів з практично будь-яким кольором, лежачим усередині трикутника вихідних кольорів.

У видимій частині спектру максимум знаходиться при температурі абсолютно чорного тіла в межах 3750-7800 K. Користуючись законом Стефана-Больцмана і законом зміщення, встановив, що максимальне значення спектральної щільності потоку випромінювання абсолютно чорного тіла зростає пропорційно п'ятій ступені температури тіла, 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 дозволяють зробити наступні висновки.

- потік випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційний четвертій ступені температури нагріву;
- значення максимуму спектральної щільності потоку випромінювання

абсолютно чорного тіла пропорційний п'ятій ступені температури нагріву;

- з підвищенням температури нагріву абсолютно чорного тіла максимум кривої спектральної щільності його потоку випромінювання зміщується в бік більш коротких довжин хвиль.

Велике практичне значення має питання про характер залежності ефективної віддачі потоку випромінювання теплового випромінювача від температури нагріву.

Розглянемо це питання стосовно до теплового випромінювача, використовуваному в якості джерела видимого випромінювання. Ефективна віддача потоку випромінювання (світловий к.к.д.) в даному випадку становить:

При підвищенні температури випромінювача світловий ККД зростає, що пояснюється зміщенням максимуму кривої спектральної щільності потоку випромінювання в бік видимого випромінювання. Найбільшого значення (14,5%) світловий к. п. д. досягає при температурі абсолютно чорного тіла близько 6500 К. Максимум кривої спектральної щільності випромінювання при цьому надається в зоні видимої частини спектру. Подальше збільшення температури випромінювача призводить до зміщення максимуму кривої $\phi(\lambda)$ в короткохвильову частину спектру. Значення світлового ККД починає зменшуватися (рис. 3.).

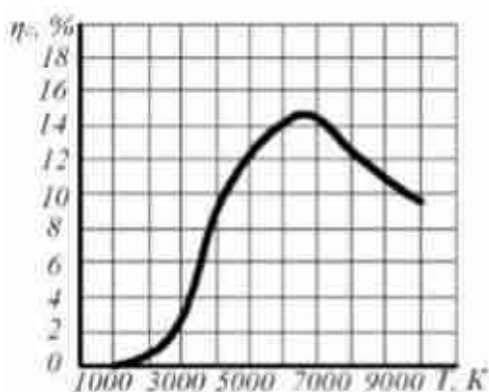


Рис. 3 – Залежність світлового ККД від температури абсолютно чорного тіла

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 №1

«Максимальні значення світлового ККД і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів»

Характер випромінювання або випромінювач	Тем., К	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

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

В світі виробляється і споживається декілька сотень мільярдів електричних ламп, левову частину яких поки що складають лампи розжарювання. Незважаючи на низький світловий потік, низький світловий ККД (2-2,5%) лампи розжарювання широко застосовуються в промисловості і сільському господарстві, на транспорті. Вони широко використовуються для сигналізації та індикації. Повністю автоматизоване виробництво ламп розжарювання, їх низька вартість, простота будови і особливо схеми вмикання забезпечують їх широке застосування.

На рис. 4 показано декілька конструкцій ламп розжарювання загального призначення. Лампа розжарювання складається із скляної колби, діаметр якої визначається потужністю лампи. Колба заповнена інертним газом (аргон, азот або криптон). Колба з'єднана з цоколем спеціальною мастикою. На цоколі є гвинтова нарізка для кріплення в патроні, за допомогою якого лампа включається в мережу. У колбі розташована скляна ніжка лампи, в верхню частину якої впаяні молибденові гачки, на яких закріплено тіло розжарювання (вольфрамова нитка розжарення). Для з'єднання тіла розжарення з цоколем служать нікелеві електроди, платинові вводи та мідні виводи.

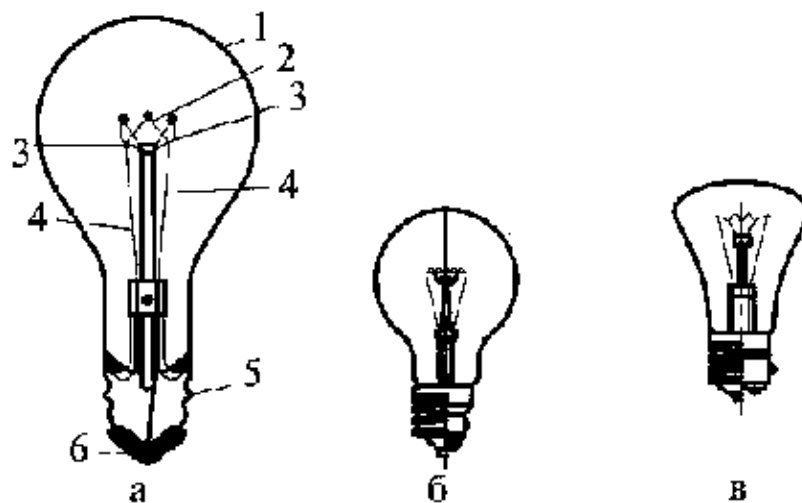


Рис. 4 – Конструкція ЛР загального призначення: а) моноспіральна; б) біспіральна; в) біспіральна криптонова: 1 – скляна колба; 2 – вольфрамова нитка розжарювання; 3 – молибденовітримачі; 4 – електроди (нікель, сплави, платинід); 5 – стакан цоколя (сплав заліза); 6 – контактна шайба.

Колба лампи розжарювання представляє собою скляний балон, призначений для ізолювання тіла розжарювання від зовнішнього середовища. Форма колби ламп розжарювання може бути різною. Крім прозорих колб, освітлювальні лампи

розжарювання можуть мати колби з матованого, опалового або «молочного» скла. Такі колби мають значно більший коефіцієнт поглинання в порівнянні з прозорими, але дозволяють позбавитися від сліпучої яскравості тіла розжарення. Якщо треба отримати від лампи спрямований світловий потік, частина внутрішньої поверхні колби покривають дзеркальним шаром зі срібла або алюмінію. Залежно від форми відбиваюча частина колби може отримувати різний характер розподілу світлового потоку в просторі. Дзеркальні освітлювальні лампи розжарення можуть виконувати одночасно функції джерела оптичного випромінювання та освітлювальної арматури.

Принцип дії: при проходженні електричного струму по вольфрамовій нитці розжарювання вона нагрівається до температури 2400 – 2700 K і випромінює світло.

Типова для ЛР світлова віддача 10–22 лм/Вт⁻¹. Більша частина електроенергії в нитці розжарювання перетворюється в тепло. В зв'язку цим суцільний спектр ламп розжарювання має максимум в інфрачервоній області і плавно спадає із зменшенням довжини хвилі. Такий спектр визначає теплий тон випромінювання ($T_{\text{кол.}} = 2400\text{--}2700\text{ K}$ при кольоропередачі ($P_a = 100$)).

Лампи розжарювання відрізняються друг від друга електричними, світлотехнічними і експлуатаційними характеристиками. До електричних характеристик відносять номінальну напругу живлячої мережі, номінальну електричну потужність, рід струму (постійний або змінний).

Основна світлотехнічна характеристика ламп розжарювання - світловий потік Φ_c . Світловий потік лампи розжарювання залежить від електричної потужності, напруги живлення і температури нитки розжарювання. Нормований в каталогах світловий потік лампи розжарювання повинен випромінювати в перші години роботи при її включенні в мережу на номінальну напругу, при цьому Державні стандарти допускають відхилення нормованого світлового потоку однотипних ламп на 5-10%. У процесі експлуатації лампи робоча температура тіла розжарювання і прозорість колби знижуються. Той же стандарт для ламп, які пропрацювали 75% свого номінального терміну служби (середньої тривалості горіння), допускає зменшення світлового потоку до 72-85% номінального в залежності від типу ламп, потужності і категорії виготовлення.

Експлуатаційними характеристиками, які визначають економічні показники роботи ламп розжарювання, є світлова віддача і номінальний термін служби. Світлова віддача досягла в даний час 7,5-19,1 лм·Вт⁻¹. Під номінальним строком служби розуміють їх середню тривалість горіння t_c , яка визначається як середньоарифметичний час повних термінів служби групи (не менше десяти) ламп. Номінальний термін служби ламп розжарювання дорівнює 1000 год. В даний час відомі світові фірми, такі як польська фірма «Філіпс» випускає рефлекторні лампи, кольорові, трубчаті, які створюють приємну і спокійну атмосферу і в яких термін служби ламп доведено до 2000- 2500 год.

Відхилення напруги живлення від його номінального значення істотно впливає на характеристики ламп розжарювання (рис. 5).



Рис. 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 вище номінальної, то зростає значення сили струму, потужності, світлового потоку і світлової віддачі, при цьому різко зменшується середня тривалість горіння.

До переваг ламп розжарювання можна віднести простоту будови, низьку вартість, надійність в роботі при зміні температури навколишнього середовища в широкому діапазоні.

Недоліки ламп розжарювання: чересзірня яскравість, низька світлова віддача (до $20 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$), низький світловий ККД (в середньому 3,5 %), незадовільний спектральний склад випромінювання (в видимому спектрі переважно оранжево-червоні випромінювання з довжиною хвилі $\lambda=600\text{-}780 \text{ нм}$. Синіх кольорів з довжиною хвилі $\lambda=380\text{--}450 \text{ нм} \approx$ в 10 разів менше. Такий спектральний склад не забезпечує правильної кольоропередачі), малий термін роботи ($\approx 1000 \text{ год.}$).

5.3. Галогенні лампи розжарювання

Як відомо світловий потік, світлова віддача, світловий ККД при всіх рівних умовах залежить тільки від температури нагрівання нитки розжарювання. Проте добитись підвищення ефективності роботи ламп розжарювання шляхом підвищення температури не просто, так як нагрівання тіла накалу супроводжується розпиленням речовин нитки розжарювання і чим більша температура тим більше розпилювання. При підвищенні температури тіла накалу (2400-2700) на 1 % швидкість розпилення збільшується в 2 рази, а отже термін служби різко зменшується.

Тому в галогенних лампах з йодним циклом процес розпилення нитки розжарювання не усунено, зате знайдені надійні засоби боротьби з його наслідками, що

дозволило значно покращити показники робот ламп цього типу.

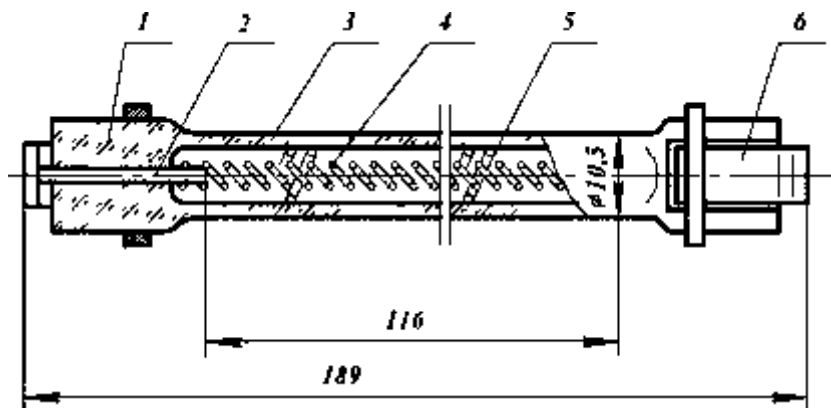


Рис. 6 – Лампа кварцова галогенна КГ220-1000

На рис. 6 показано лампу типу КГ 220-1000. Циліндрична колба 3 виготовлена з кварцового скла, що має температуру розм'якшення вище 1373 K . У колбу поміщена дозована кількість йоду, і вона наповнена аргоном до тиску приблизно 800 ГПа . Тіло розжарення 4, виконане у вигляді моноспіралі з особливо чистого вольфраму, змонтовано по осі трубки на вольфрамових тримачах 5. Ввід в лампу виконаний молібденовим електродами 2, впаяними в кварцові ніжки 1. У мережу лампу включають контактними поверхнями 6. Лампа розрахована на роботу від мережі з напругою 220 В .

Утворені в результаті розпилення тіла накалу частинки вольфраму F рухаються від нитки до стінок колби G , де вступають у з'єднання з галогеном E , утворюючи вольфрамовий галоген D при температурі нижче $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. При дуже низьких температурах інтенсивність реакції недостатня для підтримки циклу. При більш високих температурах розкладання вольфрамового галогену у поверхні колби більш імовірно, ніж його створення. Ступінь дисоціації вольфрамового галогену в зоні спіралі на кілька порядків вища, ніж у стінок. Отже, і концентрація там менша, ніж біля поверхні колби. Створений вольфрамовий галоген D переміщається до спіралі, в сторону меншої концентрації. Досягнувши зони спіралі, в умовах високої температури вольфрамовий галоген розкладається. Частинки вольфраму F осідають на спіраль, а галоген E звільняється і знову бере участь у циклі.

Схематично регенеративний цикл виглядає таким чином:

- утворення вольфрамового галогену у поверхні колби;
- повернення вольфрамового галогену до спіралі;
- розкладання вольфрамового галогену поблизу спіралі з осадженням на ній вольфраму і звільнення галогену.

Характерною особливістю галогенних ламп є можливість регулювання їх потоку випромінювання шляхом зміни напруги, що підводиться. Підвищення напруги понад номінального значення не призводить до такого різкого скорочення терміну служби, як це відбувається у звичайних ламп розжарювання.

На рис. 7 приведено графік світлової віддачі та терміну служби в залежності від напруги галогенної лампи низької напруги. Даний графік показує вплив недостатньої напруги, або перенапруги на світлову віддачу та термін служби.

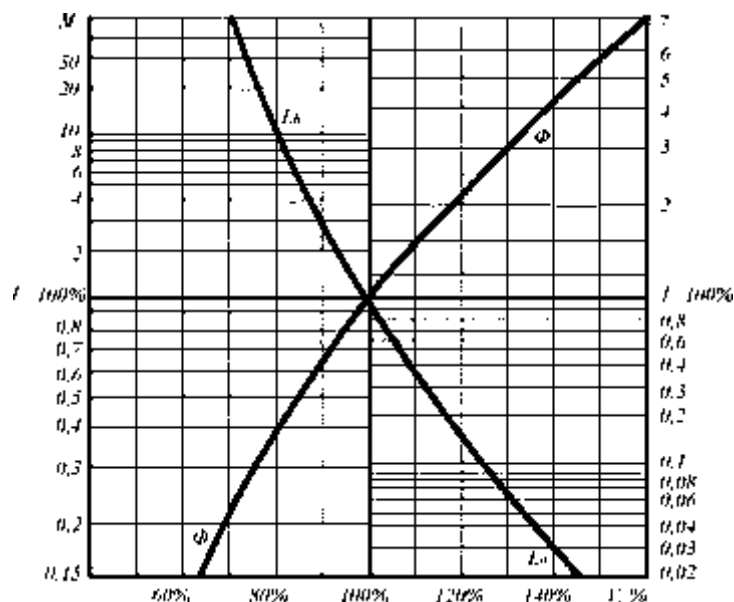


Рис. 7 – Графік світлової віддачі та терміну служби в залежності від напруги галогенної лампи низької напруги

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.

5.4. Інфрачервоні лампи розжарювання

Для вирішення цілого ряду завдань у сільськогосподарському виробництві використовують джерела інфрачервоного випромінювання (сушіння сільськогосподарських продуктів, обігрів молодняку тварин і птиці та ін.). В якості джерел ІЧ випромінювання для цих цілей зазвичай використовують різного типу лампи розжарювання.

Приблизно 60-80 % випромінювання ламп розжарювання припадає на інфрачервону область спектра. Відповідно, будь-яка лампа розжарювання може служити джерелом ІЧ випромінювання. Однак доцільніше для цієї мети застосовувати спеціальні лампи, тіло розжарювання яких розраховане на більш низьку, ніж у освітлювальних

лампах, температуру. Максимум випромінювання таких ламп зміщений в довгохвильову частину спектру, і припадає на випромінювання з довжиною хвилі 1000-1400 нм. В залежності від спектрального складу промисловістю випускаються так звані «світлі» і «темні» джерела ІЧ випромінювання.

«Світлі» джерела конструкцією і принципом дії не відрізняються від ламп розжарювання, проте їх тіло розжарювання розраховане на меншу, ніж у освітлювальних лампах, температуру ($T=2270-2770\text{ K}$) для збільшення частки ІЧ випромінювання в повному потоці ламп і скорочення частки видимого випромінювання. Вони поділяються на лампові і трубчасті термовипромінювачі.

Лампові термовипромінювачі. Частина внутрішньої поверхні колби дзеркальних ламп покрита шаром алюмінію або срібла з коефіцієнтом відображення ІЧ випромінювання близько 0,9. Колба ламп ИКЗК покрита червоним термостійким лаком, що знижує світловий потік ламп. Знижена температура тіла розжарювання інфрачервоних ламп сприяє збільшенню їх терміну служби до 5000 год.

На рис. 8 представлено розподілення потоків випромінювання по спектру для ламп ИКЗ 220-500, ИКЗ 127-500 і ИКЗК 220-500, ИКЗК 127-500

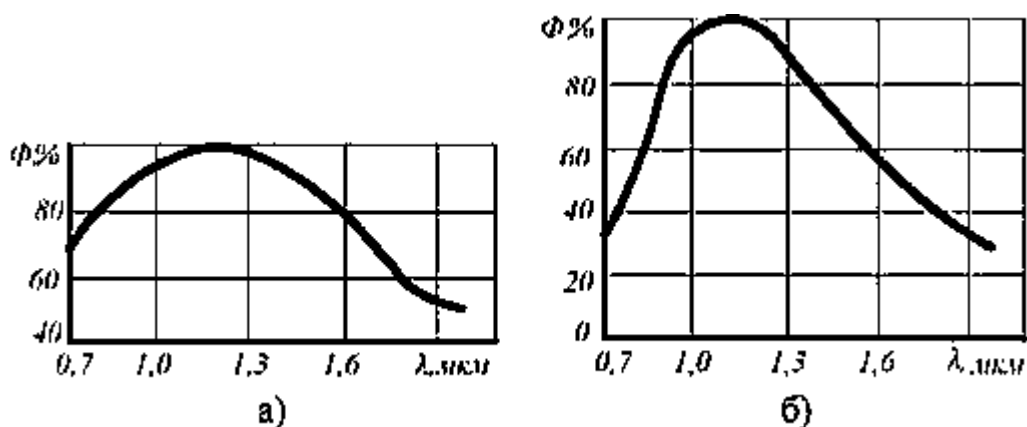


Рис. 8 – Розподілення потоків випромінювання по спектру: а) для ламп ИКЗ 220-500, ИКЗ 127-500; б) ИКЗК 220-500, ИКЗК 127-500

В позначенні типу ламп букви показують: ИКЗК-220-250 – інфрачервона, дзеркальна з червоною колбою; цифри, які стоять після букв, показують напругу мережі і потужність джерела випромінювання.

Постільки потік випромінювання залежить від температури тіла розжарювання то підвищення температури прискорює випаровування вольфраму і збільшує частку видимого світла в потоці випромінювання. Тому в лампах типу ИКЗ, де ефективним є ІЧ-випромінювання, робоча температура нитки розжарення з 2973 K (як у освітлювальній лампи) знижена до 2473 K з зменшенням на 60% світлової віддачі. Це дозволяє перетворити в ІЧ-випромінювання до 70% споживаної електроенергії. Довжина хвилі максимального випромінювання 1,05 μm , основна частина енергії генерується на ділянці спектра від 0,8 до 2 μm . Випромінювання тіла розжарення з довжиною хвилі більше 3,5 μm (7- 8 % усього потоку) поглинається склом колби, що є причиною передчасного виходу ламп з ладу через температурні перепади.

Опроміненість лампою типу ИКЗ при відстані до поверхні, що обігрівається 50-400 мм змінюється в межах від 2 до 0,2 $\text{Вт}/\text{см}^2$.

Трубчасті ІЧ-випромінювачі з тугоплавкого скла. По конструкції трубчасті джерела ІЧ випромінювання поділяються на дві групи - з тілами розжарювання з металевих резистивних сплавів і з вольфраму. Перші являють собою трубку з звичайного або тугоплавкого скла діаметром 0 - 20 мм; усередині трубки по центральній осі розміщено тіло розжарювання у вигляді спіралі, до кінців яких подається напруга живлення. Такі випромінювачі мало розповсюджені. Вони використовуються, як правило, для обігріву приміщень.

Випромінювачі з вольфрамовими тілами розжарювання за конструкцією аналогічні трубчастим лампам розжарювання. Тіло розжарення в вигляді вольфрамової спіралі розташоване повздовж осі трубки і закріплено на молибденових тримачах, впаяних в скляний стрижень. Трубчастий випромінювач може бути виготовлений із зовнішнім або внутрішнім відбивачем, утвореним випаровуванням срібла чи алюмінію у вакуумі. Спектральний розподіл випромінювання трубчастих випромінювачів близький до лампових. Температура розжарення складає 2100-2450 К. На рис. 9 показана конструкція трубчастого ІЧ-випромінювача.

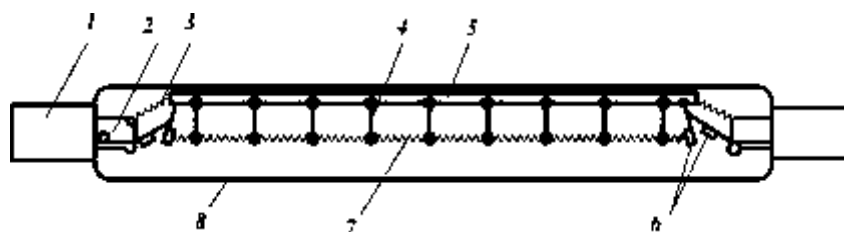


Рис. 9 – Конструкція трубчастого ІЧ випромінювача: 1- цоколь; 2 – штангель; 3 – пружина, яка підтримує стержень; 4 – молибденові тримачі; 5 – скляний стержень; 6 – електроди; 7 – вольфрамове тіло розжарювання; 8 – скляна трубка.

Трубчасті ІЧ-випромінювачі з кварцового скла. Мають аналогічну будову, що і трубчасті випромінювачі з тугоплавкого скла, тільки в якості колби використана трубка із кварцового скла.

Інфрачервоні кварцові лампи з йодним циклом мають наступні переваги: висока питома щільність випромінювання; стабільність потоку випромінювання на протязі терміну служби, (значення потоку випромінювання в кінці терміну служби складає 98% від початкового); малі габарити; можливість витримувати тривалі перевантаження; можливість плавного регулювання потоку випромінювання в широких межах шляхом зміни підведеної напруги.

Основні недоліки ламп: при температурі вище 623 К кварц під дією теплового розширення руйнується; лампи можуть працювати тільки в горизонтальному положенні, в іншому випадку тіло розжарювання може деформуватися під дією власної ваги і йодний цикл в результаті концентрації йоду в нижній частині трубки буде порушений.

«Темні» джерела ІЧ випромінювання представляють собою металеву трубку, заповнену вогнестійкою ізоляційною масою (окис алюмінію або окис магнію), які добре проводять теплоту, служать для ізоляції спіралі від трубки. В трубку поміщений нагрівач у вигляді спіралі з проволочки з високим електричним опором.

Торці трубки заливають вологонепроникним нагрівостійким лаком (герметиком). Контактні виводи виготовляються з сталюого дроту. Залежно від розмірів і поперечного

перерізу нагрівальної спіралі, можна регулювати температуру зовнішньої поверхні трубки в досить широких межах (673-1023 K).

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 №6. БУДОВА І ПРИНЦИП ДІЇ ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП, ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з будовою, видами та характеристиками люмінісцентних ламп.

План лекції

1. Основні закономірності електричного розряду в газах і парах металів;
2. Будова та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп;
3. Основні характеристики люмінесцентних ламп;
4. Пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп, схеми їх вмикання.

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. Основні закономірності електричного розряду в газах і парах металів

Носії електрики - електрони чи іони. У провідниках є надлишок електронів, тому вони добре проводять електричний струм. Добре проводять електричний струм розчини, в яких завжди є іони. У газах чи парах немає носіїв електрики: вони є ізоляторами. Під дією космічних променів і радіоактивних випромінювань Землі в будь-якому газовому

середовищі і в атмосфері Землі утворюється деяка кількість іонів, але час їх існування дуже обмежений, вони зникають, тобто рекомбінуються.

Кількість іонів в атмосфері дуже мало в порівнянні з кількістю нейтральних молекул. Можна штучно, наприклад, електромагнітним полем високої частоти, утворювати іони в газових проміжках і отримати струм, тобто розряд в газі. Такий розряд у газі називається несамостійним. Якщо в ізольованому від атмосфери просторі відкачати газ до тиску нижче 10 Па , то ймовірність рекомбінації різко знижується, іонізберігаються більш тривалий час. Введемо в цей простір два електроди (рис. 1) і докладемо до них деяку різницю потенціалів.

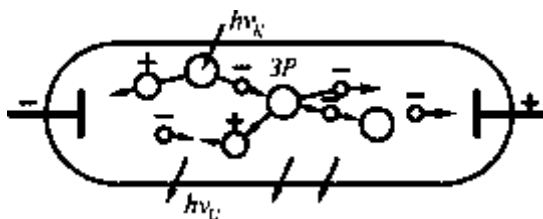


Рис. 1 – Розряд в газі: $h\nu_k$ – зовнішній збудник; $h\nu_n$ – випромінювання розряду; ЗР – збудження в розряді

Виникає електричне поле, в якому іони починають рухатися до відповідних електродів. Швидкість руху іонів пропорційна різниці потенціалів електродів. Найбільшою рухливістю володіють «легкі» іони - електрони. Але швидкість руху електрона, як будь-якої частки, тобто її кінетична енергія - показник температури. Підвищення температури тіла виражається в підвищенні кінетичної енергії його молекул, їх рухливості. Тому можна говорити про електронну температуру, яка підвищується зі збільшенням напруженості електричного поля в міжелектродному проміжку. Напруженість оцінюється відношенням різниці потенціалів до відстані між електродами. Нейтральні молекули газу в міжелектродному проміжку не схильні до дії електричного поля і мають свій запас кінетичної енергії, тобто свою температуру. Таким чином, в розглянутому об'ємі два типи частинок мають різну температуру (рис. 2).

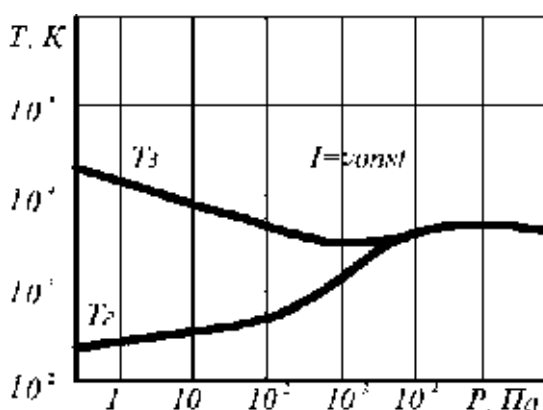


Рис. 2 – Вимірювання температури газу $T_Г$ і електронної температури T_3 при зміні тиску

Звичайно, ці частинки зіштовхуються між собою. При малій кількості електронів їх кінетична енергія гаситься нейтральними важкими молекулами і електрони не досягають анода. Струму немає. При підвищенні напруженості кінетична енергія електронів може бути настільки високою, що її виявиться достатньо для іонізації нейтральної молекули (не пружне зіткнення), тобто утворення додаткових носіїв електрики, прискорюваних в електричному полі до електронної температури і, у свою чергу іонізуючих нейтральні молекули. Настає пробій газового проміжку, «запалення» газового розряду. З'являється струм. Опір газового проміжку стає відмінним від нескінченності, і при цьому швидко зменшується тихий (темновий) розряд (рис. 3), що переходить у тліючий, характерний тим, що частина іонів встигає рекомбінуватися з виділенням фотонів: з'являється світіння.

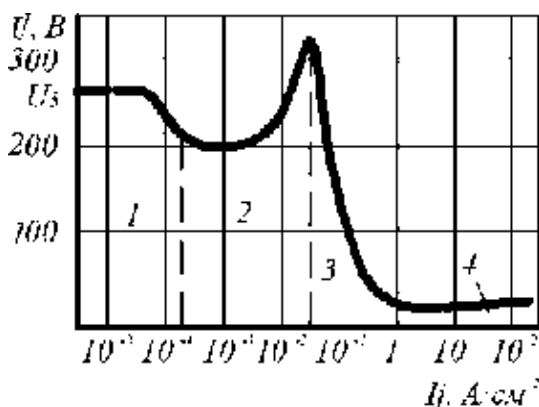


Рис. 3 – ВАХ газового провідника: 1 – темновий (тихий) розряд; 2 – тліючий розряд; 3 – дуговий розряд; 4 – зверх дуговий розряд

Для отримання тліючого розряду необхідно мати малий тиск легко іонізуючого газу (неону) і відносно високу напругу, прикладену до електродів. На цьому принципі працюють газосвітні установки (напруга живлення $U_{\text{ж}} = 1-20 \text{ кВ}$), індикатори напруги ($U_{\text{ж}} = 80-1000 \text{ В}$), стартери люмінесцентних ламп ($U_{\text{ж}} = 0,7 U_{\text{ж}}$).

Інтенсивність випромінювання тліючого розряду мала, тому для освітлення ця область газового розряду не використовується. Струм, обмежений зовнішнім великим опором у індикаторах напруги, становить кілька мікроампер, тобто безпечний для персоналу.

Підвищення тиску всередині описаного вище ізолюваного простору (лампи) ускладнює запалювання розряду. Але при цьому можна отримати більше носіїв електрики і, відповідно, великі щільності струму, а значить, і високу інтенсивність випромінювання. Цей процес - лавинний (рис. 3 зона 3), опір міжелектродного проміжку швидко падає до нуля, і обмежити струм, а отже уникнути короткого замикання, можна тільки зовнішнім опором (рис. 4). Це дуговий розряд. Висока концентрація іонів в лампі забезпечить широку можливість рекомбінації їх і відповідно, потужний потік фотонів. Принцип газового розряду – основний в РЛ (розрядних лампах).

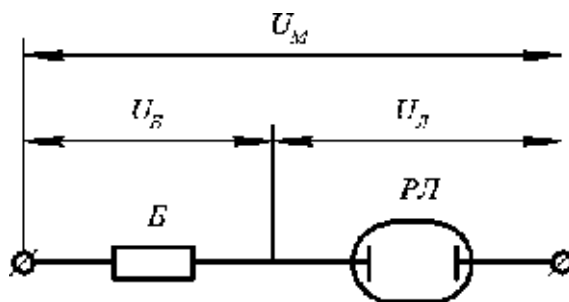


Рис. 4 – Принцип включення РЛ в мережу: Б – баласт

Розглянемо стабілізацію такого розряду. Вольт-амперна характеристика газового розряду - падаюча (рис. 5), тому для обмеження струму в ланцюзі лампи послідовно з нею необхідно включити опір баласту U_B .

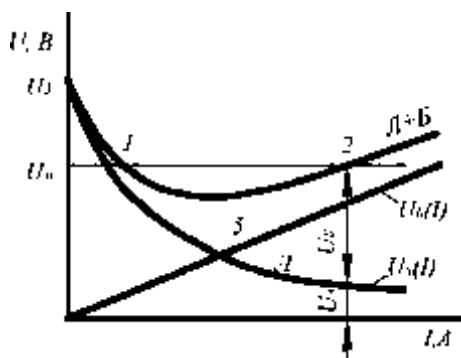


Рис. 5 – ВАХ баласту РЛ і схеми лампи з баластом

Вольт-амперна характеристика баласту, наприклад активного опору, відповідно до закону Ома ($U = IR$) - зростаюча. Напруга на схемі дорівнює сумі напруг $U_B + U_L$. У цілому ВАХ схеми в початковій ділянці буде падаючою, а потім перейде в зростаючу. Якщо до схеми прикласти напругу мережі U_M , то в двох точках цієї характеристики 1 і 2 напруга мережі та схеми виявляться однаковими. На падаючій частині характеристики струм самовільно зростає, і робота схеми в точці 1 неможлива. Стійка робота схеми в точці 2. Зростання струму в схемі можливо тільки зі збільшенням напруги U_M . Для газового розряду напруга запалювання U_3 завжди вище напруги живлення схеми U_M . Напруга на баласті U_B зазвичай більша, ніж напруга на лампі U_L .

Стійка робота газового розряду високого тиску можлива при високих напруженнях поля, яка викликає високі швидкості електронів. Тиск в потоці частинок високих швидкостей в відповідності до закону Бернуллі - знижений у порівнянні з навколишньою атмосферою, яка своїм тиском витісняє швидкісні частки в центр лампи. Говорять що розряд «відшнурнувся». Випромінюється не весь обсяг лампи, а тільки її центральна частина уздовж лінії найкоротшої відстані між електродами. Стан речовини в шнурі ми називаємо плазмою. Зі збільшенням тиску в атмосфері розряд плазми починає випробовувати гальмування зі сторони навколишнього середовища. В місці з цим гальмуванням зростає опір розрядного проміжку, ВАХ якого починає зростати (рис. 3, зона 4), а напруга на баласті зменшується і в певних умовах баласт може бути зовсім

відсутнім (лампи зверх високого тиску).

6.2. Будова та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп

Люмінесцентні лампи являють собою розрядні джерела світла низького тиску, в яких ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду перетворюється люмінофором у більш довгохвильове випромінювання.

У промислово розвинених країнах на частку освітлювальних установок (ОУ) з лінійними люмінесцентними лампами (ЛЛ) приходиться більше 70 % виробленої світлової енергії.

За останні 3-4 роки, світова електролампова промисловість досягла значного прогресу в області вдосконалення характеристик лінійних ЛЛ загального призначення:

- габаритні розміри ЛЛ зменшені по діаметру і по довжині, які оптимізовані до використання зі стандартними монтажними модулями підвісних стель;
- значення світлової віддачі у ЛЛ нового покоління більше ніж 100 лм / Вт при роботі в схемах з ЕПРА;
- середній термін служби збільшений з 7 - 9 до 12 - 15 тис. год і більше;
- спад світлового потоку в кінці терміну служби знижено з 15-20 до 5% від початкового значення;
- вміст ртуті в ЛЛ зменшено в середньому на 80%.

Лампи включаються і працюють тільки зі спеціально розробленими для них ЕПРА, лампи мають двохштирьковий цоколь типу G-5 і володіють усіма перевагами ЛЛ діаметром 26 мм на трьохкомпонентних люмінофорах, при цьому мають велику світлову віддачу і середній термін служби, який при тригодинному циклі вмикання становить 16 тис. год. Зменшення діаметра колб нових ЛЛ на 40 % дає можливість більш ефективно використовувати їх з дзеркальними відбивачами і екрануючими решітками, зменшити висоту підвісу світильників, знизити витрати всіх вихідних матеріалів при виготовленні як самих ламп, так і світильників. При цьому забезпечується більш раціональне використання складських приміщень. зменшуються витрати на пакувальні матеріали та утилізацію відпрацьованих ламп.

Зменшення довжини нових ЛЛ на 50 мм (у порівнянні зі стандартними розмірами ламп діаметром 26 мм) дозволило створити на їх базі, конструкції вмонтованих світильників, які оптимально підходять до стандартних систем підвісних стель.

На рис. 6 показано загальна конструкція люмінесцентних ламп загального призначення.

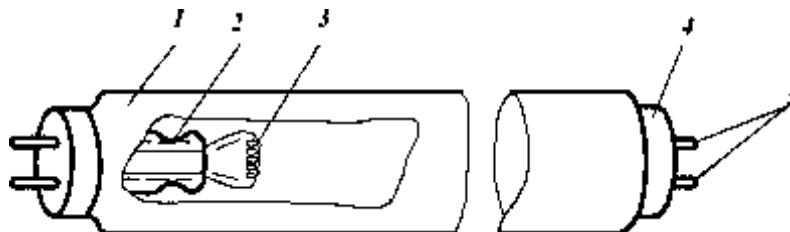


Рис. 6 – Конструкція люмінесцентної лампи загального призначення в розрізі

Люмінесцентна лампа загального призначення (рис. 6) являє собою циліндричну колбу 1, герметично закриту з ввареними в її торці скляними ніжками 2. На ніжках

змонтовані вольфрамові біспіралі 3, покриті шаром оксиду (окислів лужно - земельних металів), що забезпечує добру емісію електронів. По кінцях лампа має короткі цоколі 4 з штирками 5, що служать для включення її в електричну мережу. До штирків припаяні виводи електродів.

Внутрішня поверхня колби лампи покрита тонким шаром люмінофора - кристалічної речовини певного хімічного складу. З колби відсмоктане повітря і введено аргон з невеликою кількістю ртуті (30-80 мг). Призначення аргону складається в зменшенні розпилення покриття електродів і полегшення запалювання розряду, так як суміш інертного газу з парами ртуті представляє собою більш сприятливе середовище для виникнення розряду, ніж аргон або пари ртуті, окремо взяті. При розряді збуджуються і випромінюють однак, лише атоми ртуті. Перетворення електричної енергії в видиме випромінювання можна розділити на два етапи:

- перетворення електричної енергії в процесі електричного розряду в парах ртуті в енергію ультрафіолетового випромінювання;
- перетворення в шарі люмінофора УФ випромінювання у видиме.

Незначна частина видимого випромінювання (5-7 %) створюється в результаті самого електричного розряду в між електродному проміжку. Люмінофор, який застосовується в люмінесцентних лампах, є порошкоподібною речовиною. В природних умовах такою речовиною є фосфор. Розмір зерен, товщина і структура шару впливають на світлові властивості лампи. Зазвичай на 1 см^2 поверхні наноситься 2-3 мг люмінофора. Шар люмінофора працює на просвіт: збуджується зсередини, а випромінюється в навколишній простір лампи.

На рис. 7 приведено спектральну щільність випромінювання ЛЛ:

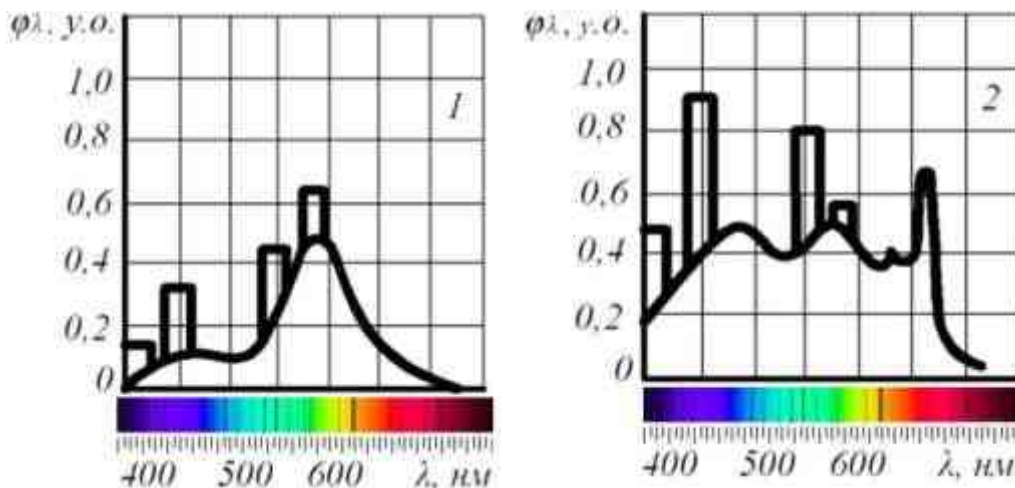


Рис. 7 – Спектри випромінювання ламп: 1 – ЛБ; 2 – ЛДЦ

Люмінесцентні лампи розрізняють по формі, потужності і спектральному складі чи кольоровості випромінювання.

Принцип дії люмінесцентної лампи розглянемо на прикладі стартерної схеми включення, яка представлена на рис. 8.

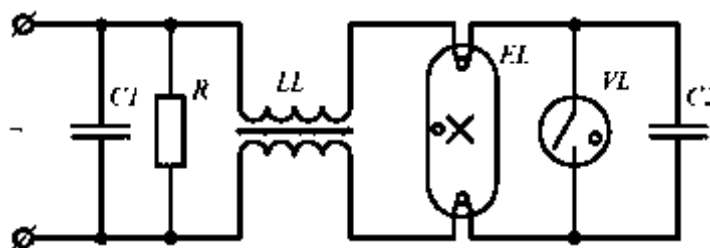


Рис. 8 – Стартерна схема включення люмінесцентної лампи

Стартерна схема включення люмінесцентної лампи - стандартна схема, яка забезпечує імпульсне запалювання лампи і стабілізацію в ній дугового розряду.

Для надійного запалювання люмінесцентної лампи її електроди попередньо нагрівають електричним струмом до температури близько 1000 K^0 . При цьому іонізується міжелектродний проміжок за рахунок термоелектронної емісії оксидного покриття електродів, а напруга запалювання знижується. Підігрів електродів і запалювання дугового розряду в лампі здійснюються за допомогою стартера і дроселя.

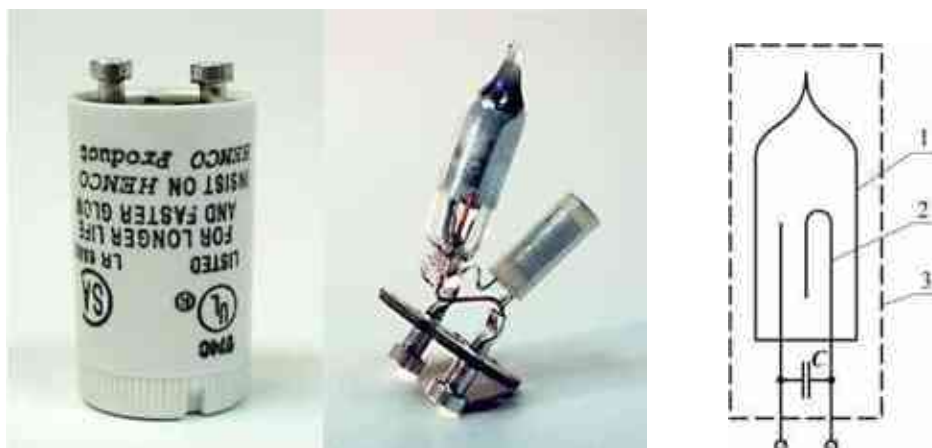


Рис. 9 – Стартер: 1 – колба; 2 – біметалевий електрод; 3 – корпус;
C – конденсатор

Стартер (рис. 9) представляє собою мініатюрну газорозрядну лампу тліючого

розряду. Один з електродів стартера виконаний біметалевим і при нагріванні змінює своє положення щодо іншого нерухомого електрода аж до короткого замикання з ним.

У стандартній стартерній схемі, (рис. 9) люмінесцентна лампа EL включена послідовно з індуктивним баластовим опором LL, що представляє собою дросель із залізним сердечником. Паралельно схемі підключений компенсуючий конденсатор C1, який призначений для підвищення коефіцієнта потужності установки з 0,5-0,6 до 0,92-0,95. Опір R, включений паралельно конденсатору, призначений для розряду ємності після відключення схеми від мережі, так як провідність непрацюючої люмінесцентної лампи близька до нуля.

Конденсатор C2 знижує радіоперешкоди, що створюються дуговим розрядом, збільшує тривалість імпульсу високої напруги, що виникає в дроселі, і зменшує іскріння контактів стартера в момент їх розмикання.

Після включення схеми напруга мережі виявляється прикладеною до лампи і стартера. Висока напруга запалювання лампи не дозволяє їй запалитися ($U_{з.л} > U_M$). У цей час в стартері виникає тліючий розряд внаслідок того, що напруга запалювання менше напруги мережі $U_{з.ст} < U_M$). Теплота, що виділяється в тліючому розряді, достатньо для підвищення температури біметалічного електрода. У результаті він починає згинатися в бік нерухомого електрода.

Після замикання контактів стартера утворюється послідовне коло з біспіралей електродів лампи і дроселя. По колу потече струм, що перевищує номінальний струм лампи приблизно в 1,5 рази і сприяє швидкому розігріву електродів. Процес розігріву триває 1-3 с, поки біметалевий електрод стартера не охолоне і не розімкне коло. За цей час електроди лампи встигають нагрітися і створити необхідну іонізацію розрядного проміжку. Наприкінці процесу розігріву контакти стартера розмикаються.

При розмиканні кола струм, що протікає по обмотці дроселя, різко зменшується і в ньому виникає ЕРС самоіндукції, сумарне значення ЕРС і напруги мережі достатньо для пробою розрядного проміжку в лампі і виникнення дугового розряду. Лампа починає працювати (встановлюється напруга горіння, рівна приблизно половині напруги мережі).

Після запалювання лампи електроди стартера залишаються розімкнутими і тліючий розряд у ньому не виникає, тому що напруга $U_{г.л.}$ горіння лампи, прикладена до стартера, менша напруги $U_{з.ст.}$ його запалювання. Для надійної автоматичної роботи стартера витримується така умова:

$$U_M > U_{з.ст.} > U_{з.л.}$$

6.3. Основні характеристики люмінесцентних ламп

Енергетичний ККД сучасних люмінесцентних ламп більше 20 %, світловий - до 12%. У порівнянні з лампами розжарювання вони більш досконалі джерела видимого випромінювання.

Спектр випромінювання люмінесцентних ламп в залежності від складу люмінофора може бути ультрафіолетовим та видимим з різними колірними відтінками.

Ефективна віддача люмінесцентних ламп також залежить від складу люмінофора. У освітлювальних люмінесцентних ламп світлова віддача досягає 80 лм / Вт, а яскравість в 200-300 разів менше яскравості ламп розжарювання.

Електротехнічні параметри люмінесцентних ламп різноманітні, але у всіх випадках тісно пов'язані з їх габаритними розмірами. Найкращим чином параметри поєднуються в лампі потужністю 40 Вт з прямою трубчастою колбою завдовжки 1,2 м і діаметром 40 мм.

Серед ламп з однаковим спектральним складом випромінювання найбільша ефективна віддача у ламп потужністю 40 Вт. Промисловість випускає люмінесцентні лампи потужністю від 3 до 200 Вт. Наймасовішу серію представляють лампи потужністю 15-80 Вт.

Експлуатаційні показники люмінесцентних ламп безперервно поліпшуються. Середня тривалість горіння освітлювальних люмінесцентних ламп загального призначення складає 12000-15000 год. У процесі експлуатації спостерігається значний спад потоку випромінювання: до кінця терміну служби він складає 60% номінального. Найбільш інтенсивно потік знижується в початковий період експлуатації, тому за номінальний приймають його значення після 100 год. роботи лампи.

Термін служби люмінесцентної лампи залежить також від режиму роботи електродів. Підвищений знос оксидного покриття в несприятливих режимах роботи може призвести до відмови запалювання лампи до закінчення терміну служби.

Робота люмінесцентної лампи від мережі змінного струму частотою 50 Гц супроводжується пульсацією потоку випромінювання. У ламп типу ЛБ властивості люмінофора такі, що Кп.в. = 22-23 %, у ламп з поліпшеною передачею кольору ЛДЦ, ЛТБЦ, ЛЕЦ коефіцієнт пульсації випромінювання значно більше – 45-75%.

У порівнянні з лампами розжарювання основні параметри люмінесцентних ламп менше залежать від відхилень напруги мережі живлення (їх характер практично лінійний, причому зміна напруги на 1% відповідає зміні світлового потоку на 1%, потужності - на 2, терміну служби - на 3-4 %).

Ступінь впливу змін напруги на параметри люмінесцентної лампи визначається схемою її включення і видом баластного опору. Наприклад, в стартерній схемі як підвищення, так і зниження напруги в рівній мірі негативно позначаються на роботі електродів і, відповідно, на терміні служби лампи.

Світлова віддача люмінесцентних ламп мало залежить від змін напруги мережі і може незначно підвищуватися при його зниженні.

Відхилення напруги мережі негативно позначаються на надійності роботи лампи. Зниження напруги більш ніж на 10% призводить до відмови у запалюванні, а зниження більш ніж на 20% - до загасання палаючої лампи.

На роботу люмінесцентних ламп істотно впливають і чинники навколишнього середовища. Відхилення температури повітря від 20-25 °С у бік як підвищення, так і зниження приводить до зменшення потоку випромінювання і ефективної віддачі лампи. Значні відхилення температури повітря від вказаної раніше погіршують умови запалювання лампи. При малих позитивних значеннях температури повітря напруга запалювання підвищується на 20-25%, при негативній температурі ймовірність запалювання люмінесцентної лампи близька до нуля. Збільшення відносної вологості повітря понад 50% супроводжується підвищенням напруги запалювання лампи.

6.4. Пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп, схеми їх вмикання

Пускорегулюючий апарат (ПРА) - це пристрій, за допомогою якого розрядна лампа

отримує живлення від електричної мережі. ПРА забезпечує необхідний режим запалювання, розігріву електродів, а після запалювання дугового розряду роботу лампи в номінальному режимі.

Основні функції ПРА: стабілізація робочих характеристик лампи після її запалювання і забезпечення стійкості роботи лампи при відхиленнях напруги мережі. Деякі типи пускорегулювальних апаратів забезпечують ще декілька функцій: підігрів електродів, підвищення напруги для запалювання лампи та ін.

Для люмінесцентних ламп використовують ПРА трьох основних типів:

- ПРА імпульсного запалювання подають імпульс напруги на лампу;
- ПРА швидкого запалювання подають на лампу напруга не імпульсної форми з попереднім підігрівом електродів;
- ПРА миттєвого запалювання подають напругу не імпульсної форми на холодні електроди лампи.

Найменш надійним елементом стартерних схем включення люмінесцентних ламп є стартер з його малим терміном служби, який залежить від числа включень, і нестабільністю електричних параметрів. Ці недоліки стартера призводять до скорочення терміну служби ламп, а часто до перегріву і виходу з ладу всього ПРА.

Характерні особливості вольт-амперних характеристик напівпровідникових елементів дозволяють використовувати їх замість стартерів тліючого розряду. Відомі схеми з застосуванням позисторів, перемикаючих діодів-динисторів і тринисторів. Прикладом ПРА імпульсного запалювання з використанням динисторів є схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером, яка приведена рис. 10.

Процес запалювання лампи видно на осцилограмах (рис. 10 (б)). При певному миттєвому значенні напруги позитивної напівхвилі синусоїдальної напруги мережі U_m , динистор VS відкривається, по електродах лампи тече струм попереднього підігріву i_{nn} , напруга на лампі під час підігріву залишається рівною падінню напруги на відкритому динисторі.

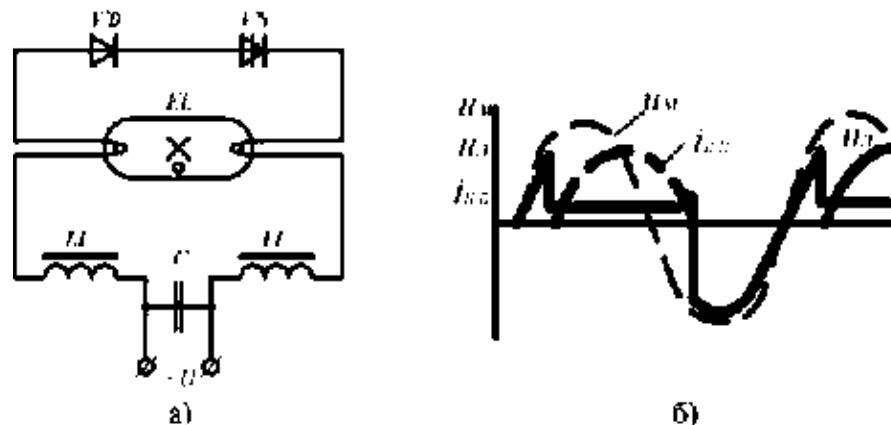


Рис. 10 – а) Схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером; б) Осцилограми миттєвих значень напруги і струму при запалюванні люмінесцентної лампи за допомогою динистора. VS - динистор; VD – діод; LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа

У момент припинення струму підігріву ($i_{nn} = 0$) до лампи прикладається напруга негативної напівхвилі. Якщо електроди лампи досить нагрілися і напруга запалювання

лампи стала менше амплітудного, то лампа запалюється. Якщо нагрів недостатній, то процес повторюється з частотою мережі до моменту створення задовільних умов для запалювання.

Прикладом ПРА гарячого, з постійним підігрівом і холодного запалювання є схеми які приведена рис. 11.

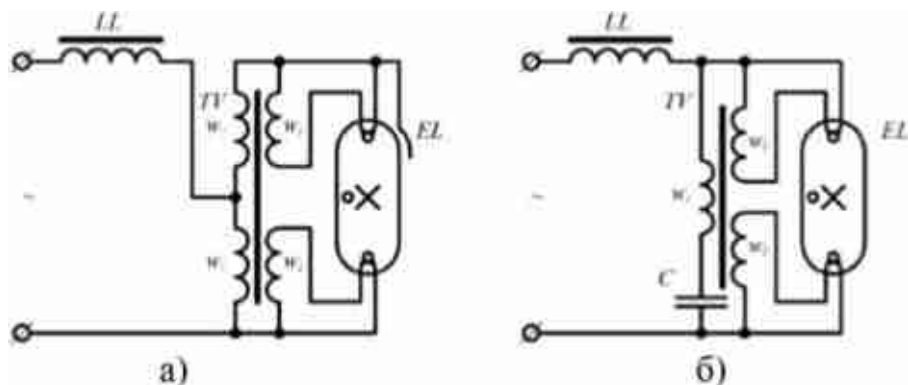


Рис. 11 – а) Безстартерна схема включення ЛЛ з розжарювальним трансформатором гарячого запалювання: EL – люмінесцентна лампа; LL – дросель; TV - розжарювальний трансформатор; б) Резонансна безстартерна схема включення ЛЛ з розжарювальним трансформатором холодного запалювання: C – конденсатор; w_1 – первинна обмотка трансформатора; w_2 – вторинна обмотка трансформатора

Безстартерна схема гарячого запалювання ЛЛ з постійним підігрівом електродів включає в себе дросель і розжарювальний трансформатор. (рис 11, а) надійність запалювання ЛЛ забезпечується попереднім підігрівом електродів, який знижує напругу запалювання до значення напруги мережі, і наявністю провідникової полоси або покриття на колбі. Недоліком безстартерної ПРА гарячого запалювання є більші витрати матеріалів на виготовлення, більші втрати потужності. До того ж після запалювання люмінесцентної лампи по нитці розжарення електродів постійно протікає струм підігріву, що зменшує термін служби ламп за рахунок розпилювання електродів лампи, на первинній обмотці розжарювального трансформатора під час роботи лампи зберігається приблизно половина напруги, що подається на схему.

Пускорегулюючі апарати холодного (миттєвого) запалювання при холодних електродах лампи (рис. 11, б) містять індуктивні та ємнісні елементи, що утворюють у режимі холостого ходу послідовний резонансний контур. За рахунок резонансу напруг у такому контурі забезпечується надійне запалювання люмінесцентної лампи, підключеної паралельно одному з цих елементів.

При подачі напруги на схему напруга на конденсаторі перевершує напругу мережі в 2-2,5 рази. Трохи зменшена напруга розжарювального трансформатора буде подана на лампу. При розігріві електродів від розжарювального трансформатора цієї напруги достатньо для загоряння лампи. Після загоряння лампи коло ємність – первинна обмотка трансформатора шунтується опором лампи, виводячи контур із резонансу.

Недоліки ПРА миттєвого запалювання заключаються в значній втраті потужності (до 40 % потужності лампи) і в швидкому розпилюванні оксидного покриття електродів.

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: Електричний розряд у газах і парах металів. Стабілізація дугового розряду в газах і парах металів. Вплив виду баластного опору на роботу газорозрядної лампи.

ТЕМА №7. ГАЗОРОЗРЯДНІ, СВІТЛОДІОДНІ ЛАМПИ, ЇХ ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з будовою, видами та характеристиками газорозрядних та світлодіодних ламп.

План лекції

1. Газорозрядні лампи високого тиску;
2. Газорозрядні джерела ультрафіолетового випромінювання;
3. Світлодіодні лампи, їх основні характеристики.

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 Газорозрядні лампи високого тиску

Основними недоліками люмінесцентних ртутних ламп низького тиску є відносно мала потужність, великі габаритні розміри і залежність їх характеристик від температури навколишнього середовища. Дуговий розряд в парах ртуті при тиску до $0,3 \text{ МПа}$ дозволяє створити джерела світла з високою світловою віддачею і значним терміном роботи. Номінальна потужність таких джерел може бути від декількох десятків Вт до одиниць кіловат. До газорозрядних ламп високого тиску, які використовуються в якості джерел видимого випромінювання, необхідно віднести лампи типів ДРЛ, ДРИ, ДНаТ, ДКсТ.

Ртутні лампи високого тиску (ДРЛ). Лампи типу ДРЛ – дугова ртутна люмінесцентна лампи високого тиску прийнята у вітчизняній світлотехніці як РЛВД, з виправленою кольоровістю - широко поширені для освітлення виробничих територій, будівельних майданчиків, проїзної частини доріг, а також промислових і сільськогосподарських об'єктів, що не вимагають високої якості передачі кольору.

Для узгодження електричних параметрів лампи і джерела електроживлення практично всі види РЛ, що мають падаючу зовнішню вольт-амперну характеристику, потребують використання пускорегулюючого апарату, в якості якого в більшості випадків використовується дросель, включений послідовно з лампою.

Чотирьохелектродна лампа ДРЛ (рис. 1) складається із зовнішньої скляної колби 1, яка заповнена вуглекислим газом для стабілізації властивостей люмінофору і яка забезпечена різьбовим цоколем 2. На ніжці лампи змонтована на геометричній осі зовнішньої колби кварцова внутрішня колба (розрядна трубка, РТ) 3, яка наповнена аргоном з добавкою ртуті. Чотирьохелектродні лампи мають основні електроди 4 і розташовані поряд з ними допоміжні (запалюючі) електроди 5. Кожен запалюючий електрод з'єднаний з перебуваючим в протилежному кінці РТ основним електродом через струмо-обмежуючі опори 6. Допоміжні електроди полегшують запалювання лампи і роблять її роботу в період пуску більш стабільною.

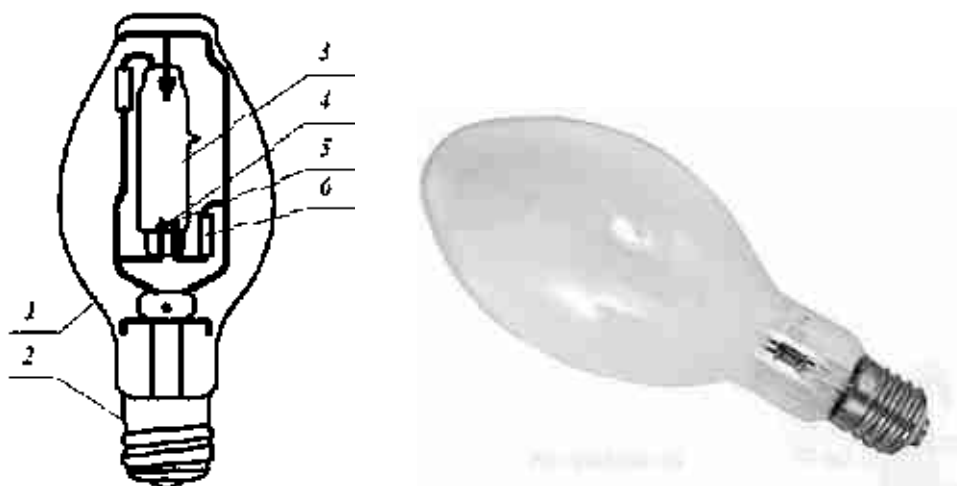


Рис. 1. – Лампа високого тиску ДРЛ

Принцип дії лампи заключається в наступному: внутрішня колба розрядної трубки (РТ) лампи виготовляється з тугоплавкого і хімічно стійкого прозорого матеріалу (кварцового скла або спеціальної кераміки) і наповнюється строго дозованими порціями інертних газів. Крім того у внутрішню колбу вводиться металева ртуть, яка в холодній лампі має вигляд компактної кульки або осідає у вигляді нальоту на стінках колби і (або) електродах. Світловим тілом РЛВД є стовп дугового електричного розряду.

Процес запалювання лампи, оснащеної запалювальними електродами, виглядає наступним чином. При подачі на лампу напруги живлення між близько розташованими основним і запалювальним електродами виникає тліючий розряд, чому сприяє мала відстань між ними, яка істотно менша відстані між основними електродами, отже, нижче і напруга пробою цього проміжку. Виникнення в порожнині РТ досить великої кількості носіїв заряду (вільних електронів і позитивних іонів) сприяє пробою проміжку між

основними електродами і запалюванню між ними тліючого розряду, який практично миттєво переходить в дуговий.

Стабілізація електричних та світлових параметрів лампи настає через 10-15 хв після включення. Протягом цього часу струм лампи істотно перевершує номінальний і обмежується лише опором пускорегулюючого апарату. Тривалість пускового режиму сильно залежить від температури навколишнього середовища - чим холодніше, тим довше буде розпалюватися лампа.

Електричний розряд у внутрішній колбі ртутної дугової лампи створює видиме випромінювання блакитного або фіолетового (а не білого як прийнято вважати) кольору, а також потужне ультрафіолетове випромінювання. Останнє збуджує світіння люмінофора, нанесеного на внутрішній стінці зовнішньої колби лампи. Червонувате світіння люмінофора, змішуючись з біло-зеленуватим випромінюванням внутрішньої колби, дає яскраве світло, близьке до білого.

Зміна напруги мережі живлення в більшу чи меншу сторону викликає відповідну зміну світлового потоку. Відхилення напруги живлення на 10–15 % допустимо супроводжується зміною світлового потоку лампи на 25–30 %. При зменшенні напруги живлення менше 80 % номінального лампа може не запалитися, а працююча - згасне.

При горінні лампа сильно нагрівається. Це вимагає використання в світлових приладах з дуговими ртутними лампами термостійких проводів, пред'являє серйозні вимоги до якості контактів патронів. Оскільки тиск у внутрішній колбі гарячої лампи істотно зростає, збільшується і напруга її пробою. Величина напруги мережі живлення виявляється недостатньою для запалювання гарячої лампи. Тому перед повторним запалюванням лампа повинна охолонути. Цей ефект є істотним недоліком дугових ртутних ламп високого тиску, оскільки навіть дуже короточасний перерив електроживлення гасить їх, а для повторного запалювання потрібна тривала пауза. У схемі включення таких ламп (рис. 2) послідовно з лампою включається одно-або двох обмотувальний дросель. Так як при індуктивному баласті коефіцієнт потужності ПРА складає 0,45-0,6, то для його підвищення до необхідного значення при індивідуальній компенсації в схему вводиться конденсатор С1. Ємність конденсатора визначається потужністю лампи.

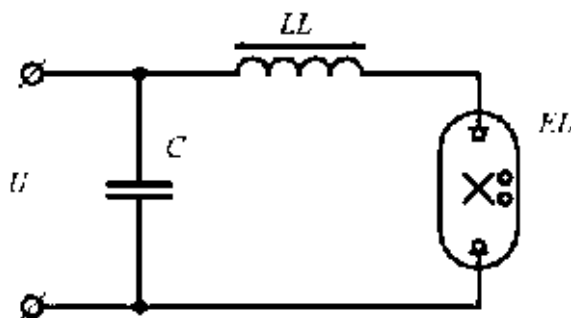


Рис.2 – Принципова схема включення чотириелектродних ламп типу ДРЛ:

LL – дросель; C – конденсатор; EL – лампа

Переваги ламп ДРЛ по відношенню до люмінесцентних ламп низького тиску в наступні:

- лампи ДРЛ порівняно з малими розмірами дозволяють отримати від одного джерела набагато більший світловий потік ніж від ЛЛ;

- постільки внутрішня колба знаходиться у зовнішній колбі, умови зовнішнього середовища не впливають на світлотехнічні характеристики лампи. Лампа працює в номінальному режимі при температурі навколишнього середовища від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$.

Недоліки ламп ДРЛ по відношенню до люмінесцентних ламп низького тиску є наступні:

- світлова віддача лампи ДРЛ менша ніж у ЛЛ і складає вона в середньому $40\text{--}50 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$;
- температура зовнішньої колби складає в середньому 200°C і при попаданні капель дощу на неї вона може тріснути;
- лампи ДРЛ поступаються по кольоропередачі ЛЛ;
- світловий ККД ламп ДРЛ складає до 10%.

Дугові металогалогенні лампи високого тиску (МГЛ). Перспективи їх використання визначаються виключно широкими можливостями варіювання спектральним розподілом випромінювання – від практично однорідного до безперервного - при високому ККД і високій питомій потужності.

Будова і принцип дії МГЛ засновані на тому, що галогеніди багатьох металів випаровуються легше, ніж самі метали, і не руйнують кварцове скло. Тому всередину розрядних колб МГЛ крім ртуті та аргону, додатково вводяться різні хімічні елементи у вигляді галоїдних сполук (тобто сполук з I, Br, Cl). Після запалювання розряду, коли досягається робоча температура колби, галогеніди металів частково переходять у пароподібний стан. Потрапляючи в центральну зону розряду з температурою в кілька тисяч градусів Кельвіна, молекули галогенідів дисоціюють на галоген і метал. Атоми металу збуджуються і випромінюють характерні для них спектри. Дифундуючи за межі розрядного каналу і потрапляючи в зону з більш низькою температурою поблизу стінок колби, вони з'єднуються в галогеніди, які знову випаровуються. Цей замкнений цикл забезпечує дві принципові переваги:

- у розряді створюється достатня концентрація атомів металів, що дають необхідний спектр випромінювання, тому що при робочій температурі кварцовою колби $800\text{--}900^{\circ}\text{C}$ тиск парів галогенідів багатьох металів значно вище, ніж самих металів, таких як талій, індій, скандій, диспрозій та ін.;

- з'являється можливість вводити в розряд лужні (натрій, літій, цезій) та інші агресивні метали (наприклад, кадмій, цинк), які в чистому вигляді викликають дуже швидке руйнування кварцового скла при температурах вище $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$, а у вигляді галогенідів не викликають такого руйнування. Застосування галогенідів різко збільшило кількість хімічних елементів, які використовуються для генерації випромінювання, і дозволило створювати МГЛ з дуже різними спектрами, особливо у випадку використання суміші галогенідів. Незважаючи на відносно малу концентрацію металів, які добавляються, у порівнянні з концентрацією ртуті значна частина випромінювання розряду створюється висвітленням атомів добавок, чим пояснюється більш низькими потенціалами збудження цих атомів. Ртутні пари відіграють роль буфера, забезпечуючи високу температуру в розряді, високий градієнт потенціалу, малі теплові втрати і ін.

Для загального освітлення в даний час найбільш широкого поширення набули МГЛ з наступними складами металогалогенних добавок (крім ртуті і запалюючого газу): 1) йодиди натрію, талію та індію, 2) йодиди натрію, скандію і торію.

На рис. 3 показано будову лампи ДРИ (дугова ртутна з іодідами металів). Лампа містить трубчасту внутрішню колбу 1 з кварцового скла з поміщеними в її торці вольфрамовими електродами 2. Порожнина внутрішньої колби заповнена аргоном, строго дозованими компонентами у вигляді ртуті, йодидів рідкоземельних металів (гальмія, тулію, талію), а також натрію і цезію. Внутрішня колба поміщена в зовнішню прозору термостійку колбу 3 з вакуумом, яка забезпечує необхідний температурний режим внутрішньої колби й усуває можливість електричного пробоя між струмоведучими частинами лампи.

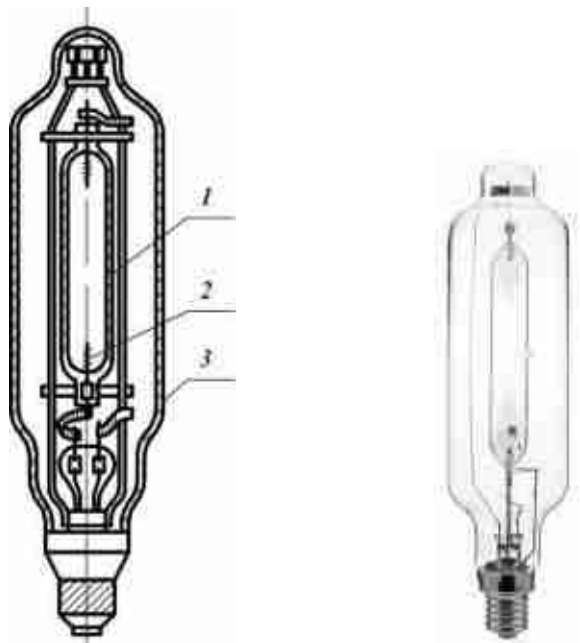


Рис. 3 – Будова лампи ДРИ

Схема включення лампи ДРИ (рис. 4) містить трансформатор TV2, вторинна обмотка якого виконує роль баластного опору, стабілізуючого розряд між електродами. Первинна обмотка трансформатора TV2 є частиною запалюючого пристрою, що містить, крім того, трансформатор TV1, конденсатор С і розрядник F.

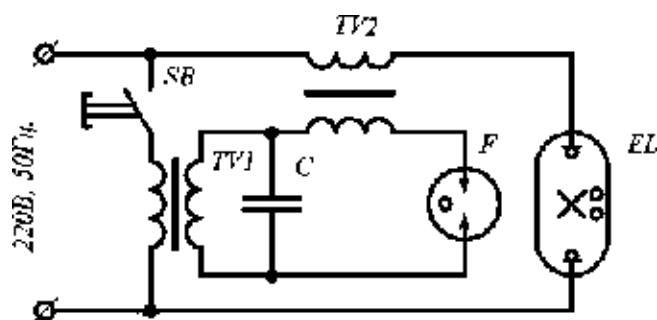


Рис.4 – Схема включення лампи ДРИ

Напруга мережі, прикладена до електродів лампи, недостатня для виникнення розряду між ними. При включенні кнопкою SB трансформатора TV1 конденсатор С протягом частини напівперіоду мережі заряджається від вторинної обмотки TV1 до напруги пробоя розрядника F. У момент пробоя з первинної обмотці TV2 протікає

імпульс струму розряду конденсатора, а у вторинній обмотці трансформатора TV2 виникає імпульс напруги з амплітудою до 2-3 кВ, який забезпечує запалювання розряду у внутрішній колбі лампи. У наступний напівперіод мережі процес повторюється. Запалюючий пристрій забезпечує надійне включення лампи при температурі навколишнього середовища до -40°C . Світлотехнічні та електротехнічні параметри лампи під час її розігріву змінюються так само, як і у ламп ДРЛ. Час розігрівання лампи 2-4 хв. Повторне запалювання лампи ДРИ після її згасання можливо через 5-10 хв, в залежності від умов охолодження. Кожен з компонентів наповнення внутрішньої лампи доповнює лінійчатий спектр ртутного розряду своїм випромінюванням. Йодид натрію доповнює випромінювання в жовтій частині спектра, талій - взеленій, індію - у блакитній. Сукупність випромінювань всіх компонентів створює враження безперервного спектру, а певний склад суміші дозволяє отримати кольоровість випромінювання лампи, близьку до природного світла.

Переваги лампи типу ДРИ по відношенню до лампи ДРЛ:

- у порівнянні з лампами ДРЛ світловий потік ламп ДРИ такої ж потужності більше в 1,5-1,6 рази, а спектральний склад випромінювання забезпечує правильну передачу кольору;

- світлова віддача ламп ДРИ досягає 95 лм·Вт-1, що ставить їх в ряд найбільш ефективних джерел світла;

- умови навколишнього середовища не надають істотного впливу на світлотехнічні характеристики лампи, внутрішня колба якої вміщена у вакуум зовнішньої колби.

Лампи ДРИ при очевидних перевагах не позбавлені і недоліків:

- у процесі експлуатації світловий потік ламп ДРИ зменшується в 1,3-1,5 рази швидше в порівнянні з лампами ДРЛ, цим пояснюється значно менший термін служби перших;

- відхилення напруги чинять значний вплив на світловий потік і потужність ламп ДРИ: відхилення напруги мережі в межах $\pm 10\%$ Ун викликають в 3 рази більші відхилення світлового потоку і в 2,2 рази більші відхилення потужності лампи від номінальних значень;

- необхідність у запалюючому пристрої здорожує ПРА до ламп ДРИ, ускладнює їх експлуатацію; висока напруга на вторинній обмотці трансформатора, що досягає декількох кіловольт, вимагає поліпшення міжвиткової ізоляції, крім того, запалюючий пристрій необхідно розміщувати в безпосередній близькості від лампи, щоб довжина проводів, по яких передається високовольтний імпульс, була мінімальною.

Натрієві лампи високого тиску. Натрієві лампи високого тиску (НЛВД) є одними з найбільш ефективних джерел світла і вже сьогодні мають світлову віддачу до 160 лм/Вт при потужностях 30-1000 Вт; їх термін служби може перевищувати 25000 год. Запалювання НЛВД відбувається за допомогою спеціальних запалюючих пристроїв, які видають імпульс з амплітудою 2-4кВ. Час розпалювання ламп зазвичай складає 3-5 хв.

До переваг сучасних НЛВД можна віднести невеликий спад світлового потоку протягом терміну служби, який, наприклад для ламп потужністю 400 Вт становить 10-20 % за 15 тисяч годин роботи при 10- годинному циклі горіння. У ламп, що працюють при більш частих включеннях, спад світлового потоку зростає приблизно на 25 % при кожному дворазовому скороченні циклу. Таке співвідношення застосовується для розрахунку зниження терміну служби.

Прийнято вважати, що ці лампи застосовуються там, де економічні показники більш важливі, ніж точне відтворення кольору. Їх теплий жовтий колір підходить для освітлення парків, торговельних центрів, доріг, а також, в деяких випадках, для декоративного архітектурного освітлення. Але розвиток цих джерел світла в останнє десятиріччя призвело до різкого розширення можливостей їх використання завдяки виникненню нових видів, а також ламп малої потужності і ламп з поліпшеною передачею кольору.

Проте в стандартних НЛВД є ряд недоліків, з яких в першу чергу, необхідно вказати на явно погіршені кольоропередаючі властивості, які характеризуються низьким рівнем кольоропередачі ($R_a = 25-28$) і невисокою кольоровою температурою ($T_K = 2000-2200\text{ K}$).

Розширені резонансні лінії натрію обумовлюють золотисто-жовтий колір випромінювання. Передача кольору НЛВД вважається задовільною для зовнішнього освітлення, але недостатньою для внутрішнього.

Поліпшення кольорових характеристик НЛВД йде, головним чином за рахунок підвищення тиску пари натрію у внутрішній колбі при збільшенні температури холодної зони або вмісту натрію в амальгамі, збільшення діаметру розрядної трубки, введення випромінюючих добавок, нанесення на зовнішню колбу люмінофорів і інтерференційних покриттів і живлення ламп імпульсним струмом підвищеної частоти. Зниження світлової віддачі компенсується збільшенням тиску ксенону (тобто зменшенням теплопровідності плазми).

Будова лампи ДНаТ показана на рис. 5. Лампа містить тонкостінну трубчасту внутрішню колбу 1 з полікристалічного окису алюмінію - кераміки, яка добре пропускає світлове випромінювання і стійкою до тривалого впливу насичених парів натрію з температурою $1570-1670\text{ K}$, що містяться у внутрішній колбі під час роботи лампи. Крім пари натрію, внутрішня колба заповнена ксеноном і парами ртуті. На торцях внутрішньої колби напаяні металеві ковпачки з вольфрамовими активованими електродами 2. Внутрішня колба поміщена в колбу 3 з термостійкого скла, з якої відсмоктане повітря для теплоізоляції внутрішньої колби.



Рис.5 – Будова лампи ДНаТ

Схема включення лампи ДНаТ наведена на рис. 6.

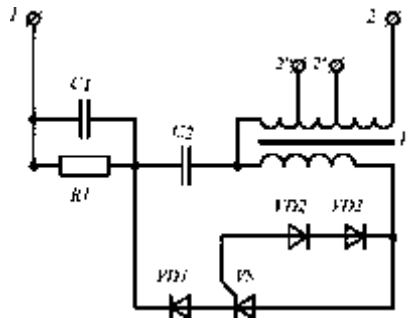


Рис. 6 – Принципова електрична схема пристрою імпульсного запалюючого універсального типу УІЗУ.

При підключенні живлення до УІЗУ заряджається конденсатор C2 через ланцюжок R1, C1 і вторинну обмотку імпульсного трансформатора TV. Коли напруга C2 досягає напруги стабілізації стабілітрона VD2, в колі керуючого електрода тиристора VS з'являється струм, тиристор відкривається і конденсатор C2 розряджається на первинну обмотку імпульсного трансформатора TV через тиристор і діод VD1. У вторинній обмотці pojawiaються імпульси напруги (на півхвилю близько 5 імпульсів) в 1900-6000 В, що забезпечують запалювання лампи. Значення амплітуд імпульсів визначається положенням перемикача 2 (2', 2 "). Амплітуда і тривалість імпульсів залежать також від значень R1, C1. Діод VD1 призначений для захисту тиристора VS по зворотній напрузі.

Тривалість розпалювання лампи ДНаТ складає 10-15 хв., повторне запалювання можливо через 1-2 хв. після згасання лампи.

Випромінювання парів натрію має світлову віддачу $130 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, але до 70% його зосереджено в діапазоні довжин хвиль 560-610 нм. Жовто-помаранчеве випромінювання лампи забезпечує добре розпізнавання положення і форми об'єктів, але перенесення кольорів може бути оцінено лише як ледь задовільне.

Дугові ксенонові лампи. Лампа дає яскраве біле світло, близьке до денного спектру, але має досить невисокий ККД. У всіх сучасних ксенонових лампах використовується колба з кварцового скла з електродами з вольфраму, легованого торієм. Кварцове скло - це єдиний економічно прийнятний оптично прозорий матеріал, який витримує високий тиск (2 МПа у колбі ламп для ІМАХ) і температуру.

Для спеціальних завдань застосовують виготовлення колби лампи з сапфіру, це розширює спектральний діапазон випромінювання в бік короткохвильового ультрафіолету, також призводить до збільшення терміну служби лампи. Легування електродів торієм сильно збільшує емісію ними електронів. Так як коефіцієнт теплового розширення кварцового скла і вольфраму розрізняються, вольфрамові електроди вварені в смуги з чистого молібдену або інвару, які впаяні в колбу. У ксенонових ламп анод при роботі дуже сильно нагрівається потоком електронів, тому лампи великої потужності нерідко мають рідинне охолодження.

Для підвищення ефективності лампи ксенон знаходиться в колбі під високим тиском (до 3 МПа) що накладає особливі вимоги по безпеці. При пошкодженні лампи осколки можуть розлетітися з величезною швидкістю. Зазвичай лампа транспортується в спеціальному пластиковому контейнері, який знімається з лампи тільки після установки

лампи на місце і надівається на лампу при її демонтажі. При роботі лампи колба піддається значним перепадам температури, в результаті чого до кінця терміну служби колба стає більш крихкою.

Розрізняють два основних типи ксенонових ламп: лампи в кульових колбах з короткою дугою, з відстанню між електродами в кілька міліметрів з природним або повітряним охолодженням і лампи в трубчастих колбах з довгою дугою з природним або водяним охолодженням.

На рис. 7 представлено ксенонову лампу, конструкція якої близька до кулястої форми. Лампа з кульовою колбою представляє собою товстостінний балон, який виготовлено із кварцу з упаяними в нього двома електродами, виготовленими з торійованого вольфраму. Струмopовідними контактами служать циліндричні виводи, конструкція яких передбачає як можливість кріплення ламп, так і приєднання живильних проводів. Балон лампи наповнюється ксеноном до тиску 0,8–0,9 МПа, який при роботі лампи зростає до 2–2,5 МПа.

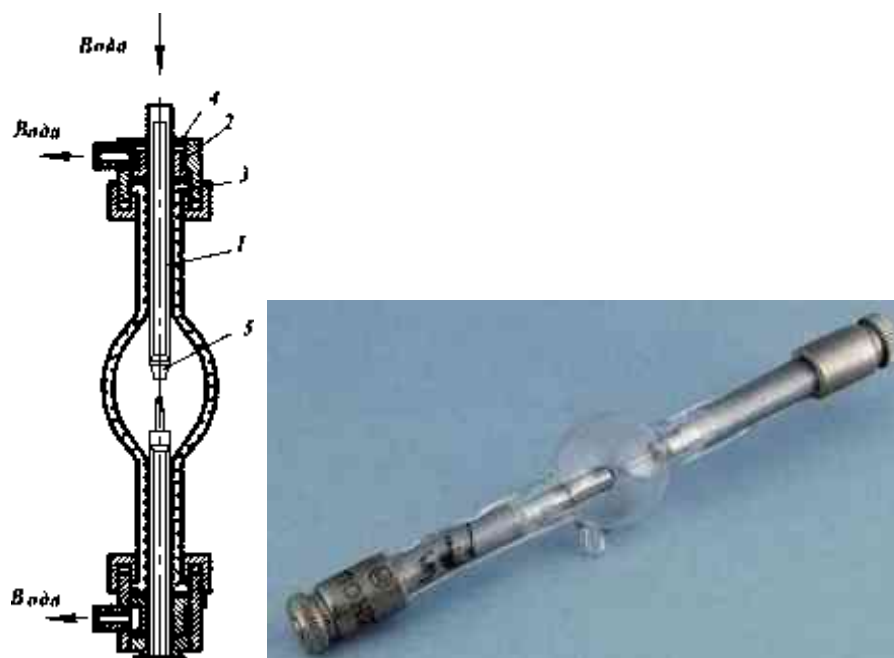


Рис. 7 – Ксенонова лампа типу ДКСР

Лампи можуть працювати на постійному і змінному струмі. Відмінність цих ламп - в конструкції електродів. При постійному струмі лампа має дуже масивний анод, що розташовується вгорі. При змінному струмі обидва електроди мають однакову конструкцію.

Так само є ще один тип ксенонових ламп, так звані розбірні лампи. У звичайної кульової ксеноновій лампі 25-35 % потужності лампи виділяється на електродах, головним чином на аноді. Виділене на електродах тепло нагріває колбу лампи, що обмежує граничну потужність лампи. Якщо відводити виділяєме на електродах тепло, наприклад, за допомогою водяного охолодження, то це зменшує теплове навантаження на колбу і дозволяє створити лампу великої потужності та зменшити розміри колби. Ця проблема вирішується в лампах розбірної конструкції ДКСР (рис. 7).

З торців кварцової лампи вставляються розбірні вводи, які складаються з металевої

трубки (1) діаметром 12-16 мм, які служать струмопроводом, які зсередини охолоджується водою. На кінці трубки запресований анод (5), так само охолоджуваний водою. Для отримання вакуум щільного з'єднання між корпусом вводу, струмопроводів і кварцовою колбою фланець (3), ніжки колби стискаються між корпусом введення (2) і притисною гайкою (4) через ущільнювальні свинцеві прокладки. Через штуцера подається охолоджуюча вода.

Ксенонові короткодугові лампи можуть випускатися в керамічній оболонці з вбудованим рефлектором. Завдяки цьому лампа виходить більш безпечною, оскільки зі скла зроблено тільки невелике вікно, через яке виходить світло. У такій лампі може бути вікно, яке пропускає ультрафіолетове випромінювання, так і непрозоре для нього. Рефлектори можуть бути як параболічними (для отримання паралельного світлового потоку) так і еліптичними (для сфокусованого).

Трубчасті лампи по конструкції відрізняються від короткодугових тим, що електроди рознесені один щодо одного, а колба має форму трубки. Ксенонові лампи з довгою дугою вимагають баласту менших розмірів, а в деяких випадках можуть використовуватися без баласту. Такі лампи нерідко встановлюються в еліптичний рефлектор для моделювання сонячного випромінювання, наприклад при тестуванні сонячних батарей, перевірки матеріалів на світлостійкість.

На рис. 8 представлено трубчасту ксенонову лампу типу ДКсТВ 6000.

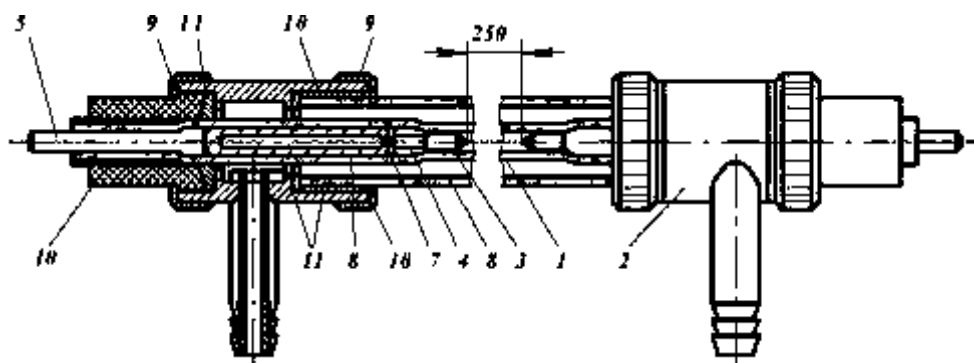


Рис. 8 – Трубчаста ксенонова лампа

Лампа має розрядну трубку 1 з кварцу з двома електродами 3 з торійованого вольфраму. Вводи лампи виконані з молібденової фольги. Розрядна трубка заповнена ксеноном при тиску 0,05 МПа. Розрядна трубка розташована по осі зі скляним циліндром 2, що створює порожнину для циркуляції води. Вода омиває розрядну трубку гвинтоподібно за рахунок зміщення осей патрубків 12 відносно площини, що проходить через вісь лампи. Витрата охолоджуючої води 5 л/хв. при початковій температурі 5° С і температурі на виході 40°С.

Для охолодження використовується дистильована вода в замкнутому циклі (рис. 9).

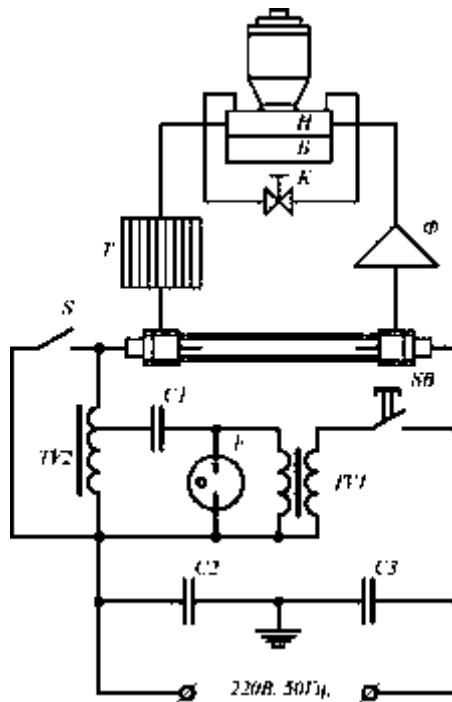


Рис. 9 – Принципова спрощена схема пускового пристрою і система охолодження лампи ДКсТВ 6000

Система охолодження включає в себе наступні елементи: бак Б для охолоджуючої води, насос Н, який забезпечує необхідну витрату води, фільтр Ф, що очищає воду від механічних домішок, перепускний кран К для регулювання тиску води в системі, теплообмінник Т для охолодження води, що виходить з лампи. Для охолодження можна застосовувати і водопровідну воду, але це призводить до швидкого забруднення поверхні трубок і знижує ефективну віддачу лампи. Потрібні у цьому випадку часті очищення з розбиранням і зборкою водо підвідних вузлів ведуть до передчасного виходу лампи з ладу через поломки її скляних деталей.

Крім ламп з водяним охолодженням, вітчизняна промисловість випускає ксенонові лампи ДКсТ з природним повітряним охолодженням. Лампи відрізняються простотою конструкції і зручністю експлуатації.

Переваги дугових ксенонових ламп заключаються в наступному:

- вони володіють найбільшими з усіх джерел світла одиничною потужністю і світловим потоком;
- характеризуються сприятливим спектральним складом видимої частини випромінювання.

Ці якості дозволяють використовувати їх в освітлювальних установках для великих просторів і в опромінювальних установках для вирощування рослин за умови корекції спектральної щільності випромінювання в УФ та ІЧ частинах спектру.

Однак ксеноновим лампам властиві і серйозні недоліки:

- світловий потік ламп пульсує з подвійною частотою мережі, що викликає яскраво виражений стробоскопічний ефект;
- світлова віддача ламп становить лише $20-45 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, в залежності від одиничної потужності і виду охолодження;
- термін служби ламп дуже обмежений, хоча при стабілізації напруги

живлення ламп середній термін служби може досягати декількох тисяч годин;

- ксенонові лампи для запалювання вимагають досить складного і дорогого запалюючого пристрою, крім того, комутація високовольтної імпульсної напруги, яка необхідна при використанні одного запалюючого пристрою на кілька ламп, представляє значні труднощі.

7.2 Газорозрядні джерела ультрафіолетового випромінювання

У сільськогосподарському виробництві для безпосереднього електро технологічного впливу оптичним випромінюванням на живі організми і рослини широкого поширення набули спеціальні газорозрядні джерела випромінювання в областях ультрафіолетової частини спектру (200-380 нм) і фотосинтетичної активної радіації (400-700 нм).

За розподілом потоку оптичного випромінювання між різними областями ультрафіолетового спектру розрізняють джерела загального ультрафіолетового випромінювання (200-380 нм), переважно бактерицидної (200-280 нм) і вітальної (280-315 нм) дій.

Джерелами загального ультрафіолетового випромінювання, тобто випромінювання усіх ділянок ультрафіолетового діапазонів оптичної області спектра, є дугові ртутні лампи трубчасті високого тиску типу ДРТ (рис. 10).



Рис. 10 – Конструкція лампи ДРТ: 1 – ввід; 2 – металеві хомутики; 3 – трубка із кварцового скла; 4 – тримачі; 5 – електроди;

До мережі живлення лампу приєднують через пускорегулювальний апарат за допомогою виступаючих назовні кінців молібденових ввідів. В якості ПРА використовуються баластні пристрої, аналогічні баластним пристроям ламп типу ДРЛ відповідної потужності і номінальної напруги мережі.

Схема включення ламп ДРТ в мережу (рис. 11) містить баластний дросель LL, який розмикає ключ SB і два конденсатора. Якщо подати на схему напругу і замкнути ключ SB, то в електричному ланцюзі SB, LL, C1 з'явиться струм, значення якого обмежується опором дроселя і конденсатора.

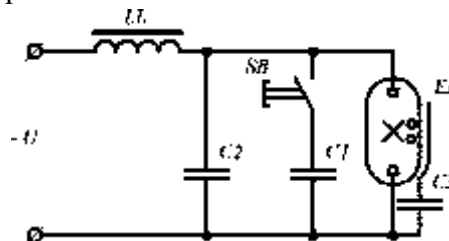


Рис. 11. Схема включення її в мережу: LL – дросель; SB – замикаючий ключ; EL

– лампа ДРТ; С1, С2 і С3 – конденсатори.

Різкий розрив ланцюга ключем *SB* індукує в дроселі ЕРС самоіндукції, яка прикладається до лампи і пробиває газовий проміжок. Металева смужка полегшує пробій лампи. Конденсатор С2 призначений для підвищення коефіцієнта потужності ланцюга. Час розпалювання лампи – 3-10 *хв.*

Лампи типу ДРТ виготовляють потужністю 100, 120, 125, 230, 250, 400, 1000, 2500, 2800, 4000, 5000 і 6000 *Вт.* У сільськогосподарському виробництві в якості джерел ультрафіолетового випромінювання в основному застосовують лампи ДРТ потужністю 100, 230, 400 та 1000 *Вт.* Середня тривалість горіння ламп ДРТ230 і ДРТ1000 становить 2000 *год*, ДРТ400 - 2700. В кінці терміну служби ультрафіолетового випромінювання ламп становить не менше 60 % номінальних значень.

Різновидом ламп ДРТ є лампи типу ДРП потужністю 120, 250 і 400 *Вт*, типу ДРТ2 потужністю 100 *Вт* і ДРП2 потужністю 250 і 400 *Вт*. Ці лампи відрізняються від базової моделі тим, що на їх кварцову розрядну трубку нанесена тонка кварцова плівка з легуючими добавками, яка дозволяє відфільтрувати короткохвильове ультрафіолетове випромінювання лампи. Завдяки додатковій плівці випромінювання з довжиною хвилі 200-280 *нм* не перевищує 5% від загального потоку випромінювання ламп. Зазначені лампи, а також лампи типу ДРТ потужністю 100, 120 і 250 *Вт* мають чотириелектродні виконання, що забезпечує підключення лампи до мережі без яких-небудь запалюючих пристроїв і пристосувань.

7.3 Світлодіодні лампи, їх основні характеристики

Світлодіодні або, як їх ще називають, LED-лампи в порівнянні з традиційними світильниками споживають в рази менше електроенергії. Їх світловіддача – до 150 *лм/Вт* енергоспоживання, наприклад, споживаючи всього 9 *Вт*, LED-лампа світить як 75-ватна лампа розжарювання! Причому термін служби таких світильників складає 50000 - 100000 *год*. Тобто за умов 10-годинної роботи на добу, це 12,5 – 25 років експлуатації

На відміну від поширених у нас газорозрядних люмінесцентних ламп світлодіодні світильники абсолютно безпечні. Вони мають, постійний світловий потік. Це відбувається тому, що світлодіодні лампи працюють від постійного струму і тому випромінюють «рівне» світло. У спектрі випромінювання світлодіодів відсутні значні інфрачервоні і ультрафіолетові випромінювання. Світлодіодні лампи можуть працювати при зміні напруги від 80 до 230 *В*. Звичайно, інтенсивність світіння змінитися, але лампа горіти буде. Вся лампа виконана з пластика, який не розбивається при падінні, на відміну від інших видів ламп. Світлодіоди не мають у своєму складі тендітних колб, які можна розбити і ниток розжарювання, які можна струсити.

До недоліків світлодіодних ламп можна віднести - це ціна, виділення тепла. І ще одним недоліком світлодіодних ламп можна назвати наявність драйвера. Чим більше в приладі буде використовуватися різних елементів, тим більша ймовірність виходу з ладу будь-якого електронного компонента, і виходу з ладу лампи в цілому. Але, тут все залежить від якості елементної бази і якості збірки.



Рис. 12 – Світлодіодної лампи типу ЕКФ.

До складу лампи входять наступні компоненти: розсіювач; плата з світлодіодами (кластер); радіатор, який призначений для охолодження світлодіодів і величина якого залежить від потужності лампи; джерело живлення світлодіодів (драйвер); цоколь.

В лампі застосовано стандартний цоколь Е27, який закріплюється до лампи за допомогою точкових заглиблень по всій окружності цоколя.

Корпус лампи виконано з алюмінію і теплорозсіючого пластика, який забезпечує гарний відвід тепла. Максимальна температура нагрівання лампи складає 650 С.

Драйвер закріплюється до корпусу лампи за допомогою спеціальної силіконової пасти. Драйвер це джерело живлення світлодіодної плати, який перетворює змінну напругу мережі 220 В в джерело постійного струму. На драйвері встановлена мікросхема типу ВР2832А. Драйвер виконано на основі імпульсного перетворювача виходи якого припадають до плати світлодіодів. Робочий режим драйвера знаходиться в межах від 85 до 265 В. В ньому застосовано електролітичні конденсатори, які призначені для роботи схеми при високих температурах - +1050 С. Розсіювач виконаний із пластика, який призначений для рівномірного розсіювання світлового потоку лампи.

На світлодіодній платі розміщено 28 світлодіодів типу СМД. Світлодіоди з'єднуються в дві паралельні стрічки по 14 шт, які між собою з'єднані послідовно.

Розглянемо призначення окремих елементів світлодіодної лампи. Світлодіод являє собою напівпровідниковий прилад, що перетворює струм, який протікає через нього, в світлове випромінювання.

На жаль, потужний світлодіод, саме такі використовуються в світлодіодних лампах володіє одним недоліком. Його основа - р-п перехід, не досконала, тобто частина енергії електронів витрачається не тільки на витяг фотонів з цієї спайки, але і на тепло. Фактично це втрати. З метою охолодження світлодіодів, встановлюється радіатор. Драйвер являє собою електронну схему, що служить для перетворення вхідної напруги до напруги, придатної для використання світлодіодними лампами.

Крім того драйвер задає певну частоту для живлячої напруги і струму світлодіода. Ця частота живлення важлива по перше, для того щоб задати певну яскравість світіння, тому яскравість світіння для світлодіода задається саме не зміною напруги, а певною

частотою живлення. По друге це обмеження частоти через драйвер дозволять потужному світлодіоду довше «деградувати» (втрачати вихідний світловий потік), тобто світлодіод пропрацює довше. Один із варіантів стандартної схема драйвера світлодіодної лампи показаний на рис. 13.

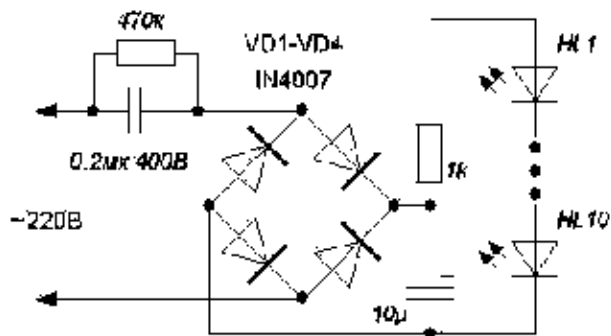


Рис. 13 – Схема електрична принципова драйвера

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 вітчизняного виробництва 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.

Переваги світлодіодних ламп:

Склавши всі вище названі характеристики світлодіодних ламп і додавши ще кілька особливостей, отримуємо наступний список достоїнств:

Максимальна економія електроенергії. З усіх доступних на сьогоднішній день видів лампочок LED лампи енергоефективні. У середньому, лампа зі світловим потоком в 800 лм (приблизно як у 75-ватної лампи розжарювання), споживає всього 10 Вт.

Супер довгий ресурс роботи. Розрахунковий термін світіння — від 30 до 50 тисяч годин, ресурс включень і виключень — в середньому від 15 до 25 тисяч циклів. Слід відзначити, що реальне відповідність цих параметрів сильно залежить від типу використовуваних світлодіодів і якості виготовлення самої LED лампи. Тому краще купувати світлодіодні лампи відомих і перевірених виробників.

Миттєве включення. Світлодіодні лампи спалахують відразу після включення. У них немає типового для енергозберігаючих ламп період «розгортання».

Комфорт для очей. LED лампи дають рівномірний, оптимальний для зору, м'який потік світла без мерехтінь. Це дуже важливо не тільки в освітленні робочого місця, але і для світу в зоні відпочинку, а також у повсякденному домашньому освітленні.

Безпека. Світлодіодні лампи не мають в своїй конструкції ртуті і інших небезпечних для людини елементів. Колба розсіювача в більшості випадків не

виготовляється зі скла, а з пластмаси. Світло LED лампи не несе в своєму складі шкідливих УФ-випромінювань. Відсутня і теплове випромінювання.

Відсутність інфрачервоного випромінювання. Є важливим моментом при освітленні приміщень із встановленими камерами і інфрачервоними датчиками охоронних систем. З-за того, що світлодіодні лампи не дають інфрачервоного випромінювання, вони не створюють перешкод у роботі подібного обладнання.

Таблиця №1

«Порівняння потужності світлодіодних ламп з лампами накаливання і люмінесцентними лампами»

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

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. Найбезпечніший спектр випромінювання для організму людини.

ТЕМА №8. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ СВІТЛОТЕХНІЧНОГО РОЗРАХУНКУ

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

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.

8.1 Основні вимоги до електричного освітлення сільськогосподарських приміщень

Умови штучного освітлення в сільськогосподарських приміщеннях мають вплив на зорову роботу, фізичний і моральний стан людей, а отже, на продуктивність праці, якість продукції і виробничий травматизм. Чим точніше і напруженіше виконується зорова робота, тим більше цей вплив. Численними дослідженнями встановлено залежності функцій зору від умов штучного освітлення. Ними керуються при нормуванні кількісних і якісних характеристик сільськогосподарських освітлювальних установок і при виробленні рекомендацій щодо вибору джерел світла, систем і способів штучного освітлення.

Збільшення освітленості у виробничих приміщеннях і в місцях проведення зовнішніх робіт позитивно впливає на такі функції зору, як гострота, стійкість ясного бачення, швидкість розрізнення, контрастна чутливість. При підвищенні контрасту між об'єктом розрізнення і фоном, на якому об'єкт розглядається, зорова працездатність збільшується. Вона також залежить від співвідношення яскравості робочої зони і

навколишнього фону, що потрапляє в поле зору працюючого: зі збільшенням цього співвідношення працездатність знижується. Більш сприятливе відношення яскравості має місце при системі загального освітлення, менш сприятливий - при комбінованому освітленні. В останньому випадку умови зорової роботи поліпшуються при підвищенні яскравості фону, що досягається підвищенням коефіцієнтів відображення поверхонь приміщень (стін, стелі, підлоги) та виробничого обладнання. Однак занадто світлі поверхні стін, підлоги і устаткування можуть справити негативний вплив.

Багато виробничих операцій вимагають певного напрямку світла, при якому на робочій поверхні створюються найбільш сприятливі умови зорової роботи. Наприклад, краще виявляються деталі, зникають або з'являються тіні, усувається попадання в поле зору дзеркальне відображення джерел світла і т.п.

Зазначені умови досягаються застосуванням систем загального або комбінованого освітлення, вибором найбільш доцільної на даних умов освітлювальних приладів загального та місцевого освітлення та їх розміщення щодо робочих місць. Часто оптимальні рішення освітлювальних установок знаходяться експериментальним шляхом.

Погіршення функцій зору викликає пряма блескість, тобто надмірна яскравість джерел світла та ОП, і відбита блескість - дзеркальне відображення світлового потоку від робочої поверхні в напрямленні очей працюючих. Властивість великих яркостей створювати сліпучість називається блескостю. Негативна дія блескості на зір тим більше, чим точніше, більш напружена і триваліша зорова робота. При наявності блескості знижується продуктивність праці, підвищується зорова і загальна втома.

Обмеження прямої блескості досягається вибором ОП з оптимальними для даних умов світлотехнічними характеристиками і правильним їх розміщенням. Важче усувати відображену блескість.

Негативний вплив на зір надають пульсації освітленості при живленні ОП від джерел промислової частоти (50 Гц), які викликають стомлення зору. При освітленні предметів, які швидко рухаються або обертаються може з'явитися явище стробоскопічного ефекту, що підвищує небезпеку травматизму. В освітлювальних установках повинні вживатися заходи щодо зниження пульсації до рівня, встановленого нормами.

Заходи щодо поліпшення освітлення в сільськогосподарських приміщеннях вимагають додаткових, іноді значних витрат, які швидко окупаються за рахунок підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції та зниження травматизму.

Щоб електричне освітлення сприяло успішному виконанню робіт, які проводяться в приміщеннях, воно повинно відповідати багатьом вимогам, найбільш важливими з яких є:

- робочий персонал повинен добре бачити місце своєї роботи. Для цього на робочому місці і в усьому приміщенні повинно бути досить світло або, як це прийнято називати, повинна бути створена необхідна для даних умов роботи величина освітленості на робочому місці і в приміщенні. Для різних робіт і приміщень спеціальними нормами встановлені мінімальні значення освітленості;

- світильники, які освітлюють приміщення і робочі місця, не повинні надавати на очі робочого персоналу сліпучої дії, що може мати місце при неправильному виборі типів світильників, недостатньої висоти їх підвісу або невдалому розміщенні світильників у приміщенні;

- вирішальне значення для багатьох виробництв має правильний вибір типів джерел світла, це відноситься до пташників, корівників, свинарників та ін. приміщень;
- для багатьох робіт не байдуже, як спрямоване світло на робочому місці. Так, одні роботи вимагають м'якого, розсіяного світла, інші – різко направленою освітлення, іноді під цілком визначеним кутом. Отримання необхідного напрямку світла досягається застосуванням світильників різних типів і правильним їх розташуванням в приміщенні;
- світильники в виробничих, приміщеннях повинні бути розташовані так, щоб вони створювали досить рівномірну освітленість по всьому приміщенню (або частини приміщення, для якої нормується одна і та ж величина освітленості). Значна нерівномірність освітлення призводить до висвічування деяких ділянок приміщення з більшою освітленістю ніж потрібно, що порушує спокійний характер освітлення і викликає перевитрату енергії;
- протягом всього часу роботи освітлення величина освітленості не повинна часто і різко мінятися. Цілком неприпустимі коливання освітленості від поштовхів напруги в освітлювальній мережі, викликаних, наприклад, пуском потужних електродвигунів або роботою електрозварювальних апаратів; такі коливання напруги дуже несприятливо позначаються на зорі працюючих, викликаючи втому зору і зниження продуктивності праці;
- типи світильників, які встановлюються в приміщеннях, повинні відповідати не тільки світлотехнічним вимогам, зазначеним раніше, але також відповідати умовам середовища в приміщенні. Тут необхідно враховувати такі фактори, як наявність у приміщенні підвищеної вологості, пилу, диму, кіптяви, пожежо-і вибухонебезпечних речовин і газів, виділення у вигляді газів, парів і пилу речовин, які призводять до руйнування світильників;
- нарешті, необхідно створювати умови зручного обслуговування електричного освітлення і, зокрема, подбати про вільний доступ до світильників для заміни перегорівших ламп і очистки відбивачів і скла 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.

8.2 Види і системи освітлення

Вид освітлення – це класифікація систем освітлення за своїм функціональним призначенням у виробничому процесі по забезпеченню безперебійної дії цієї системи.

Система освітлення – сукупність джерел оптичного випромінювання об'єднаних по певній схемі розташування.

Як системи освітлення так і їх види призначені для забезпечення необхідних умов видимості у зоні робочих місць або оточуючого простору виробничого об'єкту.

В практиці освітлення виробничих об'єктів використовуються системи *загального, місцевого та комбінованого* освітлення. У свою чергу система загального освітлення розрізняється за способами розташування джерел випромінювання: *рівномірне та локалізоване*. При рівномірному освітленні відстань між джерелами випромінювання у ряду і між рядами при розташуванні дотримується незмінною. При *локалізованому* розташуванні положення кожного джерела випромінювання визначається міркуванням вибору найвигіднішого напрямку світлового потоку і усунення затінок на освітлювальному робочому місці та цілком залежить від розташування технологічного обладнання.

Місцеве освітлення служить для забезпечення необхідного рівня видимості тільки у границях робочої поверхні. Світильники місцевого освітлення можуть бути або *стаціонарними, або переносними*.

Комбіноване освітлення – це сукупність загального і місцевого.

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 загального рівня 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 нічній 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, сушільних 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 50 людей;

- 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.

8.3 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 *теплого* 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 т.п.

8.4 Вибір нормованої освітленості

Вибір нормованої освітленості виконується за нормами ДНБ В.2.5.- 28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» в залежності від характеристики зорових робіт, виду і системи освітлення, розміру об'єктів, контрасту цього об'єкту з фоном і характеристики фону, а також від виду ламп.

При освітленнях всередині приміщення $E_n \geq 50 \text{ лк}$ рекомендуються люмінесцентні лампи. При низьких рівнях освітленості ($E_n < 50 \text{ лк}$) використання цих ламп недопустимо.

При цьому необхідно пам'ятати, що в приміщеннях для утримання тварин освітленість проходів для прибирання гною повинна складати 25 % від нормованої для даного приміщення, але не менше 10 лк.

Нормована освітленість при проектуванні штучного освітлення споруд і будівель для зберігання сільськогосподарської продукції, тваринницьких і птахівничих приміщень визначають за нормативними документами.

8.5 Вибір коефіцієнту запасу

Коефіцієнт запасу дорівнює відношенню світлового потоку нового світильника з новою лампою до світлового потоку того ж світильника в кінці терміну служби лампи при умові регулярної чистки світильників.

Значення коефіцієнта запасу залежить від типу світильника, умов навколишнього середовища, кількості чисток світильників на рік. Дані по вибору коефіцієнта запасу наведено у таблицях 1 та 2. У більшості випадків, для сільськогосподарських приміщень, галузевими нормами рекомендуються коефіцієнти запасу: для ламп розжарювання – 1,15; для люмінесцентних – 1,3.

Таблиця №1

«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 № 2

«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 з переробкою (зона роботи)	1,3	1,15
	1,3	1,15
Пташники: напільного утримання одноярусні багатоярусні	1,5	1,3
	1,5	1,3
	1,5	1,3

8.6 Розміщення світильників у приміщенні

Задача освітлення поверхні за звичай має декілька рішень, які відрізняються розташуванням світильників та потужністю використаних джерел світла. При проектуванні із сукупності можливих рішень обирають найвигідніше за наступними умовами:

- забезпечення нормованої освітленості на робочому місці;
- забезпечення необхідної якості освітлення;
- забезпечення мінімальної встановленої потужності.

Як вказувалося вище, існує два способи розміщення світильників **загального** освітлення: *рівномірне* і *локалізоване*.

При **локалізованому** розміщенні питання вибору місця розташування світильників повинно вирішуватися у кожному конкретному випадку індивідуально на підставі досконалого знайомства з характером виробничого процесу і конструктивними особливостями технологічного обладнання об'єкту.

При **рівномірному** розташуванні світильників необхідно користуватися рядом загальних положень, які повинні являтися відправними при вирішенні даного питання і, перш за все, виконання вище названих умов.

Виконання цих умов забезпечується вибором відносної найвигіднішої світлотехнічної та економічної відстані між світильниками в ряду та між рядами

світильників. Ця відстань визначається з урахуванням двох відповідних коефіцієнтів: λ_c та λ_e (відповідно світлотехнічної та економічної найвигіднішої відстані між світильниками), значення яких залежить від типу кривої сили світла світльника (табл. 3).

Таблиця №3

«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. 1). На рис. 1 показані варіанти розміщення світильників.

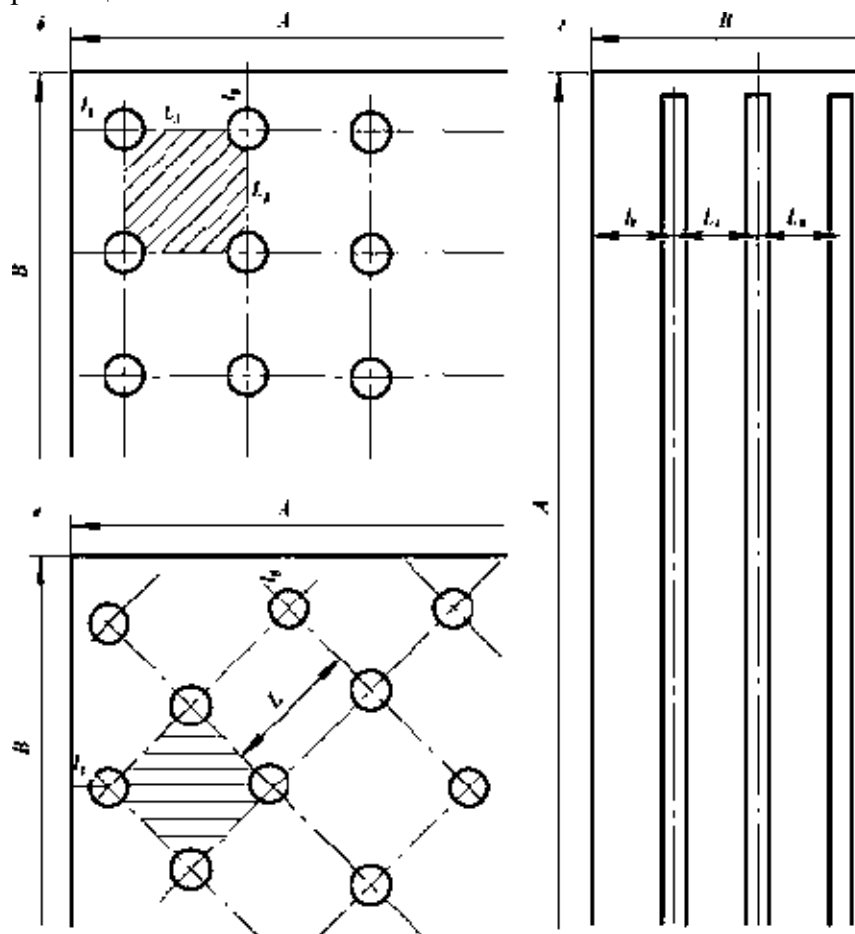


Рис. 1 - Варіанти розміщення світильників: б) по кутах прямокутника; в) по вершинам ромба; г) в лінію (для світильників з ЛЛ)

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.

Світлотехнічна найвигідніша відносна відстань λ_c забезпечує таке розміщення світильників, при якому розподіл освітленості на робочій поверхні найбільш рівномірний. Збільшення λ_c понад рекомендовану погіршує рівномірність освітлення робочих поверхонь, але зменшує встановлену потужність джерел світла. При $\lambda_c = \lambda_e$ потужність джерел світла освітлювальної установки мінімальна. Збільшення відносної відстані між світильниками понад λ_e погіршує якість освітлення і підвищує потужність джерел світла.

Розрахункову висоту встановлення H_p світильників визначають 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. 1) відстань від стіни до найближчого ряду світильників l_B або до найближчого світильника в ряду l_A приймають в межах (0,3 ... 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 A і ширині B 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 $l_{A,B}=0,5 L_{A,B}$.

Слід зазначити, що при проектуванні освітлювальних установок зі світильниками з люмінесцентними лампами спочатку намічають тільки число рядів N_B , а число світильників в ряду N_A і в приміщенні N_{Σ} визначають світлотехнічним розрахунком. При цьому світлотехнічну найвигіднішу відносну відстань λ_c визначається за поперечною кривою сили світла світильників.

При локалізованому розміщенні світильники встановлюють з урахуванням найбільш оптимального освітлення робочих місць, запобігання їх затінення громіздкими предметами і забезпечення необхідних рівнів у технологічних проходах. При цьому освітленість проходів в приміщеннях з роботами I-V розрядів повинна складати не менше 25 % створюваної світильниками загального освітлення на робочих місцях, але не менше 75 лк при газорозрядних лампах і не менше 30 лк при лампах розжарювання.

При вирішенні питання розміщення світильників при *рівномірному* освітленні необхідно враховувати наступне:

- при будь-якому методі розрахунку освітлення, розрахунок розміщення світильників є обов'язковим;
- при рівномірному освітленні найбільш корисним є розташування світильників по вершинам квадрату або ромбу;
- при розташуванні світильників по вершинам прямокутника відношення більшої сторони до меншої не повинно перевищувати **1,5**;
- при відстані між сусідніми рядами світильників меншою, ніж відстань між світильниками в ряду, можливо застосування розташування світильників у шаховому порядку;
- при наявності біля стін робочої поверхні відстань від краю рядів до стін приймають рівною **(0,25–0,30) L**, а в інших випадках - **(0,3–0,5)L**;
- при розташуванні у приміщенні світильників відбитого або розсіяного світлорозподілу (для уникнення яскравих плям) відстань від світильника до стелі повинно бути не менш ніж **0,2 L**;
- світильники з люмінесцентними лампами у виробничих приміщеннях доцільно розташовувати рядами паралельно більшій стороні приміщення або стіни з вікнами;
- відстань між торцями світильників з люмінесцентними лампами, для забезпечення рівномірності освітлення, вздовж ряду не повинна перевищувати **0,5 Нр**;
- у зовнішніх установках для освітлення проходів та проїздів, якщо ширина їх не перевищує **(4–8) м**, застосовують за звичай однорядне розташування світильників по одній із сторін;
- оптимальною висотою установки світильників при освітленні територій підприємств є **6,5 м**;
- при освітленні головних проходів і проїздів вулиць з інтенсивним рухом відстань між світильниками рекомендується витримувати **21–27 м**, зсереднім рухом – **(28–35) м**;
- при освітленні другорядних проїздів відстань між світильниками слід вибирати у межах **30–40 м**;
- при розміщенні світильників необхідно враховувати умови для їх обслуговування.

При розміщенні світильників *місцевого* освітлення не можна керуватися загальними правилами, а слід вирішувати задачу кожний раз індивідуально на підставі детального вивчення особливостей освітлюваного робочого місця, виконання дослідних установок і вимірювання видимості в виробничих умовах. Але необхідно враховувати наступне:

- вибір розташування світильників повинно визначатися у першу чергу бажаним напрямком світлового потоку на робочу поверхню;
- так як світильник розміщується у безпосередній близькості від робочої поверхні

і, отже, знаходиться у робочій зоні, його слід розміщати так, щоб він не заважав робітнику;

- при виборі місця встановлення світильника слід уникати кріплення його на деталях або вузлах механізмів, які підвладні вібрації;
- не припустимо розміщення світильників на щитках або відкидних кришках технологічних машин.

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 №9. ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДИВ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою розрахунку освітлення.

План лекції

1. Метод питомої потужності.
2. Точковий метод лінійних ізольокс.
3. Точковий метод просторових ізольокс.

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 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 м^2 освітлювальної поверхні. При наявності даних про: тип світильника, нормовану освітленість E_H , значення розрахункової висоти H_p , коефіцієнт запасу k_z , коефіцієнти відбиття поверхонь ($\rho_c, \rho_p, \rho_{ст}$) та площі приміщення S , по вище згаданим таблицям, визначають необхідну питому потужність джерела світла $P_{пит}$, яка буде забезпечувати необхідні умови освітлення. Після вирішення питання з розташуванням світильників та їх кількістю N , визначають потужність джерела світла P_d по формулі:

$$P_d = \frac{P_{пит} S}{N}$$

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_z .
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 рядусвітильників 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 $P_{\text{пит.}}$.

16. Визначаємо розрахункову електричну потужність всієї освітлювальної установки $P_{\text{вст.}}$.

$$P_{\text{вст.}} = P_{\text{пит.}} \cdot S$$

17. Визначаємо потужність однієї лампи P_L :

$$P_L = \frac{P_{\text{вст.}}}{N_\Sigma}$$

18. Вибрати тип лампи близькою запотужністю.

19. Розрахувати відхилення ΔP потужності вибраної стандартної лампи з розрахунковою потужністю лампи.

$$\Delta P = \frac{(P_{\text{ст.}} - P_L) \cdot 100}{P_L}$$

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 світильника та здійснити розрахунки 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 №1.

Таблиця №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

9.2 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 **1p** повинна бути *менше половини* розрахункової висоти **H_p**, тобто: **$1p < 0,5 H_p$** (рис. 1).

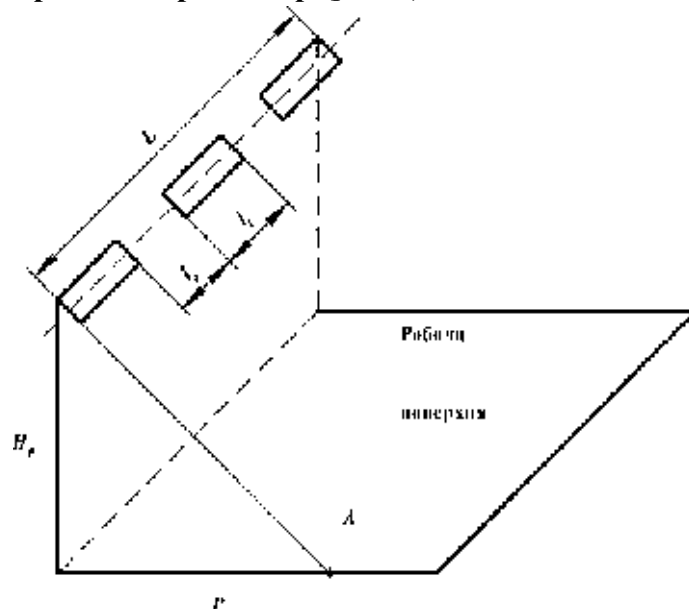
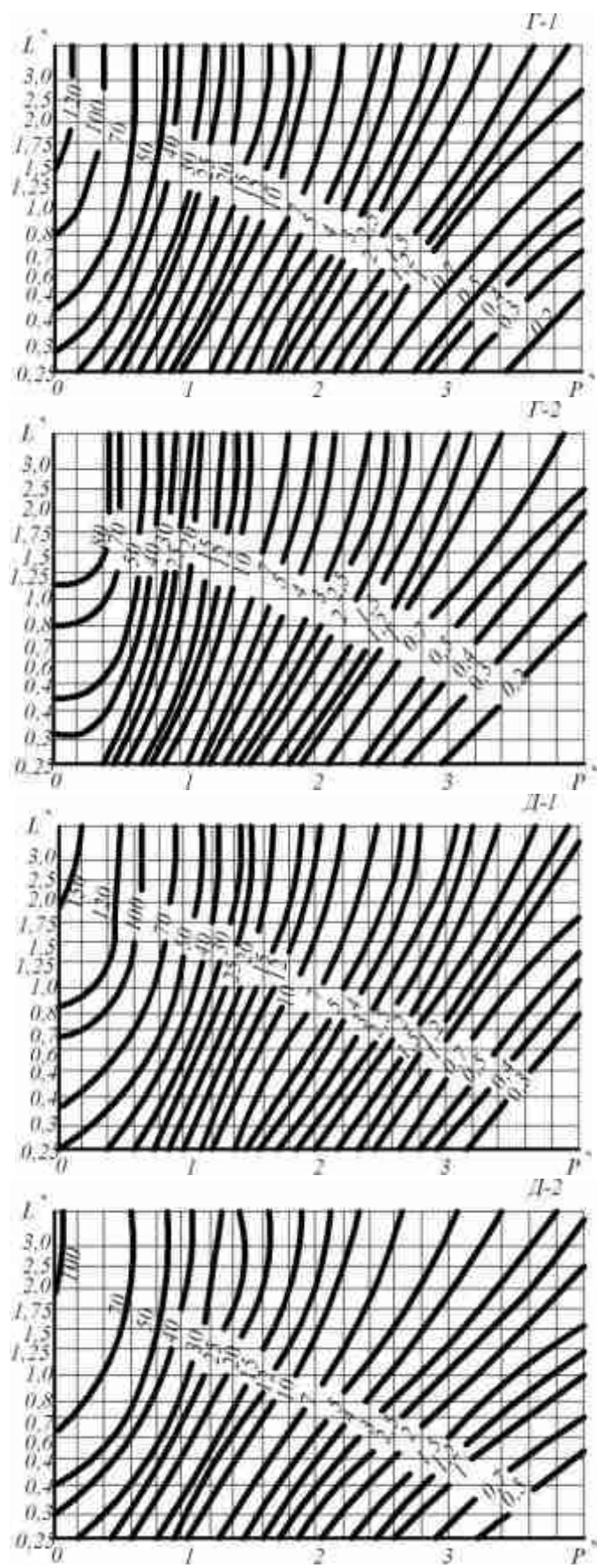


Рис. 1 – До розрахунку освітленості, яка створюється у точці світловою лінією

Розрахунок освітленості проводять за допомогою графіків лінійних ізолюкс, які представлені на рис. 2.



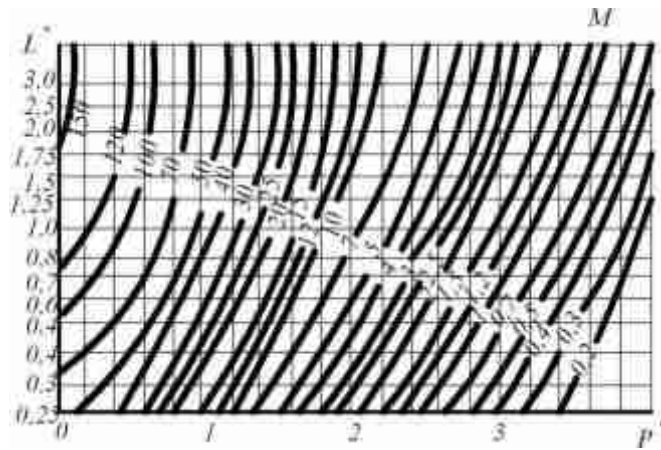


Рис. 2 – Криві рівної освітленості для світлових ліній з найбільш розповсюдженими світильниками з люмінесцентними лампами і різними повздовжніми деталізованими кривими сили світла Г-1, Г-2, Д1, Д-2, М

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:

$$\Phi_{роз} = \frac{1000 \cdot E_n \cdot k_z \cdot H_p}{\mu \cdot \Sigma e}$$

де $\Phi_{роз}$ – щільність світлового потоку, лм/м; E_n – нормована освітленість, лк; k_z – коефіцієнт запасу; H_p – розрахункова висота; μ – коефіцієнт, який враховує дію віддалених світильників і відбитий світловий потік ($\mu = 1,1 - 1,3$); Σe – сумарна умовна відносна освітленість в розрахунковій точці, яка визначається за графіками лінійних ізолюкс (див. рис. 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 $1p$, але при цьому повинна виконуватися умова 2 ($1p < 0,5Hp$);
- 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 k_z .
7. Визначити коефіцієнт нерівномірності Z .
8. Визначити значення висот: підвісу h_n ; робочої поверхні $h_{p.л.}$; 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 міжрядами світильників:

$$L_B = (\lambda_c - \lambda_e) H_p$$

11. Визначити значення відстані рядусвітильників 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 взаємності від L^* , p^* : Дивись рисунок 1.

18. При освітленні точки A декількома рядами або їх частинами відносна освітленість визначають від кожного ряду окремо і складають Σe .

$$\Sigma e = e^* N_B$$

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 міжсвітильниками $1p$ в ряду.

$$N_{розр.} = \frac{\Phi_{ряду.}}{\Phi_{св.}}$$

25. Перевірити умову неприривності ряду.

$$1p < 0,5N_p$$

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 $N_p.$

$$N_p = \frac{P_{вст.}}{P_{св.} \cdot N_B}$$

31. Приймаємо нову кількість світильників і визначаємо фактичні розриви між світильниками $1p$ факт.

$$1p_{факт.} = \frac{A - l_{св.} \cdot N_{розр.}}{N_{розр.}}$$

32. При виконанні умови п.25 визначаємо встановлену потужність ламп $P_{вст.}$

$$P_{вст.} = P_{л.} \cdot N$$

33. Визначити питому потужність всієї установки $P_{пит.}$

$$P_{пит.} = \frac{P_{вст.}}{S}$$

9.3 Точковий метод просторових ізолюкс

Метод дозволяє визначити світловий потік джерел, необхідний для створення певної освітленості влюбій 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 e 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. 3).

Основна розрахункова формула методу:

$$\Phi = \frac{1000 E_n k_z}{\mu \Sigma e}$$

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 .

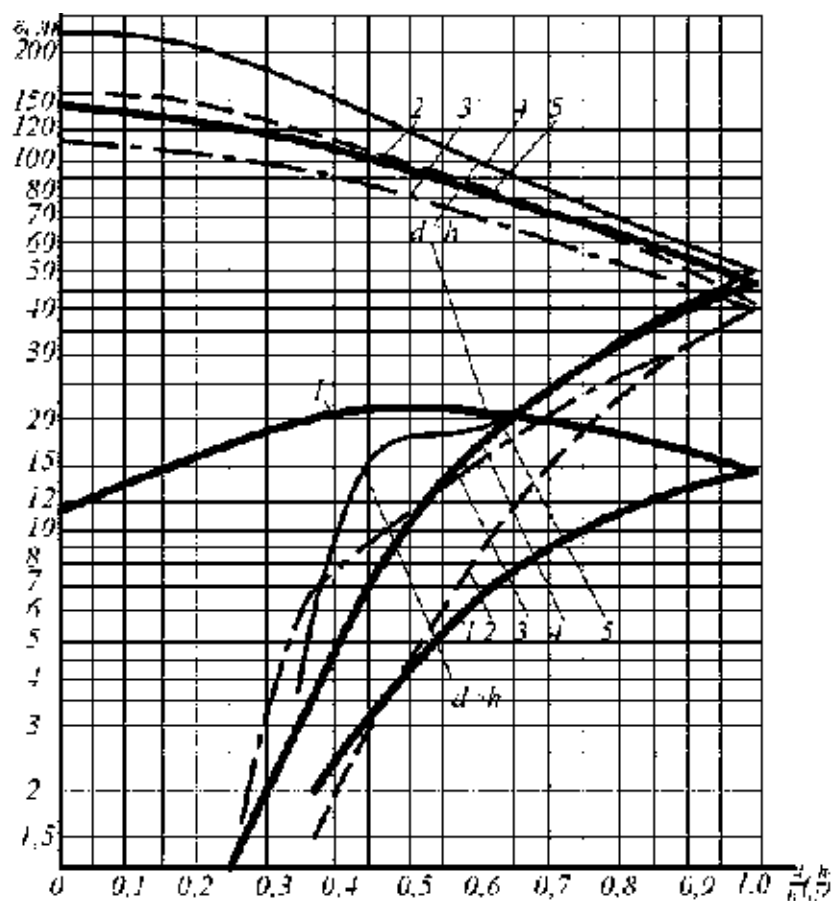


Рис. 3 – Графіки просторових ізолюкс для світильників: 1 – СВ і СВР; 2 – СПОР; 3 – СПО-2-200; 4 – СПП-200М; 5 – СПО-200

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. 4).

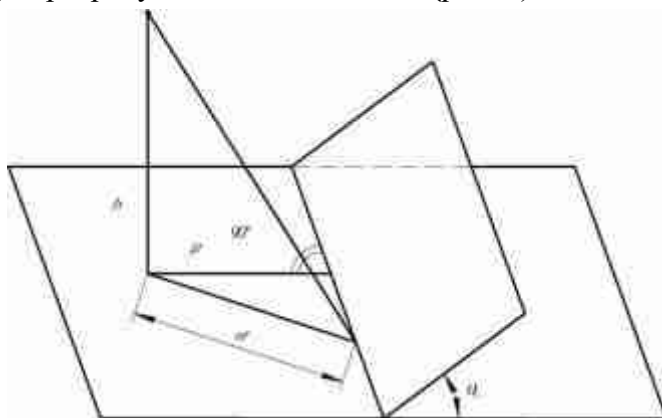


Рис. 4 – До розрахунку освітленості похилої поверхні

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 $h_{p.l.}$; розрахункової H_p .
9. Визначити відстань в плані від розрахункової точки до проекції світильника d .
10. Визначитись з умовою виборусумарної відносної освітленості.

$$\frac{h_{nld}}{d} \leq 1 \text{ або } \frac{d}{h_{nld}} \leq 1$$

11. По графікам просторових ізолюкс визначити e_i . Дивись рисунок 3 $e_i = \sum e_i$.
12. Визначаємо необхідний світловий потік лампи $\Phi_{л.}$.

$$\Phi_{л.вр} = \frac{1000 \cdot E_n \cdot k_z \cdot h^2_{nld}}{\sum e_i}$$

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 №10. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СІЛЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з методикою розрахунку та вибору опромінювальних установок.

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.

10.1. Установки для опромінення рослин в умовах захищеного ґрунту

Теплиця є складним інженерним спорудженням, яка дозволяє підтримувати кліматичні умови, необхідні для вирощування тієї чи іншої рослинної культури протягом холодних місяців року. Для цього всередині теплиці необхідно підтримувати не тільки необхідну температуру, але також і інші параметри, що впливають на зростання рослин і їх врожайність.

Одним з таких важливих параметрів є кількість світла, одержуваного рослиною протягом світлового дня, тому що під його впливом здійснюється життєво важливий для рослин процес фотосинтезу. Існує модель світла як потоку світлових частинок. Ці частинки отримали назву квантів, або фотонів. Енергія фотона залежить від довжини світлової хвилі. Показник кількості фотонів, який випромінюється в секунду в діапазоні 400-700 нм, називається фітопоток і вимірюється в мкмоль/с. Фітопотік, як одиницю вимірювання, можна порівняти з люменом, проте в основі фітопотіку лежить реакція рослин на світло. Фітопотік характеризує вміст у загальному випромінюванні енергії, потенційно доступної рослинам для здійснення фотосинтезу. Енергія фотона світла з довжиною хвилі 400 нм (синє світло) в 1,75 рази вище енергії фотона з довжиною хвилі 700 нм (червоне світло), але обидва фотона надають однаковий ефект на процес фотосинтезу. При цьому надлишок енергії «синього» фотона перетворюється в тепло.

Інтенсивність фотосинтезу визначається не сумарною енергією фотонів, а їх кількістю, які поглинаються рослинами. Кількість фотонів, що приходять за секунду на одиницю поверхні, називається щільністю фітопотіку. Щільність фітопотіку найбільш точно характеризує світло необхідне для фотосинтезу. Щільність фітопотіку вимірюється в фотонах в секунду на квадратний метр мкмоль/(с·м²).

У регіонах земної поверхні, між 40-ю і 80-ю паралелями в зимові місяці спостерігається значне скорочення кількості денного світла. Мінімальна його кількість

взимку складає 1/10 частини від загального. Це викликано скороченням зимового дня в поєднанні з низькою інтенсивністю світла, випромінюваного сонцем, що висить низько над горизонтом, а також високою хмарністю. У таких умовах кількість світла стає обмежуючим фактором і боротися з цим можна тільки за допомогою додатково виробленої світлової енергії. Отже, основне питання: скільки світла потрібно добавляти кожен день, щоб досягти оптимальної кількості світлової енергії.

Для штучного опромінення рослин промисловість виготовляє стаціонарні тепличні опромінювачі: ОТ-400 з лампою ДРЛФ400; ОТ-1000 з лампою ДРФ1000; ГСП26-400 і ГСП26-1000 з лампами ДРИ400 і ДРИ1000; ОТ-2000 з лампою ДРОТ2000; РСП15- 2000 з лампою ДРЛ2000; ССП03-750 з лампою ДРВ750; РСП26-125 з лампою ДРЛ125; ЖСП18-400 з лампою ДНаТ400; ЖСП 70–400, ЖСП 70-600 з лампою ДНаТ400, ДНаТ- 600; серії ОГС01 «Фотос» з лампами ДРИ1000, 2000, 3500 і ДМЗ 3000; типу 02ДП «Світлотрон» з лампою ДРИ2000; опромінювачі з лампами ЛФ і ЛФР, змонтованими в рамках-касетах, наприклад, ОТ 6×40, та ін.

Особливий інтерес представляє новий клас комплектних високоефективних опромінювальних установок типу плоский світловод, світловий карниз, світло - тронний карниз і інші, практичне використання яких дозволяє зменшити на 26-38 % експлуатаційні витрати, на 15-20 % втрати оптичного випромінювання і в 2-3 рази металоємність конструкцій. Так, опромінювальні установки світлонепроникних споруд (теплиць-камер без природнього освітлення) типу плоский світловод освоєні серійно у вигляді пристрою модифікації СКОУ, а типу світловий карниз - у вигляді двох модифікацій; СОРТ-2-2-3К з опромінювачами КОРТ-2000 і лампами ДРОТ2000, і УОРТ-2-3000-1 з опромінювачами ОТ- 3000К і лампами ДМ4 3000. У ангарних теплицях з шириною прольоту 18 м застосовують опромінювальні установки типу СОРТ-1-10 з лампами ДКсТЛ10000, УОРТ-2-3000 з лампами ДМ4 3000 і ДМЗ 3000, а також УОРТ-1-6000 з лампами ДМ4 6000, що поставляються, в комплекті з системами управління, контролю, захисту та сигналізації. У селекційних і вегетаційних теплицях і оранжереях, кліматичних камерах і шафах використовують опромінювальні установки типів УВР і ФОУ з лампами ДКсТВ6000, УИС-1 з лампами ДПКс1500, серії ВОУ, що поставляються в залежності від модифікації з лампами ЛФР150 і дзеркальними лампами розжарювання ЗШ 220-230-300 (ВОУ-1 і ВОУ-1М), ДРЛФ400 і дзеркальними лампами розжарювання ЗШ 220-230-300 (ВОУ-П-1 і ВОУ- ПМ), ДРФ1000 (ВОУ-П-2).

Загальний вигляд і технічні характеристики тепличних опромінювальних установок, наведені на рис. 1.

При опроміненні рослин у промислових теплицях та вегетаційних кліматичних спорудах найбільш широкого поширення набули опромінювачі ОТ-400 і ОТ-400М (модернізований варіант), який відрізняється простотою конструкції і надійністю в експлуатації.

Опромінювачі ОТ-400 (ОТ-400М) складаються з вузла підвісу 1, пуско регулюючої апаратури джерела випромінювання 2, фарфорового патрона з ущільнювачем з термостійкої силіконової гуми 3, одного або двох відрізків шлангового кабелю КРПТ 3×2, 5, один з яких оснащений триштирковою вилкою, а другий – триштирковою розеткою 4 і газорозрядної лампи високого тиску типу ДРЛФ400, (рис. 3.).

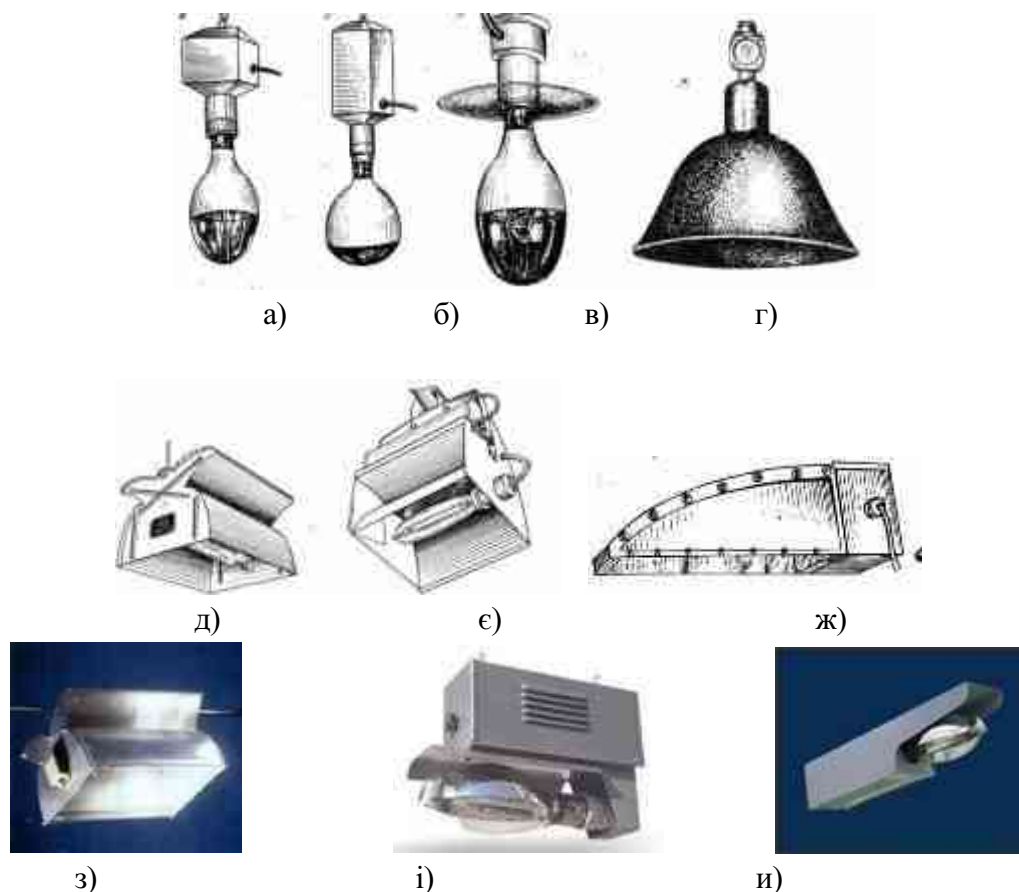


Рис. 1. - Загальний вигляд тепличних опромінювальних установок: а) ОТ-400; б) ОТ-1000; в) ССП03-750-001; г) ГСП26-400-001; д) ОГС «Фотос»; е) ЖСП18-400; ж) ОЗОП «Світлотрон»; з) ГСП 30-2000-001; и) ЖСП-70-400; и) ЖСП62-400 «Флора»

У корпусі розміщується індуктивний або індуктивно-ємнісний баластний пристрій. Опромінювачі поділяються на дві модифікації: ОТ- 400И або ОТ-400МИ і ОТ-400Е або ОТ-400МЕ. Обидві модифікації мають коефіцієнт потужності близько 0,5-0,55, але в одній струм відстає від напруги, а в другій випереджає його, що дозволяє при одночасному використанні обох модифікацій отримувати коефіцієнти потужності опромінювальними установками близькими до одиниці.

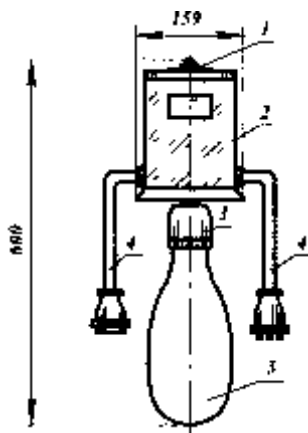


Рис. 2 – Тепличний опромінювач ОТ-400: 1 – вузол підвіски; 2 – ПРА джерела

випромінювання; 3 – фарфоровий патрон із ущільнювачем; 4 – кабель живлення опромінювача; 5 – лампа ДРЛФ-400

Опромінювачі підключають до однофазної мережі напругою 220 В за допомогою вилок і розеток попарно, які створюють герметичні обрешинені з'єднувачі і допускають об'єднання в групу з послідовним живленням і заземленням корпусів до п'яти опромінювачів. ККД опромінювача - не менше 90 %.

Подібну конструкцію має також опромінювач ОТ-1000И-011 (ОТ- 1000МИ (рис. 2.16, б). Його технічні параметри: напруга живильної мережі - 220 В, ККД - не менше 90 %. У корпусі опромінювача разом з індуктивним баластовим пристроєм встановлено універсальний імпульсний запалювальний пристрій типу УИЗУ-220-02ХЛ.

Опромінювач ССП03-750-001 (рис. 1, в) також уніфікований в деяких комплектуючих деталях з опромінювачем ОТ-400. Номінальна напруга живлення опромінювача - 220 В змінного струму, ККД - не менше 85%. Коробка застосовується для забезпечення герметичного введення шлангового кабелю і складається із двох кришок, між якими укладений циліндричний пасок. Опромінювач забезпечений кабельним роз'ємом для підключення до магістральної мережі через відгалужувальні коробки, по одній на шість опромінювачів.

На зміну опромінювачам ОТ-400 і ОТ-1000 прийшли світильники- опромінювачі ГСП26-400-001 і ГСП26-1000-001. Для опромінення розсади в індивідуальних підсобних господарствах освоєно світильник- опромінювач РСП26-125 з лампою ДРЛ125.

Світильники опромінювачі ГСП26-400-001 і ГСП26-1000-001 містять єдиний, уніфікований для обох варіантів, корпус зі скобами для монтажу з оригінальним пристроєм для одночасного кріплення до нього розподільної коробки і патрона (рис.1, г). Залежно від потужності лампи світильники опромінювачі комплектуються кругло симетричним відбивачем, проміжним фланцем і Г-подібними скобами, які забезпечують вентиляційний зазор і кріплення відбивача до корпусу. Необхідна ступінь захисту забезпечується кільцевим ущільненням лампи з термостійкої гуми. Незалежні ПРА ламп можуть бути встановлені на відстані не більше 4 м від світильника опромінювача.

Опромінювач РСП15-2000-01 складається з корпусу, відбивача, незалежного ПРА і лампи ДРЛ2000. У корпусі закріплено фарфоровий патрон і клемна колодка. Номінальна напруга живлення опромінювача - 380 В змінного струму, ККД - не менше 75 %.

На рис. 3 показано загальний вигляд опромінювача ЖСП18- 400-001-ХЛ4, а на рис. 3, б елементи конструкції даного опромінювача.

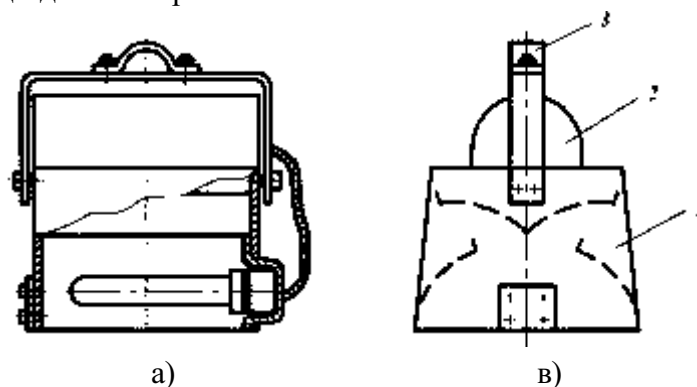


Рис. 3. - Елементи конструкції опромінювача ЖСП18-400-001-ХЛ4: 1 – корпус з дзеркальним відбивачем; 2 – блок ПРА; 3 – вузол підвісу

В опромінювачі ЖСП18-400-001-ХЛ4 корпус виконаний з дзеркальними відбивачами: основними - циліндричної форми, і допоміжними - торцевими у вигляді вертикально розташованих площин. На корпусі або окремо від нього кріпиться блок пускорегулюючої апаратури з універсальним імпульсним запалюючим пристроєм УИЗУ-220-02ХЛ і конденсатором ЛСМ-400-40. Вузол кріплення дозволяє підвішувати опромінювач на гнучкому шнурі, тросі, ланцюгу, трубі за допомогою хомута. До мережі змінного струму напругою 220 В опромінювач підключають за допомогою шлангового кабелю КРПТ перетином жили 2,5 мм². ККД опромінювача - не менше 75 %.

Опромінювач ОТ-2000 призначений для заміни опромінювача ОТ- 400 і в деякій мірі усуває його недоліки: малу одиничну потужність і низьку світову віддачу лампи ДРЛФ400, спектр випромінювання якої не є достатньо ефективним для вирощування рослин; неефективне використання потоку випромінювання лампи та розміщення ПРА разом з нею, за рахунок чого опромінювач стає важчим. Корпус опромінювача виконаний з алюмінію. Зниженню його маси сприяє також розміщення баластного дроселя на відстані. В якості джерела світла в опромінювачі ОТ-2000 використана високоефективна металогалогенна лампа ДРОТ2000. ККД опромінювача - не менше 70 %, ККД ФАР лампи - не менше 25%, номінальна напруга живлення - 380 В, 50 Гц, споживана потужність - 2000 Вт при коефіцієнті потужності рівному 0,6. Електрична схема опромінювача ОТ-2000 наведена на рис. 4.

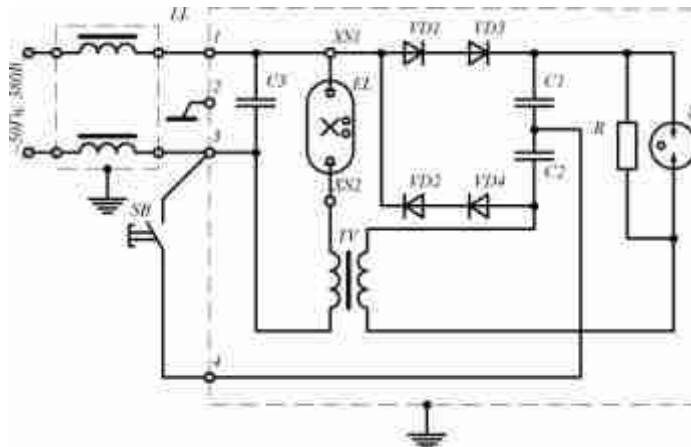


Рис. 4 – Схема електрична принципова включення опромінювача ОТ-2000

Тепличні опромінювачі ОГС01 серії «Фотос» розраховані для роботи від трифазної мережі змінного струму з глухозаземленою нейтраллю частотою 50 Гц з номінальною напругою 380/220 В. Вони складаються з корпусу, блоку пускорегулювальної апаратури з імпульсним запалювальним пристроєм і блоку з компенсуючими конденсаторами типу ЛСМ-400-7,8У1. Блок ПРА з'єднується з корпусом кабелем завдовжки 4 м з гумовим роз'ємом.

Опромінювачі випускають в шести модифікаціях. Вони можуть експлуатуватися в закритих приміщеннях при температурі + 10- 35°С і відносній вологості повітря до 95%. Загальний вигляд опромінювача ОГС «Фотос» представлений на рис. 1, д.

Для підвищення коефіцієнта використання світлового потоку практичний інтерес представляє застосування в опромінюючих установках дзеркальних відбиваючих поверхонь-склепінь. Прикладом тому є опромінюючі комплекси КОП2-001 (002)

«Світлотрон», який представляє собою сукупність протяжних поверхонь, виготовлених з металізованої поліетилен-терефталатної плівки шириною близько 0,6 і довжиною до 36 м. Кінці плівки зафіксовані у вузлах кріплення, повороту та лінійного переміщення; при цьому осі повороту паралельні, а джерела випромінювання розташовані в площині симетрії поверхонь, на лінії, паралельної осях їх повороту. У таких установках використовують високоефективні металогалогенні лампи типу ДРИ2000-6, що дозволяє, в порівнянні з установками з опромінювачами ОТ-400, при приблизно однаковій встановленій електричній потужності збільшити в 3-4 рази рівень опромінення рослин в області ФАР при більш сприятливій просторовій структурі світлового поля. ККД опромінюючої установки - неменше 80% при коефіцієнті використання світлового потоку близько 70%. У опромінюючих установках вегетаційних камер і боксів, кліматичних шаф і стелажів також приймаються спроби використовувати дзеркальні відображаючі поверхні для перерозподілу в заданому напрямленні світлового потоку і формування сприятливої просторової структури світлового поля в зоні знаходження рослин. Наприклад, в конструкції арматур 020П та 02ДП «Світлотрон» передбачено поворотом металевих дзеркалізованих відбивачів регулювати рівномірність освітленості рослин і створювати необхідний світловий та тепловий режим (рис. 1, ж).

Опромінююча арматура «Світлотрон» працює від трифазної мережі змінного струму частотою 50 Гц з глухозаземленим нульовим проводом і лінійною напругою 380 В. Джерело випромінювання - металогалогенна газорозрядна лампа високого тиску ДРИ2000-6. Рівень створюваної освітленості в площині світлового отвору - не менше 50 клк при нерівномірності не більше 20%.

У блочних та ангарних теплицях і оранжереях використовують систему опромінення рослин СОРТ-1-10, яка відрізняється: спектром випромінювання, найбільш близьким до сонячного; компактною конструкцією, яка мінімально затемнює природне світло і не перешкоджає догляду за рослинами; відсутністю баластних пристроїв для ламп; груповою схемою включення, яка забезпечує одночасне запалювання всіх джерел. Система СОРТ-1-10 являє собою модуль, що складається з 6 опромінювачів з дуговими ксеноновими лампами типу ДКсТЛ 10000, блоку управління запаленням і високовольтних з'єднувальних проводів.

Блок управління запалюванням виконаний у вигляді металевої шафи, в якій розміщені високовольтний трансформатор до 4 кВ і апаратура місцевого та дистанційного керування запалюванням. Принципова електрична схема СОРТ-1-10 володіє рядом суттєвих переваг, так як запалювання ламп здійснюється одночасно від одного пускового пристрою, що може розташовуватися від самого віддаленого опромінювача на відстані до 80 м у будь-якому зручному місці теплиці. За рахунок того, що відбивачі опромінювачів покриті білим кремнійорганічним селективним забарвленням, яке інтенсивно поглинає інфрачервоне випромінювання, в системі значно зменшена частка інфрачервоного випромінювання лампи ДКсТЛ, що потрапляє на рослини.

Технічна характеристика системи СОРТ-1-10: номінального напруга живлення - 380/220 В змінного струму частотою 50 Гц; номінальна потужність модуля - 60 кВА; габарити: опромінювача - 1570×390×250 мм, блоку управління запалюванням - 560×215×916 мм; маса: опромінювача - 30 кг, блока керування запалюванням - 60 кг; площа теплиці, яка опромінюється одним модулем - до 200 м²; освітленість на опромінювальній поверхні - до 10 клк.

Однією з найбільш прийнятних для опромінення розсади та дорослої культури в ангарних теплицях є опромінююча установка комплексної поставки типу УОРТ-1-6000, яка складається з опромінювача типу ОТ-6000 з лампою типу ДМ4 6000 і блоку управління. Опромінювач містить корпус з відбивачем і універсальний імпульсний запалюючий пристрій типу УИЗУ-220-02ХЛ1. У корпусі блоку управління розміщені автоматичний вимикач, електромагнітний пускач для включення лампи, реле часу для відключення кола запалювання лампи, сигнальні лампи, перемикач режимів дистанційного то місцевого управління, запобіжник захисту кола керування від аварійних режимів, кнопки управління та дросель. Установка укомплектована спеціальним ПРА. Габарити: опромінювача - 960×440×320 мм, блоку керування - 788×310×575 мм; маса: опромінювача - 20 кг, блоку управління - 120 кг, термін служби установки - 10 років.

Застосування трифазної металогалогенної лампи ДМ4 6000 в установці УОРТ-1-6000 дозволяє здійснювати симетричне навантаження фаз мережі, знизити більш ніж в 3 рази масу ПРА, в порівнянні з опромінювачем типу ОТ-400, зменшити ємність компенсаційних конденсаторних установок. В установці УОРТ-1-6000 передбачено захист від виходу з ладу одного або декількох електродів лампи ДМ4 6000 і обриву одного з проводів живильної мережі, тобто від асиметричного завантаження фаз. Як бачимо, номенклатура і технічні характеристики тепличних опромінювачів і установок постійно удосконалюються. На зміну низько ефективному і недостатньо комплектному світлотехнічному обладнанню розробляється і постачається нове.

Так, опромінюючі прилади типів РСП15-2000, ЖСП18-400, ГСП26- 1000 та серії ОГС01 «Фотос» дозволяють з меншими приблизно в 2 рази витратами електричної енергії (у порівнянні з опромінювачами ОТ-400 і ССП03 -750) забезпечити необхідні для інтенсивної світло культури рівні опромінення в області ФАР. Опромінююча установка з лампами ДРФ1000 в порівнянні з ДРЛФ400 дозволяє на 30-40% знизити питому встановлену потужність, в 4 рази витрати праці на обслуговування, приблизно в 2,6 рази прямі витрати експлуатації і суму наведених витрат на річний обсяг виробки.

Порівняльне зіставлення різних установок дозволяє розташувати всі опромінювачі в наступному порядку:

- в міру зростання питомих (на 1 м² опромінювальної поверхні) початкових капітальних вкладень - ССП03-750, ОТ-400М, ГСП26-400, ОТ-1000И, ЖСП18-400, ГСП26-1000, ОГС01-2000 «Фотос-4», СОРТ-1- 10, ОТ-2000, 020П «Світлотрон» і УОРТ-1-6000;
- в міру зростання питомих (на 1 м² опромінюючої поверхні) річних експлуатаційних витрат - ССП03-750, СОРТ-1-10, ЖСП 18-400, ОТ- 1000И, УОРТ-1-6000 і ОТ-2000;
- в міру зростання питомих приведених витрат на одиницю продукції (з урахуванням показників росту рослин) - ЖСП18-400, ССП03-750, ОТ-1000, УОРТ-1-6000, ОТ-2000, СОРТ-1-10.

Аналіз наведених порівнянь показує, що найбільш економічними є опромінюючі установки з лампами типу ДРИ400, ДРИ1000, ДНаТ400, ДРВ750, ДРФ1000 та інші, а найбільш дорогими - ДКсТЛ 10000. Якщо припустити, що оптові ціни на нові високоефективні в області ФАР лампи типів ДРИ400, ДРИ1000, ДНаТ400, ДРФ1000, ДРОТ2000, ДМЗ 3000, ДМ46000 і опромінювачі до них при розширеному серійному виробництві будуть значно знижені, а їх термін служби підвищений, то зазначені варіанти

опромінюючих установок будуть ще більш кращими.

Поряд зі зміною і постійним оновленням номенклатури джерел опромінювачів і установок з метою зменшення невикористаних втрат оптичного випромінювання та витрат електричної енергії при досягненні того ж або деякому збільшенні технологічного ефекту модернізуються і широко використовуються на сьогоднішній день в промислових теплицях опромінювачі ОТ-400, ССП03-750 та ін. Так, зменшити втрати оптичного випромінювання, а також питомі капіталовкладення на 10-12% можливе шляхом використання крайових опромінювачів, виконаних на базі ламп типу ДРЛФ400, ДРВ750 і ДРФ1000. У крайовій лампи відбиваюче покриття нанесено на 3/4 внутрішньої поверхні колби так, що світловий потік в заданий бік зростає до 30%. Якщо немає крайових ламп заводського виготовлення, їх можна зробити самим, шляхом нанесення термостійкої кремній органічної білої емалі типу КО-84 на поверхню колби серійних ламп. Витрати емалі КО-84 на 100 ламп приблизно дорівнюють 0,25 кг.

Практичний інтерес представляє також використання не безперервного, а комбінованого або імпульсного опромінення рослин, при якому продуктивність і ККД реакції фотосинтезу максимальні. Установлено, що найважливіший у природі процес фотосинтезу найбільш продуктивно протікає при переривистому (імпульсному) опроміненні, коли здійснюється чередування опромінення і темноти через певні паузи.

Максимальна тривалість світлової стадії становить до 10^{-5} с, а темноти (при температурі 25°C) - $4 \cdot 10^{-2}$ с. Звідси зрозумілі спроби використовувати імпульсне або комбіноване (чергування в певній послідовності імпульсного і безперервного) опромінення деяких сільськогосподарських культур у виробничих умовах, розробити спеціальні живлячі генератори та схеми включення джерел в імпульсному або комбінованому режимах опромінення.

У випадку правильно підібраних режимів імпульсного або комбінованого опромінення можлива економія електричної енергії до 30- 40 % при незначній зміні середньої продуктивності і ККД фотосинтезу в порівнянні з неперервним опроміненням. Слід зазначити, що економія 30-40 % є значущими цифрами, тому що приблизно 45-55 % всіх експлуатаційних витрат опромінюючих установок припадає на частку витрат на електричну енергію.

Повноцінний розвиток рослин можливий тільки при забезпеченні необхідного рівня штучної опроміненості, який обов'язково враховує умови природної освітленості. Для середніх широт України при вирощуванні розсади овочевих культур рівень штучної опромінення в області ФАР приймають рівним не менше $25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для огірків і $30 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для томатів (6,5 і 7,5 тис. лк або 8,5 і 10 $\text{фгм} \cdot \text{м}^{-2}$ відповідно). Тривалість опромінення розсади для 0-3 світлових зон - не менше 12-16 год/добу, для 4-6 світлових зон - до 12 год/доб. Приблизний термін опромінення розсади огірків – 30-40 днів, томатів – 45-50 днів.

Рівень опромінення рослин у фазі плодоношення трохи вище й для середніх широт України повинен бути не менше: для огірків $40 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, томатів $48 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ФАР (10 і 12 тис. лк або 13,7 і 16,4 $\text{фгм} \cdot \text{м}^{-2}$ відповідно). Тривалість опромінення огірків 12-14, томатів 14-16 год/доб.

Для квіткових і декоративних рослин необхідно забезпечити рівень опромінення в області ФАР до $15-30 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, а в селекційних теплицях, фітотронах і фітокамерах без природної освітленості – $100-300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ і більше в залежності від тривалості опромінення,

термінів вирощування, призначення рослин та інших спеціальних агротехнічних вимог.

Як бачимо, при штучному опроміненні рослин потрібні дуже високі рівні опромінення. Для забезпечення подібних рівнів необхідно правильно розмістити опромінювачі по висоті і в плані стелажа або теплиці. При цьому опромінення повинно досить рівномірно розподілятися по поверхні, не перегрівати рослини і не заважати догляду за ними.

10.2. Основні положення розрахунку тепличних опромінювальних установок

В практиці проектування опромінюючих установок в рослинництві в даний час користуються простим, але незадовільним методом, в основу якого покладено нормативи питомої електричної потужності джерел випромінювання у ватах на квадратний метр опромінювальної поверхні. Істотні похибки цього методу пояснюються тим, що норматив питомої потужності джерел випромінювання, прийнятий в якості єдиного критерію, не може визначати собою ступінь ефективності впливу опромінюючих установок на рослини, тому що при даній питомої потужності ефективність установки залежить від наступних факторів:

- спектрального складу випромінювання використовуваних джерел;
- ефективної віддачі джерел;
- відстані між джерелами випромінювання та рослинами;
- конструктивного виконання опромінюючої установки.

При розрахунку тепличних опромінюючих установок необхідно враховувати наступні положення:

- різке розходження кривих відносної спектральної чутливості рослин і очей людини виключає можливість використання в розрахунках світлових величин та одиниць їх вимірювання;
- існуюча система ефективних величин стосовно таких приймачів оптичного випромінювання, як зелені рослини, не є загальноприйнятою;
- істотна відмінність спектральних характеристик використовуваних джерел випромінювання не дозволяє судити про ступінь ефективності того чи іншого з них за каталожними даними; потрібен спеціальний аналіз їх спектральних характеристик;
- рослини є об'ємними об'єктами зі складним рельєфом поверхні, тому рівень опромінення більш правильно характеризувати значенням середньої сферичної опроміненості.

Середня сферична опроміненість чисельно дорівнює середній щільності потоку випромінювання, що падає на поверхню сфери зникаючого малого радіуса з центром у досліджуваній точці. Розподілення опромінення по поверхні сфери можна показати графічно. Ймовірно, що характер опромінення буде визначатися геометричними властивостями випромінювача.

При точковому джерелі (рис. 5, а) сферична опроміненість в даній точці сфери дорівнює:

$$\mathcal{E}_{сф} = \mathcal{E}_{\perp} \cos \psi$$

де ψ - кут між нормаллю в даній точці сфери і прямої, що з'єднує центр сфери з джерелом; $\mathcal{E}$ - опроміненість ділянки сфери, зверненого до випромінювача, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$.

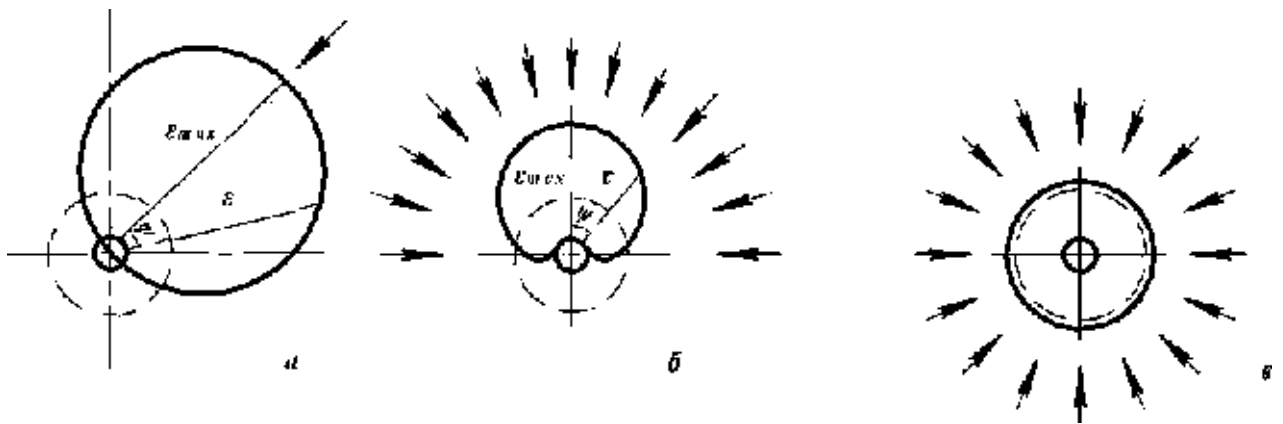


Рис. 5 – Визначення сферичного опромінення при різних видах випромінювачів

Поєднавши центр сфери з початком полярних координат, відкладемо вздовж радіусів в прийнятому масштабі значення опромінення, що визначаються за висловом ε_{sf} . З'єднавши кінці відкладених відрізків плавною кривою, одержимо, як це впливає з виразу ε_{sf} , коло (суцільна лінія на рис. 5, 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:

$$\varepsilon_{sf,sp} = \frac{\varepsilon_{max}}{4}$$

Якщо випромінювачем є рівномірно випромінююча верхня півсфера (рис. 5, б), то сферична опроміненість визначається за виразом:

$$\varepsilon_{sf} = \varepsilon_{\perp} \cos^2 \frac{\psi}{2}$$

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:

$$\varepsilon_{sf,sp} = \frac{\varepsilon_{max}}{2}$$

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:

$$\varepsilon_{sf,sp} = \varepsilon_{max}$$

В даний час питання нормування за сферичною опроміненістю недостатньо розроблені. Тому в переважній більшості випадків користуються поняттям горизонтальної опроміненості.

10.3. Розрахунок установок для опромінення з точковими джерелами випромінювання

При конструюванні опромінюючих установок, в яких використовуються точкові випромінювачі та стандартні опромінювачі з симетричним розподілом потоку випромінювання в просторі, практично важко забезпечити рівномірний розподіл опромінення по опромінюючій поверхні. Разом з тим представляється можливим конструювати установки із заданим мінімальним опроміненням при заданій ступені нерівномірності.

Розташування опромінювачів визначається характером просторового розподілу їх потоку випромінювання та основними розмірами опромінювальної площі.

Висота підвісу h опромінювачів над рослинами залежить від типу джерела випромінювання і вибирається так, щоб забезпечити заданий рівень опромінення і разом з тим не перегріти рослини (зазвичай для стаціонарних установок з точковими випромінювачами $h \gg 0,5 \text{ м}$).

Розрахунок доцільно вести за мінімальною опроміненістю, причому коефіцієнт

$$Z = \frac{E_{\phi, \min}}{E_{\phi, \max}}$$

мінімального опромінення не слід приймати менше 0,8.

На рис. 6, h і r мають однаковий масштаб. Користуючись кривою просторового розподілення потоку випромінювання (рис. 6, крива 1) прийнятого типу опромінювача, будують криву розподілу створюваної ним опроміненості як функції відстані r при $h = \text{const}$ (крива 2, рис. 6).

Ординати шуканої кривої для різних значень r обчислюють за такими виразами:

- для горизонтальної опроміненості на підставі вираз:

$$E_{\phi} = I_{\alpha} \cos \varphi (l_{\alpha} \cdot m_{\alpha})^{-2} K_{\phi}$$

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:

$$E_{\phi \text{ сф}} = I_{\alpha} 0,25 (l_{\alpha} \cdot m_{\alpha})^{-2} K_{\phi}$$

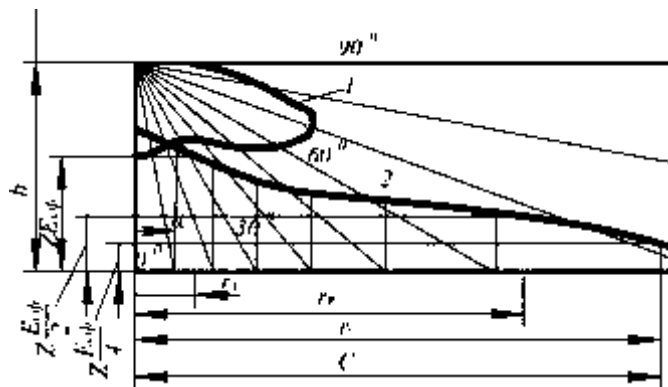


Рис. 6 – Розрахунок опромінювальної установки з точковими випромінювачами: побудова характеристики розподілу опроміненості по стелажу

Розрахунок за сферичною опроміненістю виконують наступним чином.

Розташували на плані стелажа опромінювачі, знаходять характерні точки, в яких опромінення може виявитися мінімальним. На рис. 7 в якості прикладу показано розташування опромінювачів по вершинах квадратів.

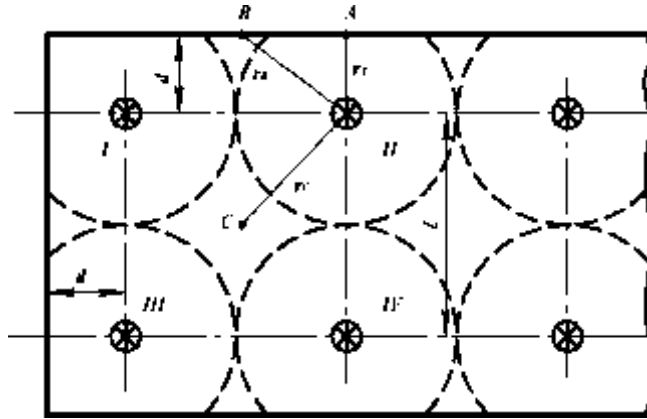


Рис. 7 – Розрахунок опромінюючої установки з точковими випромінювачами: розміщення опромінювачів на планістелажу і визначення найменших допустимих відстаней між ними

Припустимо, що найгіршими за умовами опромінення є точки А, В і С. Щоб забезпечити у цих точках виконання умови $E_{сф} \geq E_{сф.мах} Z$, 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. 2.21, крива 2) знаходять r_A , при якому $E_{Acф} \geq E_{сф.мах} Z$. Вплив додаткової опроміненості в точці А від опромінювачів I і III можна врахувати при остаточному розміщенні опромінювачів на плані стелажа.

Максимальну відстань L між опромінювачами вибирають так, щоб забезпечити в характерних точках В і С виконання умови $E_{сф} \geq E_{сф.мах} Z$.

Для цього по кривій 2 визначають r_B при $E_{Bсф} = \frac{E_{сф.мах}}{2} Z$ і r_C при $E_{Cсф} = \frac{E_{сф.мах}}{4} Z$. 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.

10.4. Розрахунок установок для опромінення з лінійними джерелами випромінювання

В опромінювальних установках, як пересувних, так і стаціонарних, найбільш часто застосовуються люмінесцентні лампи низького тиску, розташовані у великій кількості горизонтально над опромінювальною поверхнею на невеликій висоті (0,05-0,25 м).

Розрахунок опроміненості, створюваної подібними конструкціями в будь-якій

точці опромінюючої поверхні, дуже громіздкі і не мають практичного сенсу. При проектуванні більш важливим є розрахунок середньої опроміненості у межах, наприклад, стелажа шириною 1 м і довжиною, рівній довжині люмінесцентних ламп, що використовуються в даній установці. Потік, що падає від ряду (блоку) люмінесцентних ламп на опромінювальну поверхню, не дорівнює сумарному потоку ламп через його втрати в навколишній простір і поглинання суміжними лампами.

Горизонтальну опроміненість під блоком люмінесцентних ламп (рис. 8) можна обчислити за виразом:

$$E_{\phi} = \frac{\Phi_l K_{\phi}}{Ll} (n-1) \eta_{\phi l}$$

де Φ_l – 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 $\phi im.$; Φ – світловий потік в люмінах; n – кількість ламп в блоці ($n > 1$); $\eta_{\phi l}$ – коефіцієнт корисної дії блоку ламп, що залежить від величини втрат потоку випромінювання за рахунок поглинання його суміжними лампами і втрат в навколишній простір.

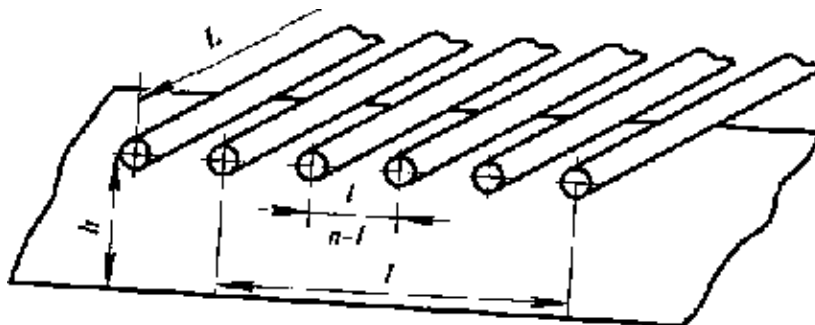


Рис. 8 – До розрахунку опроміненості, створюваної на стелажу блоком люмінесцентних ламп

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 $\mu = \frac{\Phi_l K_{\phi}}{Ll}$ – постійна величина, що залежить від каталожних даних джерела випромінювання і ширини опромінюючого стелажа; $e_{\phi} = (n-1) \eta_{\phi l}$ – 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), 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 .

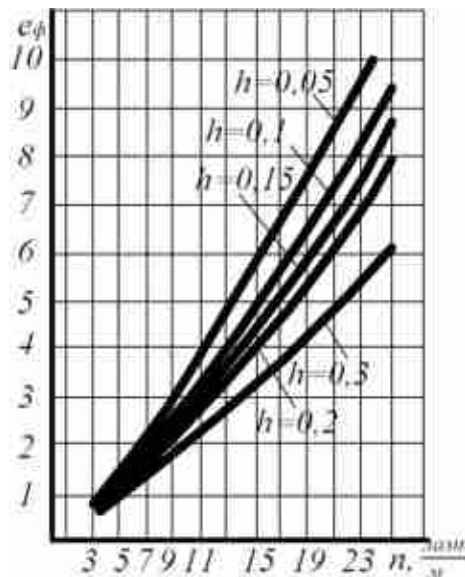


Рис. 9 – Залежність відносної опроміненості від числа люмінесцентних ламп в блоці і висоти їх розміщення над опромінювальною поверхнею

Виходячи з вимог опромінення, підраховують:

$$e_{\phi} = \frac{E_{\phi p}}{\mu}$$

По графіку залежності відносної опроміненості від питомого числа ламп в блоці та висоті їх розташування над опромінювальною поверхнею (рис. 9) визначають шукане число люмінесцентних ламп.

Якщо розрахунок ведеться по середній сферичній опроміненості, то для великих площ опромінення при розташуванні випромінювачів в горизонтальній площині можна користуватися співвідношенням:

$$E_{\phi, c\phi} = (0,57 \dots 0,67) E_{\phi, c}$$

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 №11. ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВОК УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з будовою та видами установок для ультрафіолетового опромінення.

План лекції

1. Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання.
2. Типи стаціонарних і рухомих установок для опромінення, їх характеристики і особливості безпечного обслуговування.
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.

11.1. Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання

Ультрафіолетове випромінювання (УФ) - один з важливих факторів зовнішнього середовища, що чинить великий вплив на життєдіяльність живих організмів. Весь діапазон ультрафіолетового випромінювання від штучних джерел поділяється на три області:

- $\lambda = 315-400$ нм; область А – довгохвильове УФВ;
- $\lambda = 280-315$ нм; область В – середньохвильове УФВ;
- $\lambda = 10-280$ нм; область С – короткохвильове УФВ;

Спектральний склад та основні властивості УФ-радіації представлені на рис.1.

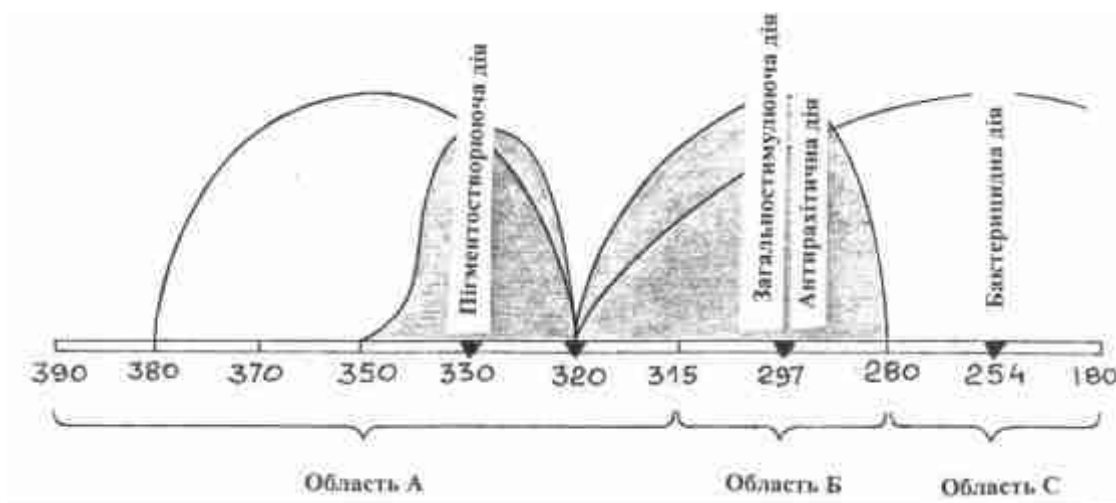


Рис. 1. – Спектральний склад та основні властивості ультрафіолетової радіації

Біологічний вплив ультрафіолетового випромінювання на організм сільськогосподарських тварин дуже значний. Воно позитивно впливає на ріст і розвиток, обмін речовин, продуктивність та відтворювальні функції. Так, опромінення корів підвищує надой до 13 %, зберігаючи при цьому жирність молока на тому ж рівні, підвищується також ірезистентність організму. А телята, що народилися від опромінених корів, є більш стійкими до захворювань токсичною диспепсією та бронхопневмонією.

Опромінення телят покращує обмінні процеси (білкові, вуглеводні, мінеральні), середньодобові прирости підвищуються на 7-13 % за рахунок кращого засвоєння азоту корму.

Ультрафіолетове опромінення поросят покращує загальний стан і підвищує до 20 % середньодобові прирости, опромінення свиноматок позитивно впливає на запліднюваність і внутрішньоутробний розвиток плоду. Поросята від опромінених свиноматок народжуються більш стійкими до захворювань.

Середньодобові прирости опромінених свиней на відгодівлі збільшуються на 4-10 % за рахунок кращого засвоєння поживних речовин корму, при цьому підвищуються поживність якості м'яса та сала. При ультрафіолетовому опроміненні кнурів-плідників поліпшується мінеральний і білковий обмін.

Несучість курей-несучок в осінньо-зимовий період, виводимість курчат з опромінених інкубаційних яєць також підвищуються. Опромінення курчат у перші дні життя знижує відходи і збільшує прирости до 15 %. При опроміненні бройлерів підвищується відсоток виходу тушок першої категорії, а в м'ясі зростає вміст білка, полісахаридів і жиру.

Опромінення ягнят підвищує прирости до 18 % і покращує якість вовнового покриву. Плодючість та якість одержуваного від вівцематок приплоду також збільшується.

Таким чином, ультрафіолетове опромінення сприяє інтенсифікації біохімічних і обмінних процесів організму, підвищенню рівня окислювально-відновлювальних реакцій і поліпшенню клінічного стану сільськогосподарських тварин, стійкості до захворювань і, в кінцевому підсумку, забезпечує краще збереження і підвищення їхньої продуктивності.

Біологічний вплив залежить від різних спектральних областей:

- випромінювання від 200 до 280 нм має сильну бактерицидну дію, застосовують для знезараження води, повітря, поверхонь приміщення, обладнання, тари та харчових продуктів;
- випромінювання від 280 до 315 нм викликає своєрідне почервоніння шкіри - еритему, а також володіє протирахітною дією і здатне перетворювати в організмі провітамін D в активно діючий вітамін D;
- випромінювання від 315 до 400 нм біологічно малоактивне, використовують в основному для люмінесцентного аналізу.

Крім того, розрізняють еритемне випромінювання, що знаходиться в спектральній області від 280 до 400 нм, в малих дозах воно надає корисну дію на організм людини і тварин, і бактерицидне випромінювання, яке знаходиться в спектральній області від 200 до 400 нм, воно викликає загибель бактерій.

Кінцевим висновком дії ультрафіолетового опромінення є покращення клінічного стану і резистивності сільськогосподарських тварин і птиці, підвищення їх збереженості і продуктивності.

11.2. Типи стаціонарних і рухомих установок для опромінення, їх характеристики і особливості безпечного обслуговування

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 (ЭО1-30М, ОЭ-1 і ОЭ-2 і ОЭСП02-2×40), переносні (ОРК-2 і ОРКШ) і рухомі (УОК-1 і УО- 4).

Вітальний випромінювач ЭО1-30М випускається у пило- вологозахищеному виконанні у вигляді відбивача з тонколистової сталі, покритої антикорозійною фарбою з досить високим коефіцієнтом відображення ультрафіолетових променів (рис. 2, а).

На відбивачі з допомогою лампотримачів брызко-захищеного виконання кріпиться захищена металевою сіткою вітальна лампа ЛЭ30-1 і пускова регулююча апаратура (пристрій 1УБИ-30/220-ВП і два конденсатори КБГ-М1-600В ємністю 0,03 мкФ). До стельового перекриття або тросу випромінювач кріпиться за допомогою двох підвісок.

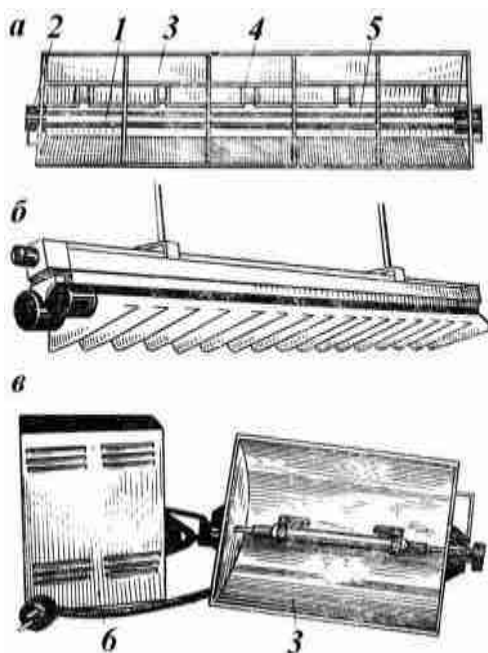


Рис. 2 - Загальний вигляд ультрафіолетових опромінювальних установок: ЭО1-30М (а), ОЭСП02-2×40/П5'Х-01 (б) і ОРК (в); 1 - вітальна лампа; 2 - лампотримач; 3 - відбивач; 4 - захисна сітка; 5 - пуско-регулююча апаратура; 6-пуско-регулюючий пристрій

Різновидом випромінювача ЭО1-30М є вітальні випромінювачі ОЭ- 1 і ОЭ-2, що мають аналогічну будову, форму та схеми включення в мережу живлення. Принципова відмінність між ними тільки в тому, що випромінювач ОЭ-1 випускається у звичайному, а ОЭ-2 - в пило- вологозахищеному виконанні. Схема електрична включення опромінювача

ЭО1-30М представлена на рис. 2 а.

Світильник-опромінювач ОЭСП02-2×40/П5'Х-01 (рис. 2, б) призначений для одночасного загального освітлення тваринницьких приміщень та опромінення сільськогосподарських тварин і птиці. Він розрахований на роботу з однією рефлекторною освітлювальною та однією рефлекторною вітальною лампами потужністю по 40 Вт (типів ЛБР40 і ЛЭР40) у мережі змінного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц. Схема включення ламп - стартерна, незалежна для різних типів ламп і представлена на рис. 3, б.

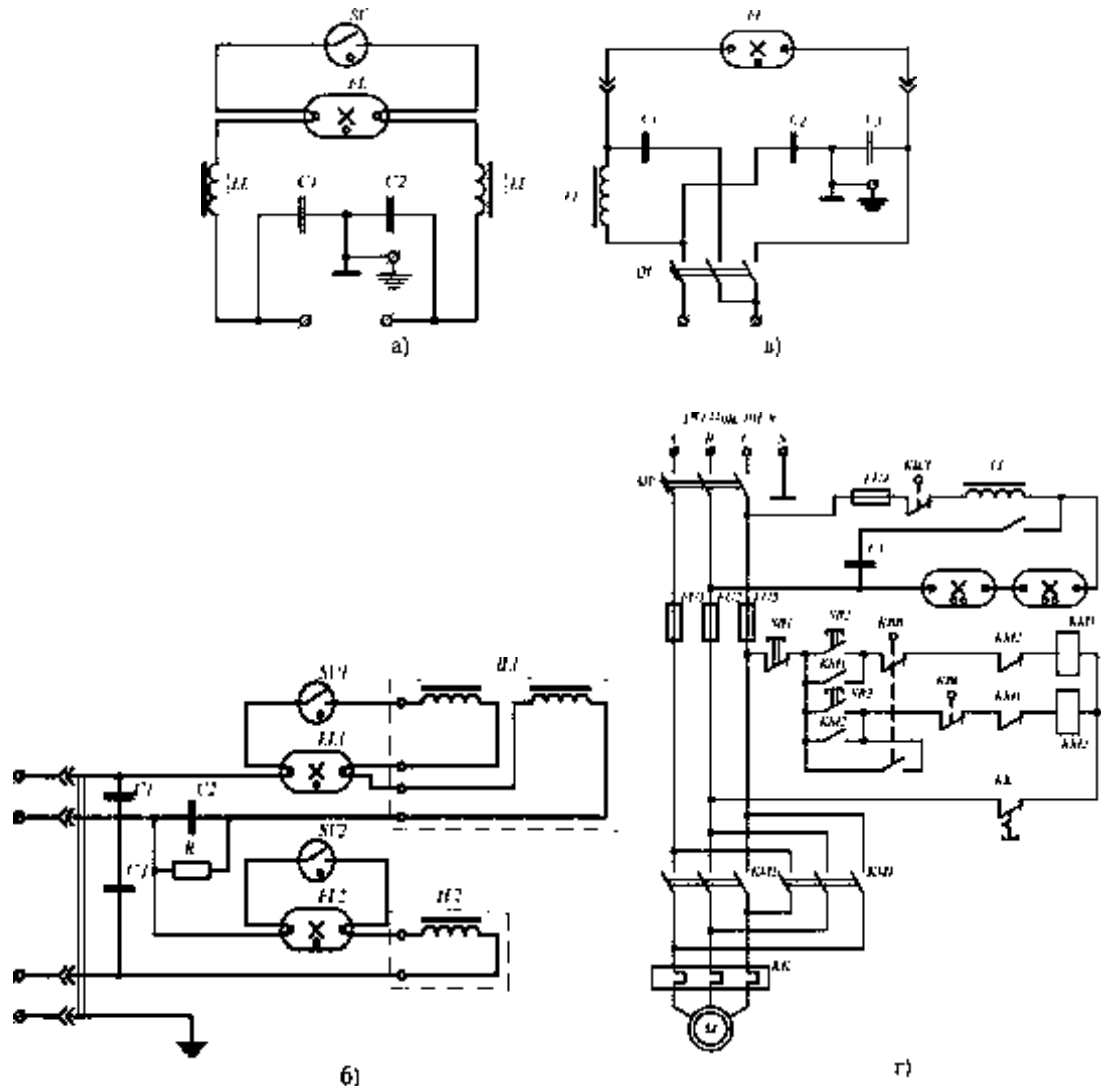


Рис. 3 – Схеми електричні принципові: а) опромінювача ЭО1-30М; б) світильника-опромінювача ОЭСП02-2×40/П5'Х-01; в) опромінювача ртутно-кварцового ОРК-2; г) установки УОК-1.

Світильник-опромінювач складається з сталевого штампованого корпусу з панеллю, вузлів підвісу, які допускають індивідуальну установку світильника-опромінювача на гаках або тросі і екрануючих решіток. Внутрішня порожнина корпусу захищена від попадання пилу і вологи прокладкою ущільнювача за периметром корпусу, сальником для ущільнення введення мережових проводів і заглушкою. В корпусі встановлена розетка штепсельного роз'єму, на панелі – пускорегулююча апаратура,

патрони брызкозахищеного виконання і вилка штепсельного роз'єму.

Ввід в світильник-опромінювач може здійснюватися з торця або зверху корпусу. При цьому сальник для ущільнення вводу переставляється на відповідну стінку корпусу, а незайнятий отвір закривається заглушкою.

Штепсельний роз'єм також дозволяє стикувати світильники- опромінювачі в лінію або підключати їх до магістральних проводів без розрізання останніх.

Світильник-опромінювач ОЭСР02-2×40/П5'Х-01 виконаний в частково пиле-вологозахищеному виконанні (клас (5'0)). Його ККД - не менше 70 %, захисний кут у поперечних і поздовжніх площинах - не менше 15°. Для профілактичного та лікувального впливу ультрафіолетового випромінювання на організм невеликих груп тварин та опромінення інкубаційних яєць і курчат в перші дні після виведення використовують опромінювач ртутно-кварцовий типу ОРК-2. Він складається з відбивача злампою ДРТ400 і живлячого пускорегулювального пристрою, з'єднаних між собою гнучким кабелем довжиною 15 м (рис. 3, в). У живильному пускорегулюючому пристрої змонтовані дросель, пусковий конденсатор КБГ-МН-400В ємністю 2 мкФ, два конденсатори КБГ-М1-600В ємністю по 0,03 мкФ і автоматичний вимикач. Схема включення опромінювача ртутно-кварцового типу ОРК-2 представлена на рис. 3, в.

Призначення, будова, електрична схема і деякі технічні характеристики опромінювача ОРКШ аналогічні випромінювачу ОРК-2.

На рис. 4 представлено загальний вигляд ртутного кварцового опромінювача ОРКШ-6.

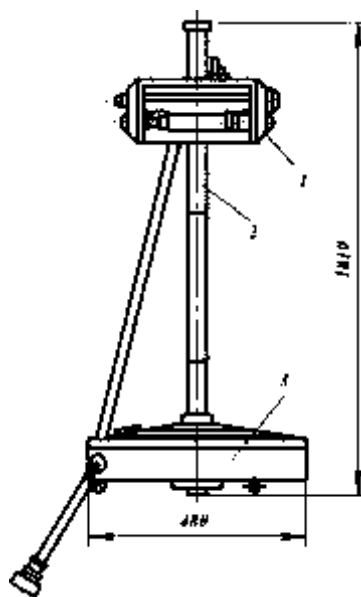


Рис. 4 – Загальний вигляд ртутного кварцового опромінювача ОРКШ-6: 1 - відбивач з лампою ДРТ-400; 2 - стійка; 3 - живлюча пускова регулююча апаратура

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 утриманні в клітках або станках. Установка складається з 4-х рефлекторних опромінювачів з лампами ДРТ400, шафи управління, приводної станції і несучої конструкції (рис. 5). Несучу конструкцію виконують зі сталевий оцинкованої проволони, яку закріплюють вздовж приміщення за допомогою натяжних болтів, закладених в торцевих стінах. Опромінювачі в приміщенні здійснюють зворотньо-поступальний рух за допомогою троса діаметром 3,1 мм, закріпленого на натяжних роликах, і який приводиться в рух від приводної станції з електродвигуном потужністю 0,27 кВт і редуктором з передавальним відношенням 1:891. Довжина несучого дроту і троса розрахована на приміщення довжиною до 90 м.

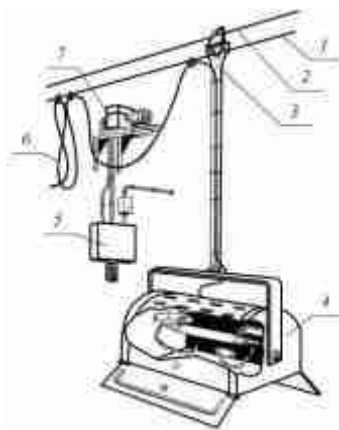


Рис. 5 – Опромінювальна установка УО-4: 1 – несучий дріт; 2 – ведучий трос; 3 – роликів каретка; 4 – опромінювач з лампою ДРТ400; 5 – шафа керування; 6 – кабель живлення опромінювачів; 7 – приводна станція

Кожний опромінювач може переміщатися зі швидкістю 0,3 м/хв. на відстані 35-42 м. Необхідна доза опромінення забезпечує зміну висоти підвісу випромінювачів і кількості проходів над тваринами або птицею. Максимальна зона обслуговування однієї установки - 90×6 м).

У шафі керування змонтовані пакетні вимикачі, запобіжники, магнітні пускачі, два дроселя, конденсатор і дві пускові кнопки. Для зручності комутації в установку входить клемний набір з кабелем КРПТ 3×2,5 для підключення опромінювачів в шафі управління. Особливість принципової електричної схеми установки УО-4М полягає в послідовному включенні кожних двох ламп ДРТ400 через загальний дросель на лінійну напругу 380 В (рис. 6). Для полегшення запалювання ламп передбачено додаткові кнопки і пусковий конденсатор. Для ультрафіолетового опромінення курей і курчат при утриманні в багатоярусних клітинних батареях використовують самохідну установку УОК-1, яка змонтована на візку і може пересуватися в проходах між клітинами з птицею по напрямних. Ширина колії візка відповідає ширині колії кормороздавача. Візок приводиться в зворотно поступовий рух зі швидкістю 0,73 м/хв. від електродвигуна встановленою потужністю 0,27 кВт через подвійний редуктор з передаточним числом 1:341, який одночасно зубчастою муфтою пов'язаний з ведучою віссю і механізмом укладання і розмотування кабелю. Ланцюгову передачу включають важелем. Електричне живлення 380/220 В підводиться через гнучкий кабель і роз'єм, одна жила якого використовується для заземлення. Під час руху установки кабель укладається в бункер або

розмотується з нього. На панелях встановлені апаратура управління двигуном і лампами, силова частина схеми управління. Праворуч в передній частині установки і внизу змонтовані кінцеві вимикачі: передній - для реверсу установки, а два задніх-для зупинки і виключення ламп. У передній частині візка встановлена стійка, на якій кріпляться два опромінювача. Затискачі випромінювачів дозволяють регулювати висоту їх підвісу у залежності від висоти кліток. В установці УОК-1 лампи ДРТ400 також включені череззагальний дросель на різні фази мережі лінійною напругою 380 В. Кінцеві вимикачі здійснюють реверс руху, зупинку установки та вимкнення ламп при закінченні циклу опромінення.

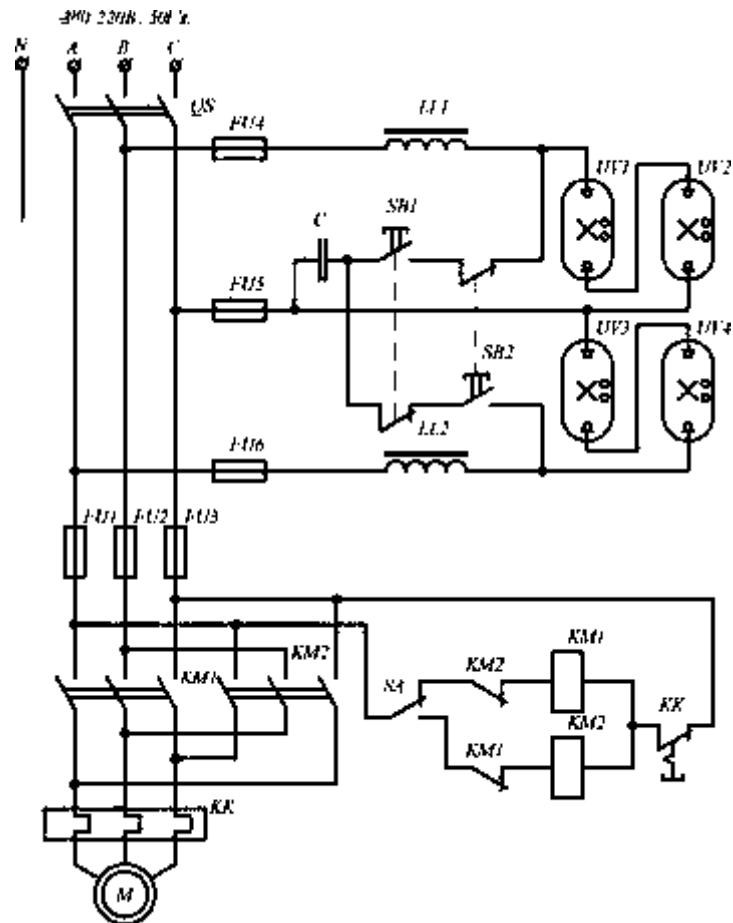


Рис. 6 – Принципова електрична схема управління установкою ультрафіолетового опромінення УО-4

Відомі спроби вдосконалення самохідної опромінювальної установки УОК-1. Наприклад, в модернізованому варіанті установки УОК-1 передбачено зворотно-поступальний рух ламп вгору-вниз зі швидкістю 1,6 м/хв., для чого використано електродвигун потужністю 0,12 кВт. У другому модернізованому варіанті для включення ламп використовується компенсаційна схема, в якій струмообмежувальним баластовим опором для однієї з ламп служить індуктивний дросель, а для другої – активно ємнісний опір, що дозволило в 2-3 рази знизити пусковий струм ламп.

Схема електрична принципова установки УОК-1 представлена на рис. 7.



Рис. 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 ДРТ400; 4 – штанга; 5 – панель управління; 6 – кінцеві вимикачі

З розглянутих ультрафіолетових опромінювальних установок у практиці сільськогосподарського виробництва перевагу віддають стаціонарним опромінювачам. Причому останнім часом намічається тенденція поєднування в одному пристрої джерел видимого і ультрафіолетового (бактерицидного і вітального) випромінювання. При розробці таких установок слідує двома шляхами: поєднанням в одному опромінювачі ламп видимого та ультрафіолетового (бактерицидного і вітального) випромінювання з незалежними схемами включення, як це виконано в опромінювача типів ОЭСП02-2×40, КСО-2, КСО-3, ОЭРБАЗ×30 та ін. або створенням спеціальних ламп, одночасно випромінюючих оптичне випромінювання ультрафіолетового і видимого діапазону, наприклад, ламп типу ЛЭО (люмінесцентних вітально- освітлювальних).

Світлотехнічною промисловістю освоєно виробництво нових ефективних стаціонарних опромінювачів типів ЭСП01-2×40 і ЭНП01-30, які замінять використовувані в даний час опромінювачі ОЭСП02-2×40 і ЭО1-30М відповідно.

11.3. Методика розрахунку стаціонарних і рухомих установок ультрафіолетового опромінення

Дозоване ультрафіолетове опромінення при стаціонарній установці опромінювачів ведеться за час її роботи при відомому значенні опроміненості на розрахунковій поверхні. Тому розрахунок стаціонарних установок ультрафіолетового опромінення зводиться до визначення кількості опромінювачів, опроміненості та часу опромінення, за яке опромінювальний об'єкт отримає необхідну добову дозу НΣ.

Для визначення опроміненості принципово можна застосувати відомі методи розрахунку освітлювальних установок з обов'язковим урахуванням деяких особливостей ультрафіолетового опромінення:

- ультрафіолетові промені погано відбиваються від стелі, стін і робочої поверхні, тому в практиці розрахунків приймають коефіцієнти відображення ультрафіолетових променів рівними нулю;
- ультрафіолетовими променями опромінюються тварини і птиця, розміри і форма яких вельми різноманітні і істотно відрізняються від горизонтальної поверхні. Найбільш повно форму тіла тварин і птиці, як поверхні об'ємних тіл, визначають сфера та циліндр.

Якщо прийняти, що форма поверхні тіла тварини і птиці незначно відрізняється від сфери або циліндра, то це відмінність від горизонтальної поверхні в розрахункових формулах можна врахувати коефіцієнтом форми K_f , який приймають рівним 0,5-0,64 незалежно від кута падіння променів на поверхню (для сфери зазвичай приймають $K_f = 0,5$, а для циліндра - 0,64);

- в якості розрахункової точки при визначенні тривалості роботи установки ультрафіолетового опромінення приймається точка з найбільшим опроміненням, що виключає переопромінення і опіки тварині птиці.

Метод коефіцієнта використання ефективного потоку взято з розділу освітлювальних установок практично без будь-яких змін. Він застосовується при відносно рівномірному розміщенні об'єктів опромінення на горизонтальній поверхні. Коефіцієнт нерівномірності опромінення - відношення максимального опромінення горизонтальної поверхні до мінімальної - повинен бути не більше 1,4.

Розрахунок установок методом коефіцієнта використання ефективного потоку проводиться в такій послідовності:

- опромінювачі над опромінювальною поверхнею розміщують з урахуванням світлотехнічної найвигіднішої відносної відстані;
- визначають коефіцієнт використання ефективного потоку опромінювальної установки і середню опроміненість;
- обчислюють тривалість роботи установки для забезпечення добової нормованої дози опромінення.

Світлотехнічна найвигідніша відносна відстань для опромінювачів з лампами ДРТ і ЛС в стандартній арматурі дорівнює 1,4. При цьому коефіцієнт нерівномірності опромінення не перевищує 1,15-1,25, а розміщення опромінювачів над поверхнею можна визначити за формулами.

Основна розрахункова формула методу використання ефективного потоку наступна:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\Phi_B \cdot N_{\Sigma} \cdot \eta_{\Sigma} \cdot K_f}{K_z \cdot S}$$

де $E_{\text{ср}}$ – середня вітаопроміненість об'єкту, $\text{мВит} \cdot \text{м}^{-2}$; Φ_B – вітальний потік випромінювання в ефективних одиницях, Вит ; N_{Σ} – сумарна кількість джерел в установці ультрафіолетового опромінення, шт ; η_{Σ} – коефіцієнт використання ефективного потоку; K_f – коефіцієнт форми тварин, який дорівнює 0,5 – 0,64; K_z – коефіцієнт запасу, який дорівнює 1,5 – 2,0; S – площа опромінювальної поверхні, м^2 .

Коефіцієнт використання ефективного потоку визначається за 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:

$$E_{\text{ср}} \cdot K_1 \geq E_{\text{доп.}}$$

де $E_{\text{доп.}}$ – допустима вітаопроміненість, яка залежить від виду і віку тварин і птиці (табл. 1).

При виконанні вказаної вимоги виключаються місцеві опіки ультрафіолетовими променями поверхні тіла тварини.

Таблиця №1.

«Значення коефіцієнта використання ефективного потоку в установках з ультрафіолетовими опромінювачами»

Індекс установки	Опромінювачі з лампами ДРТ в стандартній арматурі	Опромінювачі з лампами ЛЭ і ЛЭОв стандартній арматурі	Індекс установки	Опромінювачі з лампами ДРТ в стандартній арматурі	Опромінювачі з лампами ЛЭ і ЛЭОв 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 H_{Σ} і середньої віта – опроміненості поверхні $E_{\text{ср}}$ тривалість опромінення визначається занаступною формулою:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{ср}}}$$

де H_{Σ} – рекомендована добова вітальна експозиція опромінення, $\text{мВт} \cdot \text{м}^2$.

Орієнтовно тривалість роботи установок ультрафіолетового опромінення можна визначити і по так званим методом «питомого опромінення», виходячи із значення вітальної опроміненості $E_{\text{в}}$, яка створюється джерелом на поверхні опромінення (рис. 8), висоти підвісу джерела і нормованою вітальною експозицією опромінення H_{Σ} тобто:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{в}} K_a}$$

де K_a - коефіцієнт, що враховує вплив арматури на перерозподіл променистого потоку в необхідному напрямку, $K_a = 1,2 \dots 1,4$.

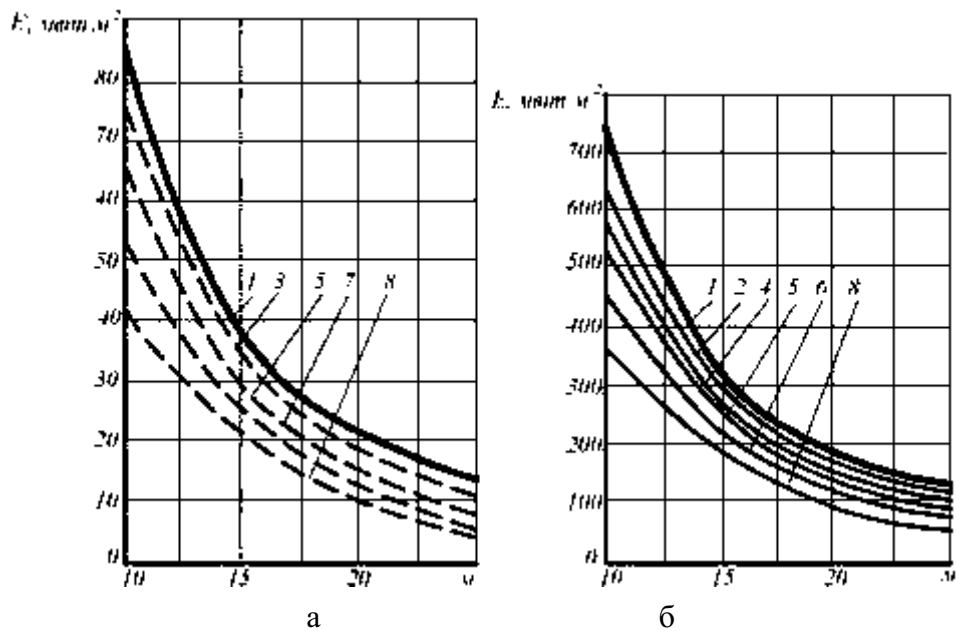


Рис. 8 - Залежність вітальної опроміненості, створюваної лампою ЛЭ30-1 (а) і ДРТ400 (б), від відстані до опромінювальної поверхні та тривалості горіння ламп: 1 - нова лампа; 2 - після 100 год. експлуатації; 3 - після 150 год.; 4 - після 200 год.; 5 - після 300 год.; 6 - після 500 год.; 7 - після 600 год.; 8 - після 1000 год. експлуатації

Цей метод простий, але придатний для наближеного розрахунку віта-опроміненості від одиничного опромінювача, коли поруч знаходяться опромінювачі які не створюють сумарний променевий потік, спрямований на опромінювану поверхню. При відомій кривій розподілу сили вітального випромінювання опромінювача для розрахунку стаціонарних опромінювальних установок може бути застосований точковий метод. При цьому в якості розрахункової точки приймається контрольна точка з найкращими умовами опромінення, що дозволяє уникнути переопромінення тіла тварини чи птиці.

За точковим методом розрахунку значення вітаопроміненості в точці на розрахунковій поверхні, створюваної спільною дією кількох найближчих опромінювачів, визначається за формулою:

$$E_a = \frac{\mu K_\phi}{H^2 r K_\gamma} \sum_{i=1}^{N_\gamma} I_{\alpha_i} \cos^2 \alpha_i$$

де I_{α_i} - сила вітального випромінювання опромінювача під кутом α_i до вертикальної осі симетрії випромінювача, $\text{mWt} \cdot \text{cm}^{-2}$; 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. 9).

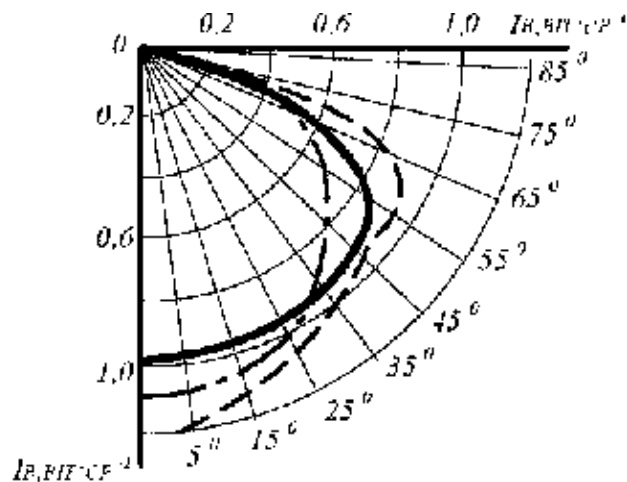


Рис. 9 - Криві просторового розподілу сили вітального випромінювання опромінювальних установок УО-4М (—), ОРК-2 (---) і крива $I_{\alpha} = I_n \cos \alpha$ (-•-•-)

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 №12. ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВОК ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з будовою та видами установок для інфрачервоного опромінення.

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.

12.1 Біологічна дія інфрачервоного опромінення

Велика частина території України характеризується холодним осінньо-зимовим періодом, який (залежно від зони) триває п'ять - вісім місяців і вважається найбільш важким для утримання сільськогосподарських тварин. Особливо необхідно тепло в цей період молодняку, у якого в перші дні життя механізми терморегуляції недосконалі. Так, у курчат, які тільки що вилупились, температура тіла дає коливання при зміні температури повітря всього на $0,03^{\circ}\text{C}$, а при зниженні до $14-15^{\circ}\text{C}$ різко падає. З віком стійкість до коливань навколишньої температури підвищується, і за два тижні температура тіла курчат досягає постійного рівня, характерного для зрілої птиці.

Низька температура і висока вологість повітря в приміщенні несприятливо позначаються на рості і розвитку молодняку, призводять до порушення обміну речовин, виникненню рахіту, простудних захворювань, розладу травлення і навіть загибелі.

Необхідний температурний режим при вирощуванні молодняка може бути забезпечений загальним обігрівом приміщення або комбінованою системою загального і локального обігріву. Більш доцільно застосування комбінованої системи обігріву, що дозволяє створювати підвищену температуру тільки в невеликій обмеженій зоні знаходження молодняка в перший період вирощування.

Для місцевого обігріву використовують різні нагрівальні установки, підлоги, що обігріваються, килимки, панелі і т.п. Широке застосування в практиці сільського господарства отримав ІЧ-обігрів молодняка, що володіє благотворною біологічною дією на організм тварин. При падінні променистого потоку на поверхню тіла тварини частина випромінювання відбивається, інша поглинається в шкірі або підшкірних тканинах. Ступінь проникнення ІЧ-випромінювання через шкіру залежить від її стану (вологості, густоти вовняного або пухо- пір'яного покриву, пігментації).

Органами почуттів, які отримують роздратування при поглинанні ІЧ-випромінювання, служать теплові рецептори (приймачі), розташовані в шкірі. Їх реакція на це роздратування викликає відчуття теплоти. Дія випромінювання ґрунтується як на його поглинанні водою і кров'ю, так і на поглинанні молекулами живої тканини. На рис. 1 показано спектр поглинання ІЧ-випромінювання шкірою і підшкірними тканинами людини, ана рис. 2 спектри поглинання води, тіла чорного і білого теляти.

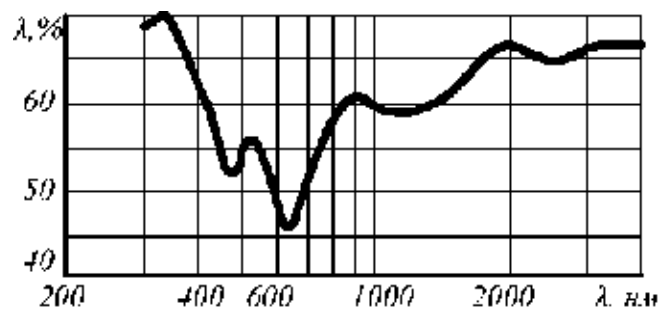


Рис. 1 – Спектр поглинання ІЧ-випромінювання шкірою і підшкірними тканинами людини

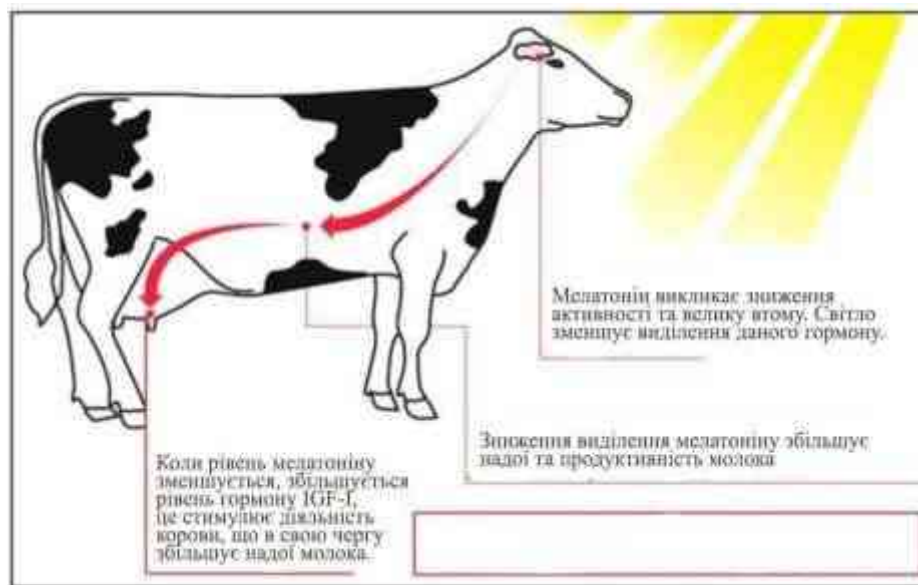


Рис. 2 – Вплив світла на процеси життєдіяльності ВРХ

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. 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.

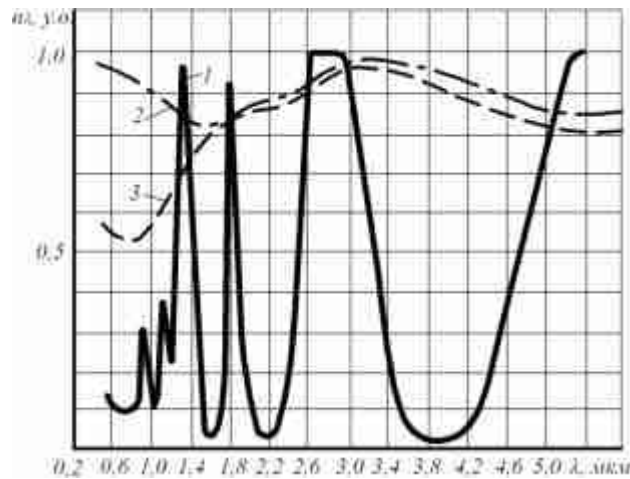


Рис. 3 – Спектр поглинання: 1 – води; 2 – тіла чорного теляти; 3 – тіла білого теляти.

Характеристики ІЧ випромінювання:

1) випромінювальна здатність E_{wT} , що чисельно дорівнює енергії, яку випромінює тіло при даній температурі з одиниці площі поверхні за одиницю часу в інтервалі частот (w ; $w+dw$); одиниця вимірювання Bm/m^2 ;

2) повна випромінювальна здатність тіл E_T , що чисельно дорівнює енергії, яку випромінює тіло при даній температурі T з одиниці площі за одиницю часу хвилями всіх можливих частот від 0 до ∞ ; ця величина виражає густину потужності випромінювання; одиниця вимірювання Bm/m^2 . Математично повна випромінювальна здатність має вигляд:

$$E_T = \int_0^{\infty} E_{\omega T} d\omega ;$$

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 :

$$A_{\omega T} = \frac{P_1}{P} ,$$

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.


$$D_{\omega I} + V_{\omega I} + A_{\omega I} = 1$$

143

З рис. 5 видно, що видиме випромінювання повністю поглинається шкірою, тоді як короткохвильове випромінювання в значній мірі проникає в підшкірну тканину.

Довгохвильове ІЧ-випромінювання (більше 2 мкм) зазвичай поглинається поверхневими шарами шкіри (епідермісом). Вважається, що для ІЧ-випромінювання довжиною хвилі більше 5 мкм шкіра повністю непрозора.

Поглинена в шкірі енергія ІЧ-випромінювання перетворюється в теплоту, викликаючи нагрівання тканин; посилюється притік крові в підсоскових шарах шкіри, відбувається переповнення кровоносних судин кров'ю, збільшується обмін між кров'ю і тканинами.

Поглинання ІЧ-випромінювання шкірним покривом - складний біологічний процес, в якому бере участь весь організм тварини з його терморегуляторним апаратом. Проникаючи в шкіру та підшкірні тканини, воно викликає загальну реакцію організму, яка виникає рефлекторно. Інфрачервоне випромінювання діє через шкіру на нервову систему, а через неї і на внутрішні органи. Слід зауважити, що опромінення прискорює видалення токсинів, і шкіра, наче справжня ендокринна залоза, діє краще в цих умовах. Виникнення пігментів, регенерація уражених клітин епідермісу, що виконують функцію самозахисту - всі ці процеси стимулюються ІЧ-опроміненням.

Внаслідок неоднакової глибини проникнення механізм дії довгохвильового (з довжиною хвилі більше 1500 нм) і короткохвильового (750-1500 нм) випромінювання різний. Довгохвильове ІЧ-випромінювання поглинається поверхневими шарами шкіри і викликає їх нагрівання. У підшкірному шарі розташовані вільні «нервові закінчення», які передають відчуття теплоти як сигнал роздратування в центральну нервову систему. Шкіра при допомозі нервової системи, що перебуває в її тканинах і що викликає відчуття теплоти і нервові рефлекси, при необхідності може використовувати всі ресурси терморегулювання, наявні в розпорядженні організму.

У частині епідермісу, що знаходиться під роговим шаром, закінчуються без м'якотні волокна, які передають відчуття болю. Больові відчуття, що викликається тепловою дією, настає для шкіри людини приблизно при 43,5°C. Отже, допустима опроміненість обмежується цим критерієм.

Короткохвильове випромінювання проникає крізь область, в якій виникає больове відчуття, в більш глибокі шари тканин; енергія випромінювання вже достатня, щоб викликати хімічну дію. Поряд з тепловими рецепторами в цьому випадку ІЧ-випромінювання діє на закінчення вегетативних нервових сплетінь, а також на кровоносні судини. Досягаючи глибоко лежачих шарів, проникаюче ІЧ- випромінювання через реакцію крові і нервової системи впливає на функції залоз і загальний обмін речовин; таким чином посилюється реакція загального захисту організму, створюється бар'єр на шляху проникнення холоду в організм тварини, попереджуючи його переохолодження.

Все це дає можливість приписати короткохвильовому ІЧ- випромінюванню специфічну біологічну дію. Нервові і гуморальні впливи при оптимальних режимах ІЧ-опромінення нормалізують тонус вегетативної нервової системи, позитивно позначаються на стані, розвитку, прирості ваги, а також на збереженні молодняка тварин і птиці. При переривистому режимі роботи ІЧ-опромінювачів змінний вплив високих і низьких температур на тварин піддає їх судинну систему своєрідному тренуванню, відбувається

загартування організму.

Таким чином, ІЧ-опромінення на відміну від інших засобів місцевого обігріву не тільки охороняє тварин від переохолодження, а й викликає посилення біологічних процесів в організмі, сприяє підвищенню ефективного тонуусу і природних захисних сил організму.

Специфічність дії дозволяє також використовувати ІЧ-опромінення в лікувальних цілях. В основі терапевтичної дії короткохвильового ІЧ- випромінювання лежить здатність викликати активну гіперемію (теплову еритему), що покращує живлення тканин, прискорює розсмоктування патологічних продуктів. Цим пояснюється широке застосування ІЧ- випромінювання для лікування різних запальних процесів. У хронічних стадіях запалення при дії ІЧ-випромінювання в гіперемізованій області зосереджується велика кількість ферментних елементів крові, що веде до збільшення утворення продуктів окислення та підвищення обміну в тканинах. Завдяки цим же обставинам посилюється живлення пошкоджених тканин, регенерація клітин, в результаті прискорюється загоєння ран, виразок і т. д. Інфрачервоне опромінювання посилює випаровування вологи, цим пояснюється його висихаюча дія, що широко використовується при лікуванні екзем, дерматитів, опіків і т.д. Під впливом ІЧ-опромінення в організмі тварини відбувається активація кровотворних органів і спостерігається збільшення в крові кількості еритроцитів і лейкоцитів, вмісту гемоглобіну, зміни у вмісті білкових фракцій крові, підвищується рівень імунобіологічної реактивності організму до різноманітних захворювань.

12.2 Опромінювачі та установки для опромінення тварин і птиці, їх основні характеристики

Для захисту ІЧ-ламп від механічних ушкоджень і крапель води, а також для перерозподілу потоку випромінювання в просторі застосовують спеціальні арматури. Джерело випромінювання разом з арматурою називається опромінювачем. Опромінювачі з різними ІЧ-лампами широко застосовуються в тваринництві для локального обігріву молодняка сільськогосподарських тварин і птиці. Випромінювач типу ССП01-250 (рис. 6) розроблений на базі світильника «Астра-12» і модифікований до лампи типу ИКЗК 220-250.



Рис. 6 – Інфрачервоний опромінювач типу ССП01-250

Він складається з пластмасового корпусу і емальованого відбивача. Всередині корпусу розміщено фарфоровий патрон для цоколя типу Е27. Відбивач покритий силікатною емаллю, яка легко очищається від забруднення. Знизу на відбивачі передбачена сітка, що захищає ІЧ-лампу від механічних ушкоджень. На корпусі опромінювача є закриваючий пластмасовим щитком отвір, де розташована збірка затискачів. Збірка затискачів допускає приєднання як мідних, так і алюмінієвих проводів або кабелю перерізом до 4 мм². Опромінювач кріпиться на гак за допомогою підвіски.

Опромінювачі рефлекторні типу ОРИ аналогічні по будові і мають конічний захисний корпус із листової сталі. Зверху випромінювача під пластмасовим ковпаком розташований фарфоровий патрон «Голіаф» (для цоколя типу Е40). Опромінювач типу ОРИ (рис. 7, а, б) випускається з лампою типу ІКЗ 220-500 - ОРИ-2 - з лампою типу ПС-70/Е-11010-375. Опромінювач ветеринарний типу ОВИ-1 (рис. 8) випускається з лампою типу ІКЗ 220-500-1.

Він складається з двох основних частин - металевого корпусу і захисної сітки. Патрон лампи закритий пластмасовим ковпаком, між ним і металевим корпусом передбачено отвори для охолодження цоколя ламп. Опромінювач має герметичне виконання. В даний час серійно випускається опромінювач «Латвіко» з лампою типу КИ 220-1000. Корпус випромінювача коробкової форми, виготовлений з оцинкованої жерсті. Всередині корпусу розташована лампа з відбивачем, захищена знизу металевою сіткою. Опромінювач підвісний, кріпиться до натягнутого тросу за допомогою дроту за вушка корпусу.

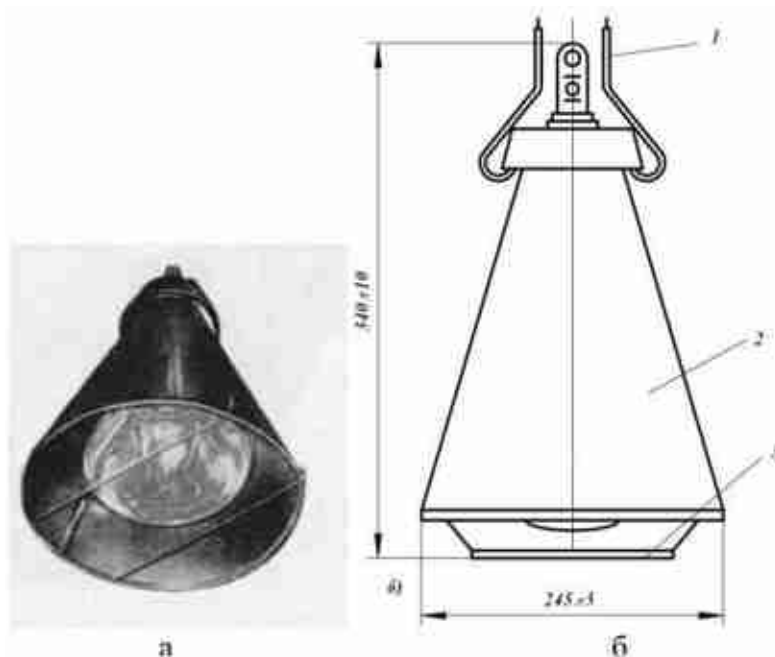


Рис. 7 – Інфрачервоний опромінювач типу ОРИ-1: а) загальний вигляд; б) схема конструкції: 1 – підвіска; 2 – корпус; 3 – сітка

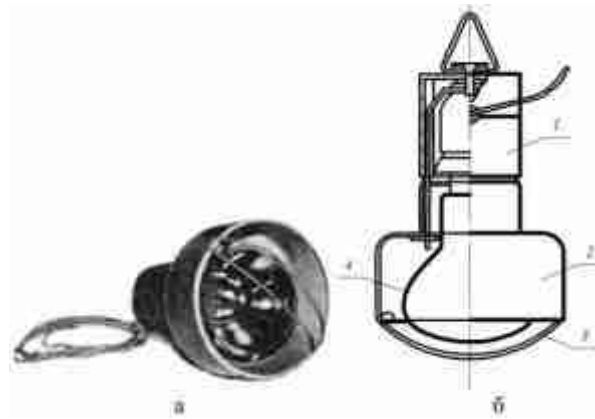


Рис. 8 – Опромінювач ветеринарний типу ОВІ-1: а) загальний вигляд; б) розріз: 1 – корпус; 2 – пластмасовий ковпак; 3 – захисна сітка; 4 – ІЧ-лампа

Розроблено опромінювач типу ОЗІ-500. Зовнішній вигляд аналогічний «Латвіко». Всередині закріплені фарфорових патрона для ламп типу ИКЗК 220-250. Підвішується випромінювач до троса на ланцюгах, це дозволяє змінювати висоту підвісу.

Різні конструкції опромінювачів з ІЧ-лампами випускаються також за кордоном. Так, фірма «Прем'єр» (США) випускає брудер, що складається з шести дзеркальних ламп потужністю по 500 Вт. Він розрахований на вирощування 1000 курчат. Розроблено також брудер, який складається із парасольки та ІЧ-опромінювачів, закріплених на рухомому штативі. Зміна температурного режиму брудера досягається шляхом установки штатива на різні відстані від поверхні Науково-дослідним інститутом механізації сільського господарства (Угорщина) був розроблений брудер з ІЧ-лампами. Брудер складається з чотирьох ламп потужністю по 250 Вт, він виготовляється з парасолькою і без парасольки. Температурний режим регулюється зміною висоти підвісубрудера.

Для ІЧ-обігріву молодняку на базі ТЭН розроблено два типи опромінювачів: ОКБ-3296 і ОКБ-1376А.

Опромінювач ОКБ-3296 складається з трьох основних елементів: джерела ІЧ-випромінювання, відбивача і струмовідводів. В якості ІЧ-опромінювача застосовано трубчатий нагрівач потужністю 500 Вт. Параболічний відбивач виготовлений із сталі і покритий емаллю як з внутрішньої, так і з зовнішньої поверхні. Нагрівач (ТЕН) поміщений в площину відбивача і знизу закритий сіткою. На корпусі відбивача встановлено вимикач. Для підключення до мережі опромінювач забезпечений штепсельним роз'ємом. Опромінювач був випущений малою серією.

Опромінювач ОКБ-1376А (рис. 9) представляє собою стальний кожух з закріпленими у верхній його частині трьома ТЕНами.



Рис. 9 – Інфрачервоний опромінювач типу ОКБ-1376А

Стінки кожуха подвійні, простір між ними заповнений теплоізоляційною масою. Кожен ТЕН потужністю $0,4 \text{ кВт}$ має свій вимикач, який розміщений на захисному кожусі, що робить можливим ступеневе включення опромінювача - на $0,4$; $0,8$; $1,2 \text{ кВт}$. Напруга на ТЕН подається через клемник, який розміщений під захисним кожухом. Знизу на опромінювачі передбачена захисна сітка. Для місцевого обігріву молодняку птиці широко застосовуються підвісні електричні брудери БП-1, БП-1А. Електробрудер БП-1 призначений для обігріву $500-600$ курчат при утриманні їх на підлозі.

Брудер (рис. 10, а) представляє собою конструкцію у вигляді порожнистої шестигранної усіченої металевої піраміди 7, забезпеченою упорами 8 змінної висоти для встановлення на підлозі і тросовою підвіскою 4 для кріплення брудера до стелі приміщення. Під зонтом брудера змонтовані чотири «темних» випромінювача - ТЕНа потужністю 250 Вт кожен. Електрична принципова схема брудера БП-1 показана на рис. 11, б). Опромінювачі R1-R4 зібрані в схему рівно плечового мосту, в діагональ якого включена сигнальна лампа HL2, яка запалюється при перегорянні одного з ТЕНів.

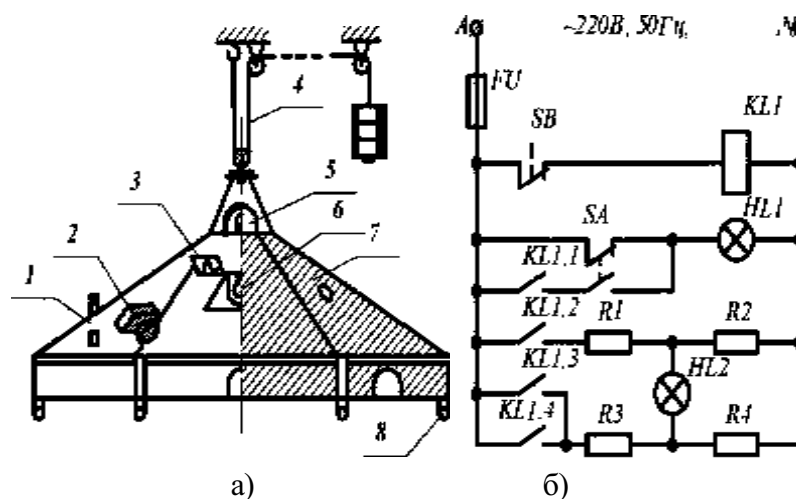


Рис. 11 – Брудер БП-1: а) Загальний вигляд; б) Принципова електрична схема брудера БП-1: 1 – контрольний термометр; 2 – терморегулятор; 3 – ІЧ-опромінювач; 4 – тросова підвіска з протидіями; 5 – сигнальна лампа перегорання ТЕНів; 6 – лампа освітлення; 7 – корпус; 8 – упори.

Температура під парасолькою брудера підтримується на заданому рівні з точністю до $2-3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температурним реле на базі сильфону з легко випарною рідиною. При підвищенні температури рідина в сильфоні випаровується, обсяг сильфону збільшується, і останній, впливаючи на мікрореле, вимикає опромінювачі. При зниженні температури відбувається зворотній процес, в результаті якого включаються опромінювачі. Під парасолькою брудера встановлена лампа освітлення HL1, яка під час встановлення температурного режиму може включатися перемикачем SB паралельно ТЕНам і використовуватися як лампа сигналізації включення і відключення ІЧ-випромінювача. Огорожа брудера забезпечена вікнами для вентиляції під парасолькового простору. Потужність брудера БП-1 - 1 кВт .

12.3 Методика розрахунку і вибору установок інфрачервоного випромінювання

В основу розрахунків установок локалізованого ІЧ-опромінювання молодняка покладено точковий метод, використання якого обумовлено необхідністю врахування нерівномірності розподілу опромінювання. Потрібну рівномірність опромінювання встановлюють залежно від допустимих зоотехнічних вимог відхилень температури від номінальної.

Завдання розрахунку полягає у визначенні висоти підвісу опромінювачів і коригуванні напруги, що підводиться до них відповідно до заданих значень ІЧ опромінюваності, а також у забезпеченні в зоні обігріву рівномірного опромінювання.

Такий підхід до розрахунку ІЧ опромінювальних установок відповідає вимогам мінімізації енерговитрат в процесі локалізованого обігріву молодняка тварин і птиці. На рис. 12 наведена крива $E(r)$ розподілу опромінюваності на горизонтальній поверхні під опромінювачем.

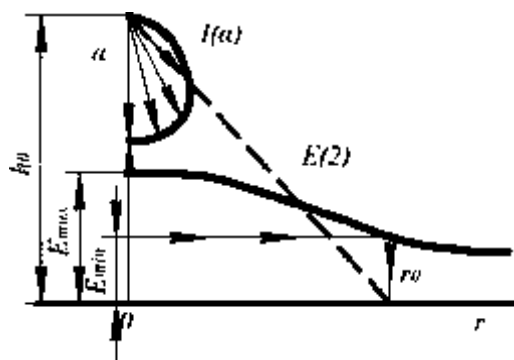


Рис. 12 – Розподіл ІЧ опромінюваності на горизонтальній поверхні під опромінювачем

Нерівномірність ІЧ опромінювання не повинно виходити за межі:

$$Z = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}$$

Така зона обігріву являє собою в плані коло радіусом r . За його межами опромінюваність нижче допустимої - $E < E_{\min}$. Щоб виключити непродуктивні витрати енергії, необхідно площу зони опромінювання 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 опромінювання, м; n_m – число тварин або птиці в зоні локалізованого опромінювання; S_m – площа, займана однією твариною в зоні обігріву, m^2 .

Радіус зони опромінювання з допустимою нерівномірністю прямо пропорційний 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_{mp} :

$$E_{mp} = n_{\lambda} E_{\lambda.p.}$$

де n_{λ} - число ламп в опромінювачі; $E_{\lambda.p.}$ - опроміненість, Bm/m^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, Bm/m^2 , в зоні обігріву:

$$E_{\lambda.p.} = E_{\lambda.n.} \left(\frac{U_p}{U_n} \right)^2$$

де $E_{\lambda.n.}$ - опроміненість, створювано однією лампою при розрахунковій висоті h_p і номінальній напрузі живлення, Bm/m^2 ; U_p - напруга, що підводиться, B .

Визначення необхідної кількості ламп і розрахункову напругу на установці. Розрахункове число $n_{\lambda.p.}$ ламп знаходять при номінальній напрузі на установці $U_p = U_n$:

$$n_{\lambda.p.} = \frac{E_{m.p.}}{E_{\lambda.n.}}$$

Фактично прийняте число ламп в опромінювачі повинно бути цілим і більше розрахункового ($n_{\lambda} \geq n_{\lambda.p.}$).

Розрахункову напругу на опромінювачі визначають за формулою при прийнятому числі n_{λ} ламп в опромінювачі:

$$U_p = U_n \sqrt{\frac{E_{m.p.}}{E_{\lambda.p.} \cdot n_{\lambda}}} = U_n \sqrt{\frac{n_{\lambda.p.}}{n_{\lambda}}}$$

В якості необхідної опроміненості може бути прийняте будь-яке її значення в межах зони обігріву $E_{max} \geq E_{tr} \geq E_{min}$. Однак зручніше скористатися E_{min} або E_{max} , значення яких вже відомі. Приймавши максимальні значення, отримаємо:

$$E_{mp} = K_m (t_{n.max} - t_n)$$

де $t_{n.max}$ - максимальна рекомендована температура в зоні локалізованого обігріву, $^{\circ}C$.

Опроміненість $E_{\lambda.n}$ при номінальній напрузі можна визначити, використовуючи відоме співвідношення висоти розташування опромінювача і опроміненості під ним:

$$E_{\lambda.n} = E_{\lambda.max} = E_{0max} \frac{h_0^2}{h_p^2}$$

де E_{0max} - реперне значення максимальної опроміненості в зоні обігріву, яке відповідає реперній висоті h_0 розташування опромінювача, Bm/m^2 .

Правильна експлуатація інфрачервоних опромінювальних установок, що

забезпечує максимальне збереження і продуктивності молодняка тварин і птиці, передбачає систематичний контроль теплового 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 молодняка 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 №13. АВТОМАТИЗОВАНІ УСТАНОВКИ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОБІГРІВУ І УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ОПРОМІНЕННЯ МОЛОДНЯКА ТВАРИН І ПТИЦІ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти з автоматизованими установками інфрачервоного обігріву і ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці.

План лекції

1. Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення.
2. Опромінювальні установки ИКУФ-1 і ИКУФ-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.

13.1. Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення

В установках забезпечення оптимального температурного режиму утримання молодняка тварин і птиці широко використовується інфрачервоний обігрів. Однак він найбільш ефективний у поєднанні зодночасним ультрафіолетовим опроміненням.

Спільна дія інфрачервоних і ультрафіолетових променів надає найбільш сумарний біологічний вплив на тварин і птицю, недосяжне при роздільному ультрафіолетовому

опроміненні або інфрачервоному обігріві. Наприклад, при використанні одночасного інфрачервоного нагріву і ультрафіолетового опромінення в телятниках і свинарниках на 15-20 % збільшується приріст маси молодняка і на 10-15 % - збереження.

Для одночасного інфрачервоного і ультрафіолетового опромінення молодняка сільськогосподарських тварин і птиці розроблені і серійно випускаються промисловістю стаціонарні автоматизовані установки ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч» і «СОЖ»-1 (табл. 1.).

Таблиця №1.

«Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення»

Тип установки	Тип джерела	Габарити, мм	Маса, кг
ИКУФ-1	ИКЗК-220-230-250×2, ЛЭ-15×1 (ЛЭО-15)	880×210×270	7,0
ИКУФ-1М	ИКЗК-220-230-250×2, ЛЭ-15×1 (ЛЭО-15)	800×200×300	6,5
«Луч»	ИКЗК-220-230-250×2, ЛЭ-15×1 (ЛЭО-15)	520×400×250	5,9
«СОЖ»	ИКЗК-220-230-250×2, ДРТ-100, ДРТ-2-100	800×210×240	5,6

Вказані установки призначені для місцевого обігрівання поросят- сосунів до 45-60 - денного віку, телят до 45-120-денного, ягнят до 60- денного, молодняка птиці (курчат, індичат, каченят, гусенят) - до 20-30 - денного віку та їх ультрафіолетового опромінення протягом усього часу утримання. Установки складаються з блоку програмного управління і 20, 40, 60 або 80 опромінювачів. Кожен опромінювач містить дві інфрачервоні лампи ИКЗК 220-250 і одну ультрафіолетову (вітальну ЛЭ15 або вітально-освітлювальну ЛЭО15).

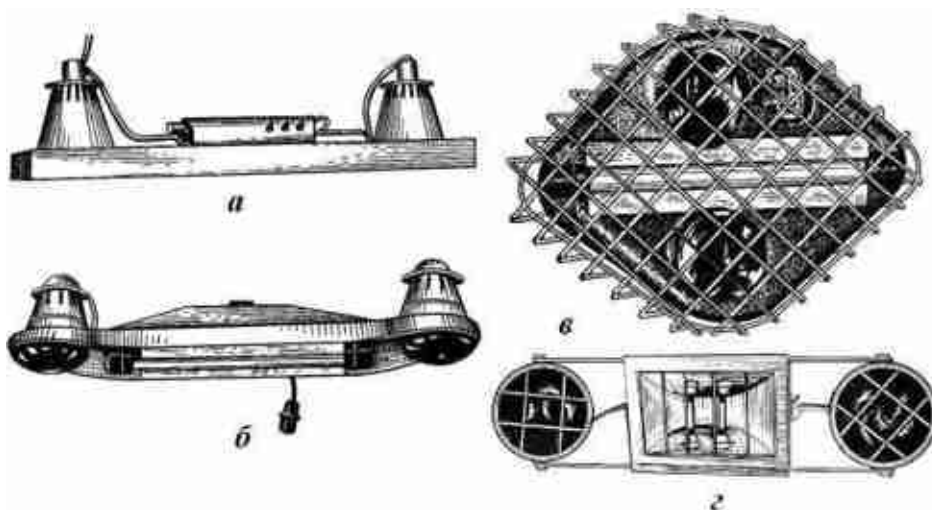


Рис. 1 – Загальний вигляд опромінювачів автоматизованих установок інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення молодняка тварин та птиці:
а) ИКУФ-1; б) ИКУФ-1М; в) «Луч»; г) СОЖ-1

13.2. Опромінювальні установки ИКУФ-1 і ИКУФ-1М

Опромінювальні установки ИКУФ-1 і ИКУФ-1М (рис. 1 а, б) незначно відрізняються по конструктивному виконанню. Вони складаються із жорсткої металевої коробки, на обох кінцях якої розміщені інфрачервоні лампи ИКЗК220-250, а між ними - ультрафіолетова лампа ЛЭ15 (ЛЭ015) з відбивачем. Пускорегулюючий пристрій ультрафіолетової лампи встановлено зверху на опромінювачі та закрито кожухом (рис. 2.). Знизу опромінювач закритий решіткою. За допомогою трипровідного шнура і штепсельного роз'єму він підключається до мережі. Підвішують опромінювачі над зоною відпочинку молодняку на тросі або підвісках із сталевого дроту за спеціальні дужки.

Відмінність опромінювачів установок ИКУФ-1 і ИКУФ-1М в основному в тому, що використання герметичних патронів і тримачів стартера, а також застосування резинових сальникових ущільнень робить конструкцію опромінювачів установки ИКУФ-1М пилевологозахищеною, на них відсутні перемикачі, які призначені для індивідуального управління інфрачервоним обігрівом і ультрафіолетовим опроміненням молодняку.

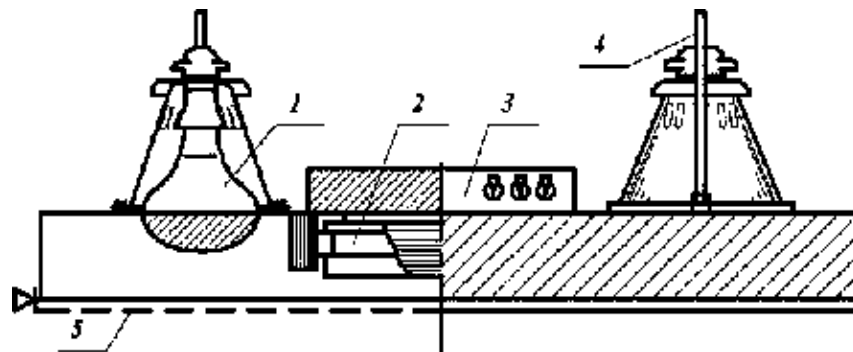


Рис. 2. – Конструкція опромінювальної установки ИКУФ-1: 1 – ІЧ-лампа; 2 – вітальна лампа; 3 – кожух ПРА з перемикачами; 4 – підвіска; 5 – захисні решітки

Схема управління роботою установки ИКУФ-1 передбачає два режими роботи: автоматичний і ручний. (рис. 3).

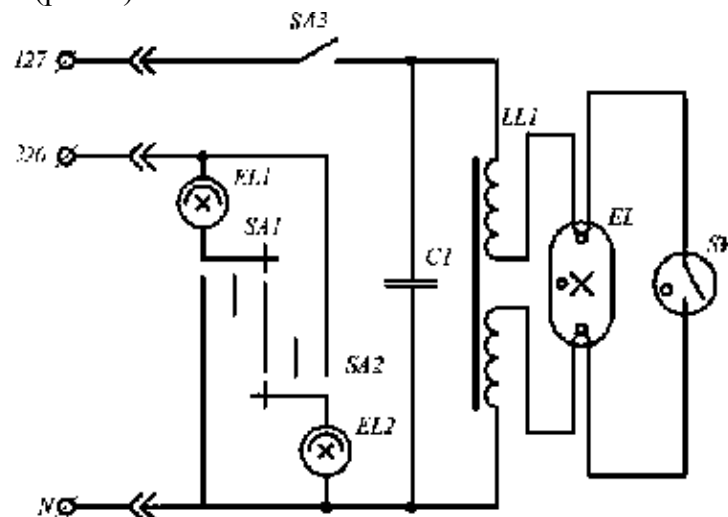


Рис. 3 – Електрична принципова схема випромінювача ИКУФ-1

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 ИКЗК220-250 і одна вітальна лампа ЛЭ15 (ЛЭ015) з відбивачем (рис. 1,в).

На опромінювачі під захисним кожухом розташована пускорегулююча апаратура ультрафіолетової лампи. Знизу опромінювач закритий металевою 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.

13.3. Конструкція опромінювача установки «Луч»

Конструкція кріплення інфрачервоних ламп дозволяє встановлювати їх під кутом 45, 68 і 90 ° до обігрівальної поверхні, що дає можливість більш ефективно використовувати інфрачервоний потік і більш рівномірно його розподіляти по опромінювальній поверхні (рис. 4.). Для зміни температурного режиму по мірі зростання молодняка тварин або птиці в установці «Луч» використані регулятори напруги живлення інфрачервоних ламп. Для цієї мети може бути використаний найпростіший тиристорний регулятор напруги (рис. 5). Для живлення вітальних ламп передбачається спеціальний понижуючий трансформатор 220/127 В, аналогічний, який використовується в установці ИКУФ-1.

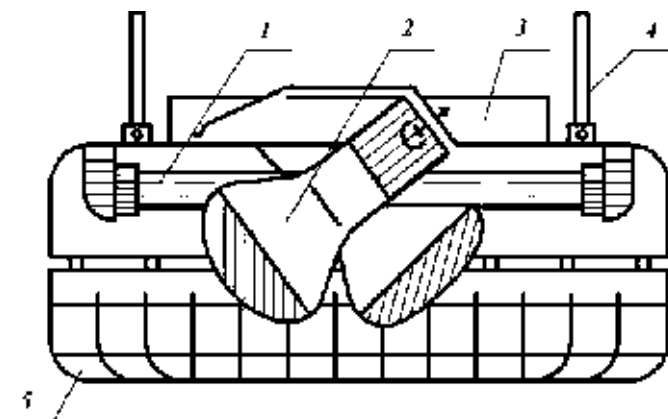


Рис. 4 – Конструкція опромінювача установки «Луч»: 1 – вітальна лампа; 2 – ІЧ-лампа; 3 – кожух ПРА; 4 – підвіска; 5 – захисна металева решітка

Подальше вдосконалення установок ИКУФ-1, ИКУФ-1М і «Луч», яке інтенсивно проводиться останнім часом, спрямоване на поліпшення їх експлуатаційних якостей, відпрацювання найбільш доцільних робочих режимів і доопрацювання конструкції опромінювачів - доповнення опромінювачів високовольтними іонізаторами повітря, у тому числі з малопотужними вентиляторами, заміну ламп ЛЭ15 (ЛЭ015) на більш потужні, наприклад ЛЭ30 (ЛЭ030), або лампи типу ДВТ невеликої потужності, наприклад, ДРТ100, ДРТ2-100, ДРТ250 та ін, які живляться від мережі змінного струму

напругою 220 В і випромінюють ультрафіолетові промені всього діапазону (від 200 до 380 нм).

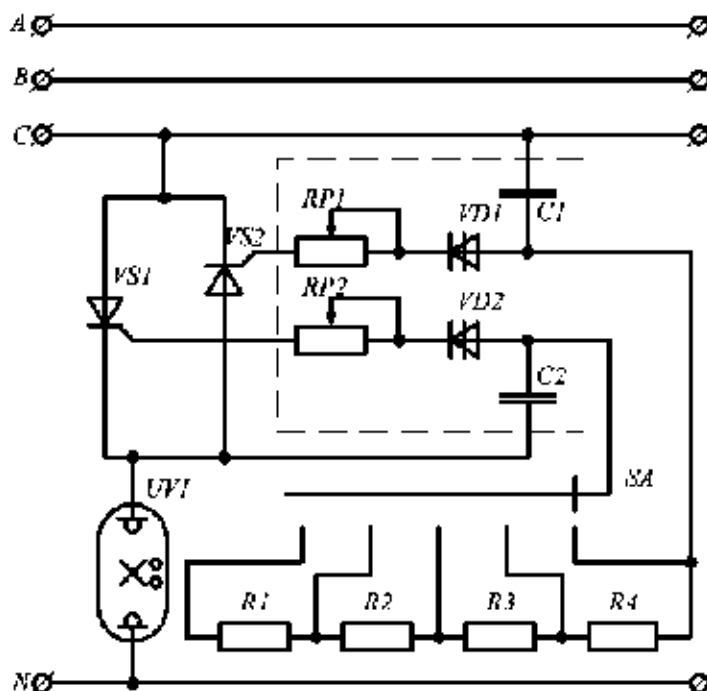


Рис. 5 – Тиристорний регулятор установок «Луч» і «СОЖ»(інші дві фази виконані аналогічно)

Установки інфрачервоного обігріву замість ламп комплектуються більш ефективними термовипромінювачами типу ЕІС-0 ,25-ІІ1 «Ірис». На основі нових ультрафіолетових ламп ДРТ100 і ДРТ2-100 в даний час розроблена і освоюється промисловістю установка типу СОЖ-1 (рис 2.47, г), яка призначена, як і установки ІКУФ і «Луч», для локального інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення молодняку сільськогосподарських тварин і птиці. Опромінювач установки СОЖ-1 має дві інфрачервоні лампи типу ІКЗК220-250, розміщені в конічному корпусі, бактерицидну лампу типу ДРТ100 для знезаражування повітря та місць утримання молодняку і вітальну лампу типу ДРТ2-100 (рис. 1). Корпуса з лампами ІКЗК220-250 можуть відхилятися від вертикального положення на кут до 30 °.

Заданий режим роботи установки СОЖ-1 автоматично підтримується програмним пристроєм, який разом з електромагнітними пускатями і комутуючою апаратурою розташовані в пульті управління. У схемах управління передбачено одночасне використання ламп ІКЗК220- 250 в якості баластних опорів ламп ДРТ100 і ДРТ2-100. Таке рішення дозволило відмовитися від баластних дроселів, знижувальних трансформаторів та деякої кількості компенсуючих конденсаторів, що в 2 рази знизило енергоємність і в 3 рази матеріаломісткість у порівнянні з установкою ІКУФ-1.

Для інфрачервоного обігріву та ультрафіолетового опромінення до 4000 підсосних кролят, які перебувають з самками, 120 свиноматок з поросятами або 120 телят, а також одночасного освітлення приміщення РІЕСГ розробив комбіновану установку ЭРИКО-1, яка складається з 125 інфрачервоних опромінювачів, 70 пилевологозахисних вітально-освітлювальних опромінювачів з лампами ЛЭ30-1 і ЛБ30, 10 світильників чергового освітлення і шафи управління. Для ультрафіолетового опромінення 200 корів, 12 тис.

курей-несучок або 25 тис. курчат при утриманні на підлозі і одноярусному клітковому утриманні, штучного освітлення 1600-1800 м² площі приміщення та одночасної дезінфекції повітря у пташниках і корівниках, також розроблено комбіновану установку ОЭРБА, що складається з 100 вітально-освітлювальних бактерицидних опромінювачів типу ОЭРБА 3×30 з лампами ЛЭ30-1, ЛБ30 і ДБ30-1, 10 світильників чергового освітлення і шафи керування. В установках ЭРИКО-1 і ОЭРБА лампи ЛЭ30-1 і ЛБ30 можна замінити вітально-освітлювальними лампами змішаного випромінювання типу ЛЭО30.

При експлуатації установок ультрафіолетового опромінення та інфрачервоного обігріву висота підвісу випромінювачів залежить від виду та віку тварин і птиці, а також температури повітря в приміщенні. Наприклад, при обігріві поросят установками ИКУФ-1 і ИКУФ-1М в приміщеннях за наявності системи загального обігріву один опромінювач, як правило, розміщують над двома суміжними станками, а за відсутності системи - по одному опромінювачу на кожен станок. Висота підвісу опромінювачів над підлогою при обігріві поросят у віці 1-20 діб і температурі повітря в приміщенні 12-14°C становить 0,5-0,6 м, при 16-18°C - 0,6-0,7 м, а при 20°C - 0,7-0,8 м; у віці 20-25 діб і температурі повітря в приміщенні 8-10°C - 0,7 м, 12-14°C - 0,8 м; 16-18°C - 0,9 м, 20°C - 1,0 м. При цьому режим інфрачервоного обігріву рекомендується наступний: у перші 3 дні інфрачервоні лампи включені постійно; з 3-го до 10-го дня - 45 хв. обігріву і 15 хв. паузи; з 10-го до 45-го дня - по 30 хв. обігріву і паузи.

При розміщенні телят в клітках один випромінювач установки використовують для обігріву двох суміжних кліток, а при груповому утриманні обладнують обігрівальним майданчиком з розрахунку один опромінювач на 4 м² площі. Рекомендований режим обігріву телят - переривистий з вимиканням на 30 хв. після кожних 1-1,5 год. роботи. Допускається також безперервний обігрів телят з тригодинними перервами під час годування - вранці, вдень і ввечері.

Висота підвісу опромінювачів над підлогою при обігріві телят у віці 1-45 діб і температурі повітря в приміщенні 5-6°C становить 1,2 м, 7-8°C - 1,3 м, 9-10°C - 1,4 м, 11...13°C - 1,5 м, а у віці 45-120 діб і температурі повітря в приміщенні 5-6°C - 1,4 м, 7-8°C - 1,5 м, 9-10°C - 1,6 м, 11-13°C - 1,7 м. У перші два-три дні життя, коли телята більше лежать, висота підвісу випромінювачів повинна бути зменшена на 0,4-0,5 м.

У кошарах приміщення для проведення ягніння обладнують опромінювачами з розрахунку 25 Вт встановленої потужності на одну матку з приплодом, а при штучному вирощуванні ягнят - з розрахунку 250 Вт на 10 ягнят. Ягнят обігрівають до 15-20 - денного віку, а при температурі в кошарі нижче + 10°C - до 45-60 - денного віку. Перші три-чотири дні ягнят обігрівають в режимі 3 год. обігрів, 45 хв. пауза. Паузи доцільно поєднувати з часом годування. У наступні дні - 1 год. обігріву і 30 хв. пауза. Висота підвісу опромінювачів над підлогою при обігріві ягнят у віці 1-20 діб і температурі повітря в приміщенні - 5°C становить 0,8 м, 0°C - 0,9 м, 5°C - 1,0 м, 10°C - 1,1 м, а у віці 21-60 діб і температурі повітря в приміщенні - 5°C - 1,1 м, 0°C - 1,2 м, 5°C - 1,3 м. При використанні установки ИКУФ-1 висота підвісу опромінювачів може залишатися незмінною, а зі збільшенням віку ягнят інфрачервоні лампи вимикачами опромінювачів перемикаються з паралельного з'єднання на послідовне.

При обігріві молодняка птиці найбільш доцільно використовувати низькотемпературні керамічні плоскі інфрачервоні опромінювачі з параболоїдним відбивачем ЕІС-0,25-ІІ «Ірис», а при їх відсутності, тільки лампи ІКЗС і ІКЗК.

Інфрачервоний обігрів молодняку птиці у віці 1-30 діб застосовують при утриманні птиці на підлозі, в одноярусних клітинних батареях і в багатоярусних зі «стартовим» ярусом. Одним джерелом інфрачервоного випромінювання потужністю 250 Вт можна обігріти 100-120 курчат, 60-80 індичат, гусенят або каченят першого віку. Режим обігріву, як правило, безперервний, хоча до 20-30 - денного віку доцільно влаштовувати 15-хвилинні паузи після 45-105 хв. спостерігати за поведінкою і фізіологічним станом птиці. При появі симптомів перегріву слід опромінювачі підняти вище або зменшити напругу.

При експлуатації установки «Луч» кут нахилу інфрачервоних ламп висота підвісу опромінювачів залишається незмінними. Залежно від температури повітря в приміщенні, віку та виду тварин та птиці змінюють потужність інфрачервоних ламп за допомогою тиристорного регулятора напруги. У випромінювачів доцільно встановити кути нахилу ламп інфрачервоного обігріву 45 ° або 68 °, так як в цьому випадку розподіл інфрачервоного опромінення по поверхні обігрівання більш рівномірний, ніж при нахилі під кутом 90°, збільшується зона корисної дії опромінювача і зростає ККД установки.

Тривалість ультрафіолетового опромінення молодняка тварин і птиці протягом доби залежить від висоти підвісу опромінювачів установок ИКУФ-1, ИКУФ-1М і «Луч» і визначається розрахунком за формулами:

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{ср}}}$$

де H_{Σ} – рекомендована добова вітальна експозиція опромінення, $\text{мвит} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^{-2}$; $E_{\text{ср}}$ – середня віта опроміненість об'єкту, $\text{мвит} \cdot \text{м}^{-2}$.

$$t = \frac{H_{\Sigma}}{E_{\text{ср}} K_a}$$

де $K_a = 1,2 \dots 1,4$ – коефіцієнт, який враховує вплив арматури на перерозподіл променевого потоку в необхідному напрямі.

При використанні ламп ЛЭО15 значення максимальної вітальної опроміненості слід зменшити в 3 рази. Для поросят-сосунів добовий тривалість опромінення при висоті підвісу опромінювачів 0,6 м складає 80 хв., 0,7 м - 100 хв., 0,8 м - 120 хв., для поросят, відповідно, 120, 150 і 180 хв. При ультрафіолетовому опроміненні телят і висоті підвісу опромінювачів установок ИКУФ-1, ИКУФ-1М і «Луч» 1,2 м над підлогою тривалість опромінення становить 2 год., 1,2 м - 4 год., 1,4 м - 5 год. і 1,5 м - 6 год. на добу. При лампах ЛЭО15 вказану добову тривалість ультрафіолетового опромінення необхідно збільшити в 3 рази.

Слід пам'ятати, що тварин та птицю до ультрафіолетового опромінення треба привчати поступово. Наприклад, при опроміненні поросят лампи ЛЭ15 в перший день включають на 20 хв., в другий - на 40 хв., в третій - на 60 хв., а з 3-го до 45-го дня - поступово доводять до норми (3 рази по 40 хв. щодня у денний час).

Питання для самоконтролю

1. Технічні характеристики установок ІЧ- і УФ- опромінення.
2. Опромінювальні установки ИКУФ-1 і ИКУФ-1М.
3. Конструкція опромінювача установки «Луч».

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 №14. УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ ПРИМІЩЕНЬ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти методами та заходами управління освітленням.

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.

14.1. Методи управління освітленням

Правильно вибрана і здійснена система управління освітлювальними мережами призводить до більше організованого використання освітлювальної установки (ОУ), що покращує умови освітлення і тим самим призводить до підвищення продуктивності праці, зниження браку вироблюваної продукції і зменшення виробничого травматизму.

Управління освітлювальними мережами – складне технічне завдання, від рішення якого багато в чому залежать умови експлуатації ОУ, здійснення керування освітленням, а також створення передумов для раціонального витрачання електроенергії.

Раціональна система управління освітленням дозволяє істотно понизити витрат електроенергії на освітлення і здійснює включення або відключення освітлювальних приладів за наступних умов:

- залежно від рівня природної освітленості приміщень (наприклад, по сигналах фотореле);
- по досягненню певного часу доби (наприклад, по сигналах таймерів);
- при натисненні людиною кнопок управління (наприклад, входячи в під'їзд, людина натискає кнопку, яка дає сигнал на включення освітлення;
- відключення освітлення здійснюється автоматично через заданий інтервал часу);

– при появі сигналів від датчиків присутності.

Управління освітленням залежно від місця розташування пунктів управління може бути **місцевим** або **дистанційним**.

При місцевій системі управління включення і виключення освітлення робляться комутаційними апаратами (вимикачами, рубильниками або автоматами), встановленими в кожному з освітлюваних приміщень або на кожній з освітлюваних ділянок відкритої території.

При централізованій дистанційній системі управління усе управління освітленням зосереджене в одному або декількох місцях, наприклад на центральному диспетчерському пункті (ЦДП). Централізоване дистанційне керування ділиться на дві системи управління. Якщо на освітлюваному об'єкті уся ОУ живиться від розподільного щита окремими лініями, то можливо централізовано управляти з пунктів живлення (ПП) усім освітленням об'єкта безпосередньо комутаційними апаратами, що встановлені на цих лініях. Така схема живлення освітлювальних мереж зустрічається зазвичай тільки на невеликих промислових об'єктах і в різних адміністративних, учбових, лікувальних і інших аналогічних будівлях. На великих об'єктах ОУ живиться окремими лініями від розподільних пристроїв різних підстанцій. В цьому випадку для можливості здійснення централізованого дистанційного керування на кожній з освітлювальних ліній встановлюються блоки або ящики управління, дистанційне керування якими зосереджується в одному або декількох пунктах управління (наприклад, ЦДП). Так само як і при системі місцевого управління, комутаційні апарати централізованого дистанційного керування можуть включатися і відключатися вручну або за допомогою автоматів.

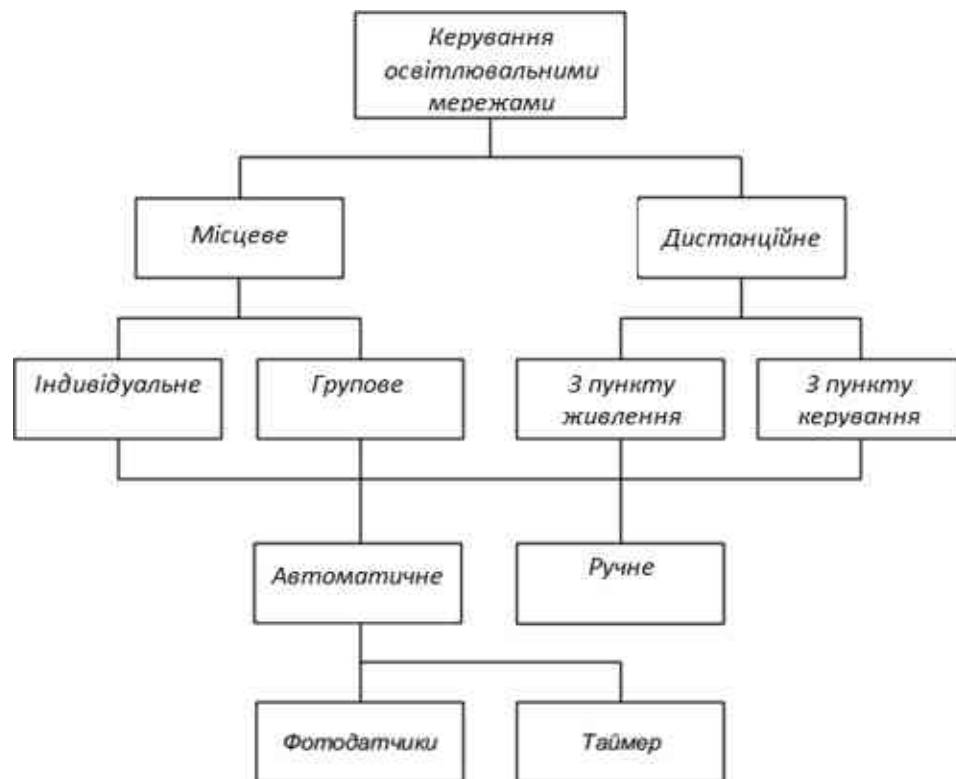


Рис. 1 – Управління мережами освітлення

Таким чином, можливе управління: **місцеве індивідуальне і групове; централізоване дистанційне** з розподільного щита пунктів живлення (ПП) – за допомогою комутаційних апаратів, встановлених на освітлювальних лініях, що відходять, і централізоване дистанційне з пунктів управління (ПУ) – за допомогою проміжних пристроїв управління (або пристроїв, що керують струмом певної напруги контакторів або магнітних пускачів). На рисунку 1 схематично наведено можливі варіанти управління мережами освітлення.

При місцевому груповому управлінні кожним комутаційним апаратом управляється не один, а група світильників або прожекторів. Таким чином, залежно від способу управління за допомогою місцевих комутаційних апаратів управління може бути **ручним або автоматичним**. При ручному управлінні включення і виключення освітлення робляться, коли це необхідно, безпосередньо обслуговуючим персоналом.

14.2. Основні засоби управління освітленням

Включення і виключення окремих світильників або груп світильників робляться вимикачами, автоматами або рубильниками. При дистанційному керуванні освітленням застосовуються додатково магнітні пускачі або контактори, автомати і реле, різноманітні блоки управління. Для контролю за виконанням команд з пунктів управління встановлюються сигнальні лампи. Мережі управління виконуються кабелями і дротами.

Вимикачі і перемикачі. Залежно від роду захисту від дії довкілля вимикачі і перемикачі виготовляються у відкритому, захищеному і герметичному (пиле-вологозахищеному) виконаннях. Вимикачі і перемикачі у відкритому виконанні застосовуються при установці на панелях щитів, в закритих розподільних пристроях (шафах, щитках, ящиках); у захищеному виконанні – на стінах, колонах і інших будівельних конструкціях приміщень з нормальними умовами середовища; у герметичному виконанні – в приміщеннях сирих, запорошених і з хімічно активним середовищем. Конструктивно вони розрізняються за способом монтажу (заднє або переднє приєднання відповідних дротів), величиною допустимих струмів і напруги, числом полюсів, схемою комутації і т. д. Для управління освітленням випускаються найрізноманітніші типи вимикачів і перемикачів. У групових мережах і струмах до 6 А і напрузі до 250 В застосовуються вимикачі і перемикачі – кнопкові, з поворотною ручкою або з перекидним руків'ям.

Рубильники і перемикачі вертикально встановлюються на панелях різних розподільних пристроїв і служать для неавтоматичних включень і виключень електричних ланцюгів. Аналогічно вимикачам вони розрізняються за способом монтажу (з переднім або заднім підключенням дротів або кабелів), за величиною допустимого струму і напруги, числом полюсів (одно-, дво- й триполюсні). Конструктивно вони випускаються з центральним або бічним руків'ям, центральним або бічним важільним приводом. Рубильники і перемикачі з центральним руків'ям можуть служити тільки в якості роз'єднувача, тобто відключати заздалегідь знеструмлені електричні ланцюги, а з бічним руків'ям і важільними приводами – комутувати електричні ланцюги під навантаженням, що вимагається в освітлювальних мережах.

Контактори і магнітні пускачі. Контактори виготовляються у відкритому виконанні. Магнітні пускачі випускаються у відкритому (без кожуха), захищеному, пиле-вологозахищеному і вибухозахищеному виконаннях. Найбільше застосування мають пускачі в захищеному виконанні (у кожусі), що встановлені в приміщеннях з нормальними умовами середовища. Пиле-вологозахищені пускачі випускаються з ретельно ущільненим зчленуванням корпусу і кришки і мають патрубки для введення дротів. Такі пускачі встановлюються в приміщеннях з підвищеною вологістю і запиленою і на відкритих ділянках території. Треба зауважити, що контактори та магнітні пускачі в окремому виконанні використовуються сьогодні здебільшого в існуючих системах керування, що не пройшли реконструкцію. В сучасних системах освітлення віддають перевагу блокам управління, в склад яких входять дані апарати.

Автоматичні вимикачі забезпечують захист освітлювальних мереж від перевантаження і струмів коротких замикань, а також служать для управління освітленням, т. е. поєднують в собі одночасно функції, як апаратів захисту, так і апаратів управління.

При установці автоматів в щитках величина струму спрацьовування теплових розчіплювачів зменшується на 10 %. Тому при необхідності забезпечити захист мережі, наприклад, на струм 20 А слід застосовувати автомати з розчіплювачами 25 А.

Реле застосовуються в ланцюгах дистанційного керування освітленням.

Блоки управління. В цілях полегшення і прискорення монтажу установок дистанційного керування, замість окремих апаратів (магнітних пускачів, перемикачів, запобіжників і реле) рекомендується застосування спеціальних блоків і шаф управління заводського виготовлення.

Освітлювальні щитки випускаються конструктивно дуже багатьох типів. Відмінність їх визначається:

- родом захисту від зовнішнього середовища;
- системою освітлювальної мережі, для якої вони призначаються;
- типами встановленої на них захисної і комутаційної апаратури;
- кількістю груп, що відходять.

По захисту від дії зовнішнього середовища щитки підрозділяються на відкриті, захищені, захищені з ущільненням, пиле-вологозахищені і вибухозахищені. Щитки випускаються або тільки з апаратами захисту, або з апаратами управління і апаратами захисту разом.

Освітлювальні щитки тільки з апаратами управління промисловістю не випускаються, і необхідності в таких щитках, як правило, немає. В якості апаратів управління в освітлювальних щитках застосовуються імпульсні реле, реле часу та інші. Як захисні апарати використовуються автомати, що виконують одночасно і функції апаратів управління. Окрім вказаної апаратури, щитки можуть мати ще додатково ввідні рубильники, вимикачі або автомати. Це дозволяє вимкнути щиток від магістральної живлячої мережі для проведення профілактичного і поточного ремонту або одночасного вимкнення або вмикання усіх світильників, підключених до усіх груп цього щитка. За способом установки розрізняються щитки навісного або втопленого виконання. Є також щитки у вигляді шаф, що вільно стоять.

Сигнальні лампи. Сигналізація стану освітлення може здійснюватися різною сигнальною апаратурою. Є п'ять варіантів виконання ламп, що відрізняються один від

одного тільки кольором світлофільтру (скляного ковпачка): опалового, зеленого, червоного, жовтого і синього.

14.3. Місцеве управління освітленням

Робиться вимикачами, розташованими безпосередньо в цих приміщеннях або у входів в них. Вимикачі встановлюються на фазних дротах.

У мережах освітлення вибухонебезпечних приміщень класу В-І застосовуються двополюсні вимикачі, що водночас вимикають фазні та нульові дроти. Двополюсні вимикачі використовуються також в мережах з ізолюваною нейтраллю, в приміщеннях з підвищеною безпекою і особливо небезпечних відносно поразки струмом. Вмикання та вимкнення невеликого числа світильників роблять одним вимикачем (рис. 2), але з міркувань економії електроенергії. Рационально за наявності в приміщенні декількох світильників (а іноді і одного багатолампового світильника) встановлювати два і більше вимикачів (рис. 3). Така схема управління використовується, наприклад, для багатолампових люстр, де потрібно забезпечити можливість включення усіх ламп повністю або по частинах.

На практиці при освітленні невеликих приміщень часто необхідно управляти рядами світильників, розташованими паралельно вікнам. В цьому випадку потрібно окремо управляти світильниками, що знаходяться у вікон, і світильниками, віддаленими від них.

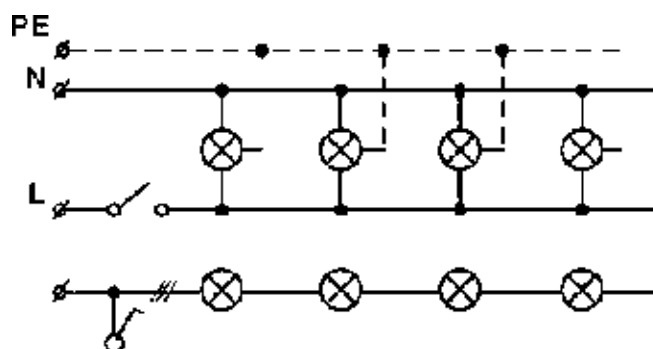


Рис. 2 – Схема включення ламп одним вимикачем

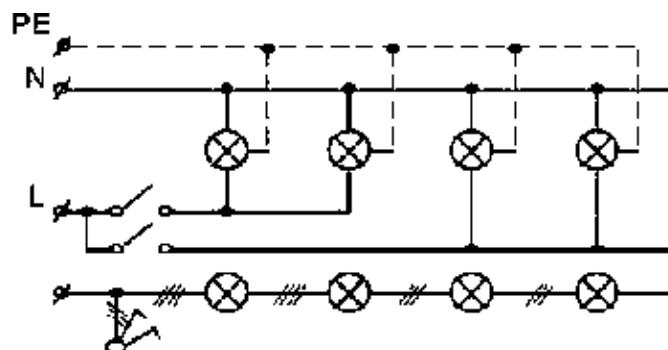


Рис. 3 – Схема включення ламп двома вимикачами

Може бути такий випадок, коли живлення мережі освітлення робиться з боку, протилежного до вимикачів. Тоді доводиться застосовувати чотирипровідну лінію (рис.

4). При необхідності підключення до мережі окрім ламп ще штепсельних розеток або інших електроприймачів, незалежних по управлінню, застосовується схема, представлена на рисунку 5.

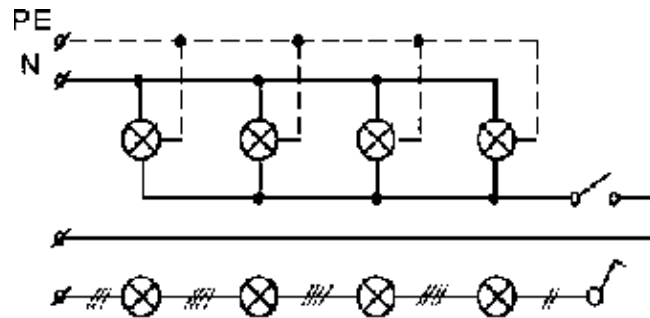


Рис. 4 – Схема включення ламп з боку, протилежного до пункту живлення

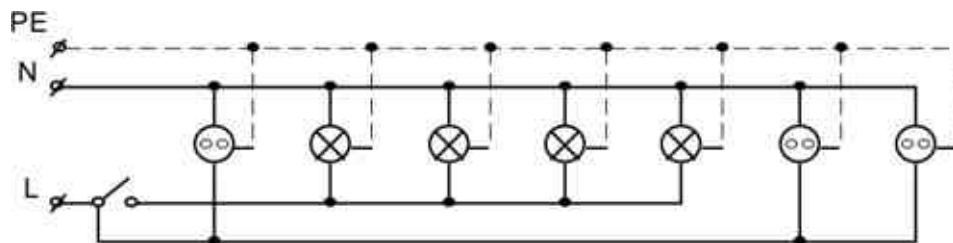


Рис. 5 – Схема включення ламп, підключених до групи, що проходить

Управління освітленням тунелів, різних галерей і коридорів повинно здійснюватися з різних їх кінців. Це дозволяє при вході, наприклад, в тунель з одного кінця включати освітлення, а при виході з іншого кінця відключати. У приміщеннях з двома виходами застосовують так звану **коридорну схему** управління з двох місць за допомогою перемикачів (рис. 6). Ця система забезпечує управління освітлення з кожного входу незалежно від положення перемикача в іншому кінці коридору.

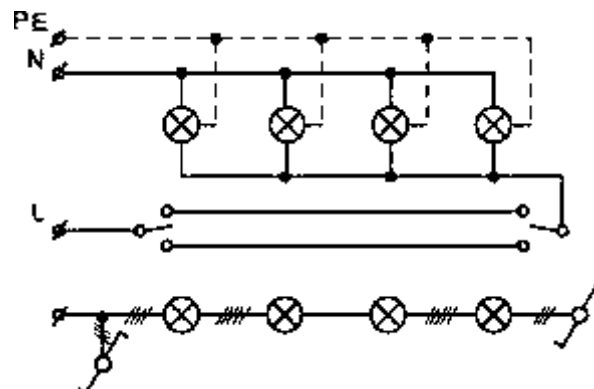


Рис. 6 – Коридорна схема управління освітленням

У великих цехах і в приміщеннях, де встановлюється велика кількість світильників, замість окремих вимикачів застосовуються групові щитки, укомплектовані апаратами захисту і управління.

Для забезпечення кращих умов експлуатації і якнайшвидшого визначення місць ушкодження при аваріях в дво- і трифазних мережах рекомендується передбачати пофазне відключення світильників. Тому часто при застосуванні дво- і трифазної систем живлення світильників встановлюються щитки не з дво- і трифазними апаратами, а з однофазними. Це дає можливість в певні періоди доби вимкнути частину світильників і перейти на «чергове» освітлення.

Дуже важливим питанням є вибір місця установки вимикачів або групових щитків. Місця їх установки мають бути легко доступні для обслуговування.

Установка щитка в приміщеннях, які можуть бути закритими (комори і т. п.), не допускається. Бажано для установки щитка вибрати такі місця, щоб особа, яка здійснює відключення або включення освітлення і знаходиться у щитка, бачила підключені до цього щитка світильники. Рекомендується, особливо у будівлях, де робота ведеться не цілодобово, щитки або вимикачі розташовувати поблизу основних входів. Щитки без вимикачів встановлюються на сходах і в коридорах. Розміщення щитків повинне забезпечувати зручну і коротку трасу живлячих і групових мереж і прийнятні перерізи дротів. Щитки і вимикачі встановлюються на висоті 1,5–1,8 м від підлоги. Вимикачі в окремих кімнатах розташовуються біля входних дверей з боку дверної ручки. У вибухонебезпечних і пожежонебезпечних приміщеннях, а також в усіх приміщеннях з важкими умовами середовища вимикачі встановлювати не рекомендується. У разі ж необхідності установки апаратів управління в таких приміщеннях вони мають бути виконані відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Освітлювальні установки пожежонебезпечних складських будівель, що окремо стоять, а також складських приміщень з цінними матеріалами, що згорають, повинні мати апарати загального відключення, розташовані поза приміщеннями (наприклад, зовні, біля входних дверей). Іноді за умовами виробничого процесу не вимагається відключати освітлення приміщення по частинах, т. е. освітлення завжди працює повністю і все одночасно в певний час вимикається. У таких випадках застосовують групові щитки тільки із захистом і без вимикачів, а до нього на живлячому кабелі встановлюється ввідний рубильник (чи вимикач) і їм робиться включення або виключення освітлення.

Світильники місцевого освітлення повинні управлятися індивідуальними вимикачами, що встановлюються у безпосередній близькості від робочого місця так, щоб робітник, не відходячи від свого місця, мав можливість включити або вимкнути світильник місцевого освітлення.

14.4. Системи управління освітленням

Автоматика — галузь науки і техніки, яка займається управлінням різними процесами і контролем їх протікання, здійснюваних без безпосередньої участі людини. Управління різними процесами без втручання людини називається **автоматичним управлінням**, а технічні засоби, за допомогою яких воно здійснюється, — **засобами автоматики**. Відповідно до виконуваних функцій усі елементи автоматичної системи діляться на три групи:

- вимірювальна;
- перетворююча;
- виконавча.

Вимірювальну групу складають різного роду датчики. Перетворюючу – підсилювальні пристрої, регулятори, цифрові і мікропроцесорні пристрої. Виконавчу – вимикачі, контактори, реле та ін.

Датчик – цей пристрій, що перетворює вхідну дію будь-якої фізичної величини в сигнал, зручний для подальшого використання (найчастіше в електричний сигнал). Таким чином, датчики перетворюють будь-яку величину в електричний сигнал, який зручно передавати, обробляти, виводити на дисплей і тому подібне.

Оптичні (фотоелектричні) датчики працюють або на основі внутрішнього фотоефекту - зміни опору при зміні освітленості, або виробляють фотоЕДС, пропорційну освітленості.

Розрізняють аналогові і дискретні оптичні датчики. У аналогових датчиків вихідний сигнал змінюється пропорційно зовнішній освітленості. Основна сфера застосування – автоматизовані системи управління освітленням. Датчики дискретного типу змінюють вихідний стан на протилежне значення при досягненні заданого значення освітленості.

Автоматизована система управління (АСУ) – комплекс апаратних і програмних засобів, призначений для управління різними процесами :

- автоматизовані системи управління (АСУ) – за участю людини в контурі управління;
- система автоматичного управління (САУ) – без участі людини в контурі управління.

Автоматизовані системи управління освітленням, призначені для використання в громадських будівлях, виконують наступні функції:

- точна підтримка штучної освітленості в приміщенні на заданому рівні. Досягається введенням в систему управління освітленням фотоелемента, який знаходиться усередині приміщення і контролює створювану ОУ освітленість;

- облік природної освітленості в приміщенні. Незважаючи на наявність у переважній більшості приміщень природного освітлення у світлий час доби, потужність освітлювальної установки розраховується без його урахування;

- облік часу доби і дня тижня. Додаткова економія енергії в освітленні може бути досягнута відключенням ОУ в певні години доби, а також у вихідні і святкові дні. Цей захід дозволяє ефективно боротися із забудькуватістю людей, які не відключають освітлення на робочих місцях перед тим як залишити робоче приміщення. Для її реалізації автоматизована система управління освітленням має бути обладнана власним годинником реального часу;

- облік присутності людей в приміщенні. При устаткуванні системи управління освітленням датчиком присутності можна включати і відключати світильники залежно від того чи є люди в цьому приміщенні;

- дистанційне безпроводне керування освітлювальною установкою. Хоча така функція не є автоматизованою, вона часто є присутньою в автоматизованих системах управління освітленням завдяки тому, що її реалізація на базі електроніки системи

управління освітленням дуже проста, а сама функція додає значну зручність в управлінні освітлювальною установкою.

Система управління освітленням є установкою необхідного устаткування, робота якого дозволяє зробити освітлення максимально економним і ефективним.

Добитися якнайповнішого і точнішого обліку кількості денного світла, так само як і обліку присутності людей в приміщенні, можна, застосовуючи **системи автоматичного управління освітленням (САУ)**.

14.5. Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням

Залежно від основної мети, завдання управління САУ класифікуються таким чином:

- системи стабілізації;
- система програмного управління;
- системи, що стежать.

У системах стабілізації робочий параметр об'єкту (регульована величина) підтримується постійним в часі при постійному завданні. Наприклад, для стабілізації робочих характеристик світлодіода необхідно підтримувати постійну величину струму того, що протікає через нього. У системах програмного управління робочий параметр об'єкту змінюється в часі за заздалегідь *відомим* законом, відповідно до якого змінюється завдання. У системах, що стежать робочий параметр об'єкту змінюється в часі за заздалегідь *невідомим* законом, який визначається якимсь зовнішнім незалежним процесом.

Залежно від кількості регульованих величин системи можуть бути одновимірними (одна регульована величина) або багатовимірними (декілька регульованих величин). САУ умовно можна розділити на два основні класи: **локальні і централізовані**. Для *локальних* систем характерне управління тільки однією групою світильників, тоді як *централізовані* системи допускають підключення практично нескінченного числа окремо керованих груп світильників.

У свою чергу, по охоплюваній сфері управління *локальні* системи можуть бути розділені на «системи управління світильниками» і «системи управління освітленням приміщень», а *централізовані* – на спеціалізовані (лише для управління освітленням) і загального призначення (для управління усіма інженерними системами будівлі опалюванням, кондиціонуванням, пожежною і охоронною сигналізацією і так далі).

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 №14.1 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

Мета: ознайомити здобувачів вищої освіти методами та заходами управління освітленням.

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.

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. Системи аналогового і цифрового управління освітленням

Частенько користувачі стикаються з необхідністю регулювати яскравість освітлювальних приладів в досить широких межах. Для виконання цього завдання створені численні системи управління, як **аналогові**, так і **цифрові**.

Для **аналогового управління освітленням** потрібний, окрім самого світильника, ще два органи управління :

- командний (КО) – той, що посилає команду на зміну режиму роботи ОУ;
- виконавчий (ВО) – той, що безпосередньо змінює режим роботи освітлювальної установки.

У ролі КО традиційно виступають: датчики присутності/руху, кнопкові і дистанційні вимикачі і регулятори рівня, таймери, датчики освітленості. В ролі ВО –присмеркові вимикачі, імпульсні реле, міні-контактори, регулятори інтенсивності світла, тобто димери. Іноді функції КО і ВО поєднані в єдиному пристрої, прикладом служить димер зі вбудованим регулятором рівня освітленості. Серед аналогових систем найбільше поширення отримав **метод управління постійною напругою в діапазоні 0 – 10 В**. В цьому випадку на входи, що управляють, подається напруга у вказаному інтервалі і залежно від нього встановлюється яскравість світлового приладу, причому нульовій напрузі відповідає мінімальна яскравість, а значенню +10 В – максимальна.

Принципова схема управління освітленням за аналоговим способом представлена на рисунку 1.

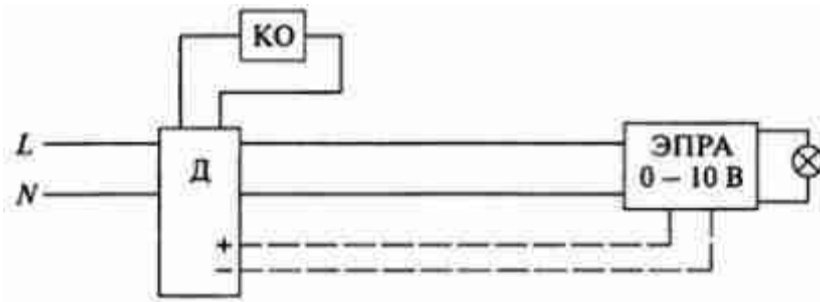


Рис. 1 – Схема управління світильником за аналоговою схемою

Живлення ЕПРА 0 – 10 В здійснюється через димер, але окрім цього від димера до нього підведена додаткова пара дротів, що управляють. Управління рівнем освітленості в діапазоні 100 – 5 % здійснюється самим ЕПРА за сигналом димера, а сам димер тільки відключає живлення при відповідному сигналі від КО.

При управлінні люмінесцентним світлом, як правило, сигнал, що управляє, подається безпосередньо на прилад і доводиться вирішувати проблему взаємодії цього сигналу з внутрішньою електронікою люмінесцентного приладу.

По-перше, встановлений на освітлювальному приладі ЕПРА, що забезпечує роботу ламп, повинен мати функцію управління аналоговою напругою 0 – 10 В. З цієї причини усі цифрові і інші аналогові сигнали, що управляють, 0 – 15 В, – 10 – 0 В і тому подібне повинні перетворюватися в аналоговий сигнал управління 0 – 10 В.

По-друге, ЕПРА посиляє в ланцюг, що управляє, невеликий струм – близько 1 мА. В деяких випадках струм в ланцюзі управління може досягати 5 мА (багатоламповий пристрій). Внаслідок цього з деякими пультами такі прилади можуть працювати некоректно. Тому може виявитися, що пульт добре працює з димерами для галогенних приладів, але не годиться для управління приладами люмінесцентного світла.

Поциклове управління прямим струмом світлодіода називається аналогове димірування, тобто підтримка струму світлодіода на постійному рівні. Аналогове димірування виконується або регулюванням резистора датчика струму, або зміною рівня постійної напруги, що подається на виведення драйвера світлодіодів.

Дослідження простих систем управління освітленням на основі аналогових датчиків показало, що подібні системи дозволяють досить ефективно понизити споживання електроенергії.

До недоліків аналогових систем можна віднести наявність на ринку систем управління освітленням в основному компонентів облаштувань управління, перемикачів, а не технічних рішень. Частенько згадані компоненти не забезпечують необхідної функціональності у складі систем. В першу чергу це стосується управління яскравістю освітлювальних приладів. Сюди ж слід віднести і ускладнення монтажу електропроводки, труднощі установки устаткування для управління денним освітленням. Ці обставини призводять до збоїв в роботі освітлювальних систем, скаргам споживачів. Останні 15 років усі системи управління освітленням були аналоговими. Облаштування хоч трохи складних систем відрізнялося один від одного трохи і було побудовано за класичною схемою автоматизації. Основою такої системи є, як правило, контролер, до якого з одного боку підключені різні датчики, а з іншою виконавчі механізми. Зв'язок між датчиками і

контролером найчастіше аналоговий, такий же зв'язок і між виконавчими пристроями і контролером.

Основним призначенням таких пристроїв є ефективне управління енергоспоживанням. Введення в експлуатацію і налаштування таких систем досить складне, і ще складніша, якщо в систему входить декілька таких аналогових контролерів управління освітленням.

15.2. Інтегровані цифрові системи управління освітленням

Для подолання вказаних недоліків і труднощів виробники освітлювальних систем запропонували виробництво цифрових систем управління освітленням. **Основна перевага** цифрових систем в порівнянні з аналоговими – це комунікація, зв'язок між окремими пристроями, об'єднаними в систему.

У цифрових системах для зв'язку не потрібно окремі дроти. Переважна більшість цифрових пристроїв можуть використати для передачі інформації силові кабелі.

Цифрові системи управління освітленням можна легко інтегрувати в інші системи автоматизації і управління. Таким чином, можна дуже гнучко і просто з одного місця керувати освітленням, кондиціонуванням, опалюванням, відеоспостереженням. Подібні рішення все більше і більше застосовуються в об'єктах розумного будинку і інтелектуальних офісів. Призначення інтегрованих систем управління освітленням – це, передусім збільшення енергоефективності, підвищення комфорту житла, поліпшення експлуатаційних характеристик виробничих будівель. Передові технології управління освітленням дають ще більшу економію, мають додаткові можливості і мають цілий ряд переваг в порівнянні з простими методами управління.

Система цифрового управління освітленням окрім самого джерела світла включає:

- контролер цифрової шини управління (КШ);
- цифрову шину управління (ШУ);
- командні органи (КО);
- виконавчі органи (ВО).

Існують також різні шлюзи, перехідні модулі для сполучення системи управління з іншими системами диспетчеризації або інформаційними системами, а також для взаємодії з апаратами, спочатку не розрахованими на роботу у складі цифрової системи управління освітленням.

Контролер цифрової шини (КШ) – електронний блок, що має пам'ять, засоби обміну даними з оператором-програмістом, модулями обробки сигналів від КО, модулями формування команд для ВО. Зазвичай встановлюється в щиті освітлення або управління освітленням, але зустрічаються КШ для відкритої установки.

Цифрова шина управління (ШУ) – фізичне середовище, призначене для обміну цифровими сигналами між КШ і КО, КШ і ВО, зазвичай є кабелем з мідними жилами невеликих перерізів. Застосовуються як силові, так і контрольні і сигнальні кабелі. У особливих випадках також використовується кабель типу «вита пара».

Командні органи – апарати, використовувані для вироблення команди на зміну режиму роботи ОУ, що підлягає управлінню. Спонуканням на вироблення команди може бути дія оператора (натиснення на кнопку вимикача або ІК-пульта, поворот регулятора, вибір пункту меню на сенсорній панелі) або зміна умов в навколишньому просторі (зміна

освітленості, поява в зоні видимості об'єкту, що рухається, і т. п). Командні органи зазвичай мають адресу (свій особистий або адреса групи).

Виконавчі органи – апарати, які по команді КШ передають дію, що управляє, безпосередньо ОУ для зміни режиму її роботи. Для світильників з газорозрядними лампами і світлодіодних модулів ВО поєднаний з ЕПРА. Для світильників з ГЛН низької напруги ВО поєднаний з електронним трансформатором, що живить лампу. Для світильників з лампами розжарювання або ГЛН на мережеву напругу ВО є регулятором напруги, виконаним у вигляді пенала поряд зі світильником або встановлений в щиті. Виконавчий орган, так само як і КО, має адресу на шині, присвоєну індивідуально або групі. Принципова схема управління освітленням по цифровій системі представлена на рисунку 2.

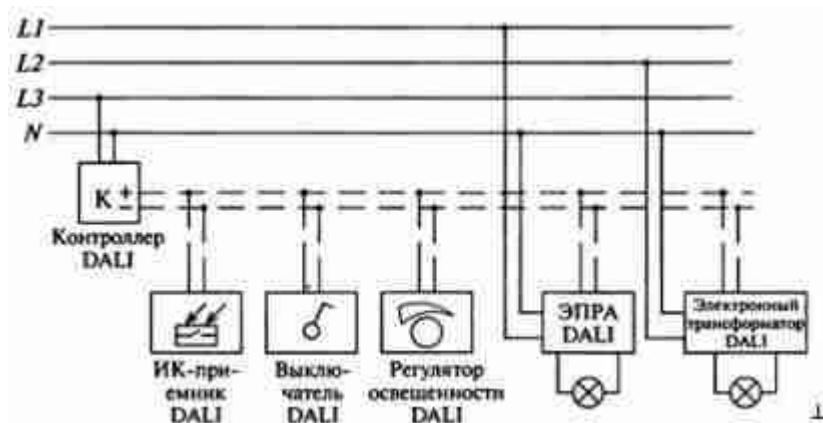


Рис. 2 – Управління освітленням за цифровою схемою

15.3. Переваги і недоліки цифрового управління освітленням

Необхідність власне управління освітленням не потребує доказу, в той же час не завжди потрібна побудова саме цифрової системи, бо ціна її нині досить висока в порівнянні з аналоговою. Тому розглянемо плюси і мінуси цифрових систем і можливі сфери їх застосування.

Достоїнства:

- простота організації – організація груп управління ніяк не впливає на організацію живлення світильників. Кількість світильників на фазу обмежується лише вимогами ПУЕ по максимальному числу ламп відповідної потужності;

- гнучкість структури – якщо потрібно, можна змінити логіку управління світильниками, число і склад груп усього лише зміною програми КШ. Перекладати які-небудь кабелі немає необхідності. Підключення КШ через шлюз до комп'ютера або іншого інтелектуального пристрою дозволяє мати практично необмежену кількість світлових сценаріїв і частоту їх зміни;

- розширюваність – можливість управління безліччю дрібних груп світильників, до однієї штуки в групі, без істотного ускладнення структури;

- простота монтажу – підключення нових пристроїв не супроводжується додатковими операціями, окрім установки самих пристроїв, підключення до шини і зміни програми КШ;

–уніфікація – всі КО і ВО підключаються за єдиним принципом, сумісні з компонентами інших виробників для того ж протоколу;

–безпека – немає необхідності підводити мережеву напругу до вимикачів, досить напруги шини, яка завжди менше допустимих 50 В;

–зручність експлуатації – ВО можуть повідомляти контролеру про виниклі несправності, а той – формувати застережливий сигнал диспетчерові.

Недоліки:

– висока ціна компонентів – цифрові пристрої мають доки більш високу ціну, ніж аналогові. Часто постачальники ще і завищують ціну «за престижність», «модність» системи. Побічно це також призводить до збільшення небезпеки крадіжки компонентів, встановлених в зонах неконтрольованого доступу;

– висока вартість ядра – навіть проста цифрова система вимагає початкового комплексу апаратів для свого функціонування. Управління навіть одним світильником потребує і КШ, і ВО, і КО;

– необхідність високої кваліфікації персоналу – для проектування, ремонту і наладки цифрових систем потрібно мати особливі технічні знання і високу кваліфікацію.

15.4. Протоколи управління світловими приладами

Термін «управління» включає цілий набір методів, протоколів і пристроїв для експлуатації світлових приладів. Простими видами управління є включення/виключення і регулювання світлового потоку. Управління повнокольоровими білими світлодіодними світловими приладами, що настроюються, дозволяє отримати різні RGB кольори, відрегулювати колірну температуру, а також створити прості малюнки з кольорами, що змінюються, складні світлові шоу (доступні як простим користувачам, так і професійним режисерам-постановникам) і навіть великомасштабні відеоекрани. Динамічні світлодіодні світлові прилади зазвичай управляються за допомогою сигналів, що поступають із **спеціально розроблених для цього контролерів** з використанням комунікаційних протоколів, призначених для управління джерелами світла. Отже, світлове устаткування функціонує за допомогою різних протоколів управління. Їх налічується відразу декілька штук, що пропонує користувачам широкий простір для дій.

Комунікаційний протокол – це стандартний набір правил для передачі сигналів і інформації по каналу зв'язку. Разом із розвитком світлотехнічної промисловості розвивалися також і комунікаційні протоколи. Найбільш популярним форматом управління світильниками зі зміною кольору є DMX-512A, або скорочено просто DMX. У 1986 році Комісія USITT (US Institute for Theatre Tehnology – Інститут театральних технологій США) розробила протокол DMX-512 – відкритий стандарт цифрової передачі даних між пультом управління світлом і димерами для управління театральним і сценічним освітленням. DMX-512 (англ. digital multiplex – цифровий помножувач) розроблений з метою стандартизації управління димерами з освітлювального пульта. Цей стандарт був розроблений для цифрових мереж передачі даних, використовуваних для управління світлодіодними джерелами світла і іншими пристроями. Він є ущільненим цифровим протоколом, здатним працювати з 512 пристроями. Сьогодні функції цього протоколу значно ширші, ніж передбачалося спочатку. З освітлювального пульта управляються цифрові світлові прилади, колорченджери, ліри, стробоскопи, димові

машини, лазери, фонтани, сценічна техніка. Обмін можливий тільки в одному напрямі і не передбачає перевірки і виправлення помилок. DMX – стандарт, що описує метод цифрової передачі даних між контролерами і світловим, а також додатковим устаткуванням. Він описує електричні характеристики, формат даних, протокол обміну даними і спосіб підключення. Цей стандарт призначений для організації взаємодії на комунікаційному і механічному рівнях між контролерами і крайовими пристроями, зробленими різними виробниками. За стандартом DMX-512 кожен передавач сигналу може управляти приладами – димерами, сканерами, скролерами і так далі – кількістю до 32. Усі ці прилади з'єднуються послідовно. Для використання більш ніж 32 приладів потрібний розгалужувач DMX (splitter), що має один вхід і декілька виходів, до кожного з яких може бути підключені до 32 приладів. Широке поширення протоколу DMX-512A пояснюється декількома причинами:

- у його основі лежить інтерфейс EIA485 (RS485);
- простота виконання;
- висока надійність;
- можливість управління декількома мережами світильників по трьох дротах;
- невисока вартість елементної бази;
- інтерфейс управління ізольований від світильника, тобто захищений.

Типова структура мережі DMX показана на рисунку 2. Контролер підключається до лінії сполучених послідовно світильників. Стандарт EIA485 призначений тільки для систем з послідовно включеними світильниками. У кожному сегменті може бути до 32 пристроїв, загальна довжина сполучного дроту – 1 км.

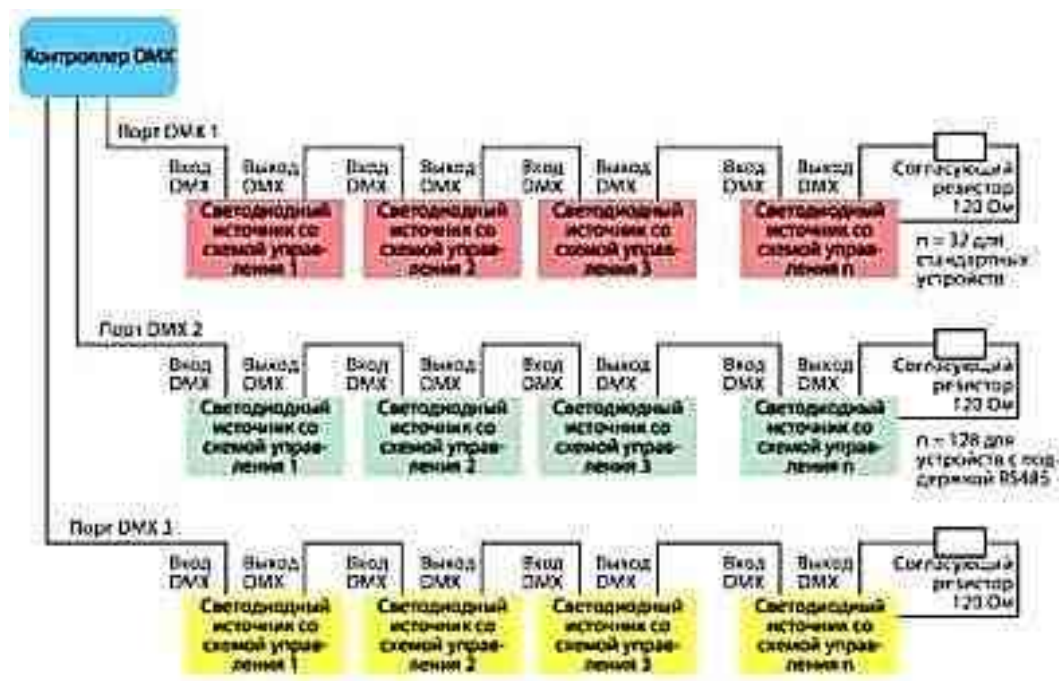


Рис. 2 – Система освітлення з інтерфейсом DMX

Деякі виробники драйверів світлодіодів заявляють, що до одного порту DMX може бути підключене будь-яка кількість драйверів. У офіційному стандарті це не підтверджується. Більшість світлодіодних світильників мають три канали, по одному для

кожного кольору, використовуваного в приладі, – зазвичай червоного, зеленого і синього. Відповідно, кожен світильник отримує від контролера три окремі канали даних DMX, один з яких використовується для червоних світлодіодів, другий для зелених, а третій для синіх. Перший світильник установки може бути запрограмований на отримання даних DMX по адресах 1, 2, і 3; другий - на отримання даних DMX по адресах 4, 5, і 6; і т. д. Одна система DMX може включати максимум 170 трьохканальних світлових приладів ($512 \text{ ділене на } 3 = 170$ плюс два невживані канали), що однозначно адресуються. Система освітлення може включати одну або декілька систем DMX.

DMX контролери випускаються в різних конфігураціях, від дуже простого трикнопового пристрою до повністю комп'ютеризованої системи, принцип роботи у них однаковий: DMX контролери використовуються для створення складних кольорних ефектів на ПК за допомогою програмного забезпечення, що додається. Як правило, усі вони мають USB – порт для підключення до ПК, власне мережеве джерело живлення 220В (виносний або вбудований), програмне забезпечення, спеціальні роз'єми (RJ-45, RJ-11 або XLR-3).

Сигнал DMX виникає в контролері і доставляється по кабелю до першого світлового приладу, а потім до наступного, до наступного, відповідно до послідовності підключення пристроїв. На рисунку 3 схематичне зображення показує правильний спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера. Дріт DMX проходить від контролера до «DMX входу» на першому пристрої. З «DMX виходу» першого приладу, дріт підключений до «DMX входу» наступного в лінії пристрою, і так далі, поки усі прилади не будуть сполучені кабелем, підключеним до DMX контролеру. Останній пристрій в лінії повинні мати DMX термінатор, встановлений для підтримки якості сигналу DMX.

Термінатор (від лат. terminare – обмежувати) – в електроніці, поглинач енергії (зазвичай резистор) на кінці довгої лінії, опір якого дорівнює хвильовому опору лінії, встановлюваний для відвертання відображення сигналу.



Рис. 3 – Спосіб і порядок підключення декількох світильників до одного контролера

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.

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.

ЛЕКЦІЯ №15 ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ

План

Мета: ознайомитися з альтернативними джерелами енергії при використанні освітлення

1. Вступ
2. Класифікація альтернативних джерел енергії
3. Сонячна енергія в системах освітлення
4. Використання альтернативних джерел енергії для освітлення житлових будинків
5. Проблеми та перспективи розвитку альтернативного освітлення

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. Вступ

Розвиток сучасних електротехнологій спрямований на підвищення енергоефективності та використання екологічно чистих джерел енергії. Одним із перспективних напрямків є впровадження альтернативних джерел енергії в системах електроосвітлення. Традиційне освітлення споживає значні обсяги електроенергії, що призводить до підвищеного

навантаження на електромережу та збільшення викидів парникових газів. Використання відновлюваних джерел, зокрема сонячної енергії, дозволяє значно знизити енергоспоживання, підвищити автономність освітлювальних систем і зменшити вплив на навколишнє середовище. Ця лекція присвячена розгляду можливостей застосування альтернативних джерел енергії для освітлення, аналізу їх переваг та недоліків, а також перспектив розвитку таких технологій.

15.2. Класифікація альтернативних джерел енергії

До альтернативних джерел енергії, що можуть застосовуватися в освітлювальних системах, належать:

1. **Сонячна енергія** – використовує фотоелектричні панелі для перетворення сонячного випромінювання в електроенергію.
2. **Вітрова енергія** – генерується за допомогою вітрогенераторів, що можуть жити автономні освітлювальні системи.
3. **Гідроенергія** – отримується на основі малих гідроелектростанцій, які можуть використовуватися для локальних потреб освітлення.
4. **Енергія біомаси** – застосовується у вигляді біогазових станцій, які можуть частково забезпечувати електроенергією освітлення окремих об'єктів.
5. **Термоядерна та геотермальна енергія** – менш поширені, але можуть використовуватися в спеціалізованих проектах.

З усіх альтернативних джерел енергії в електроосвітленні найпоширенішими є сонячні та вітрові технології, що дозволяють забезпечити автономне та енергоефективне освітлення.

15.3. Сонячна енергія в системах освітлення

15.3.1. Принцип роботи сонячних електроосвітлювальних систем

Сонячна електроосвітлювальна система включає наступні основні компоненти:

- **Сонячні панелі** – фотоелектричні модулі, які перетворюють сонячне світло в електричний струм.
- **Акумуляторні батареї** – накопичують електроенергію для забезпечення безперервного освітлення вночі.
- **Контролер заряду** – регулює процес заряджання та розряджання акумулятора, запобігаючи його перевантаженню.
- **Світлодіодні (LED) світильники** – високоефективні джерела світла, що споживають мінімальну кількість електроенергії.
- **Датчики руху та освітленості** – дозволяють автоматично регулювати роботу системи залежно від рівня освітлення або наявності руху.

15.3.2. Автономні світильники з сонячними панелями

Одним із найпоширеніших рішень є автономні вуличні світильники з вбудованими сонячними панелями. Вони працюють за таким алгоритмом:

1. У денний час сонячні панелі накопичують енергію, заряджаючи акумулятори.
2. Увечері та вночі світильник автоматично вмикається за рахунок накопиченої енергії.
3. Датчики руху дозволяють вмикати або змінювати яскравість світла лише за потреби, що збільшує час автономної роботи.

Переваги автономних світильників:

- ✓ Відсутність потреби в прокладанні кабельних ліній.
- ✓ Економія електроенергії з центральної мережі.
- ✓ Довговічність та мінімальні витрати на обслуговування.
- ✓ Екологічна безпека та зменшення викидів CO₂.

15.4. Використання альтернативних джерел енергії для освітлення житлових будинків

Сонячні панелі активно застосовуються для освітлення під'їздів багатоквартирних будинків, приватних дворів та інших житлових об'єктів.

15.4.1. Освітлення під'їздів та сходових клітин

Автономні системи освітлення під'їздів на основі сонячних панелей мають такі переваги:

- ✓ Незалежність від центрального електропостачання.
- ✓ Використання датчиків руху для економії електроенергії.
- ✓ Простота в монтажі та обслуговуванні.
- ✓ Можливість використання у віддалених районах із перебоями в електропостачанні.

15.4.2. Гібридні системи освітлення

У деяких випадках використовуються комбіновані (гібридні) системи, що поєднують сонячну та вітрову енергію. Вони дозволяють стабільно забезпечувати електроосвітлення навіть у малосонячні дні або вночі.

15.5. Проблеми та перспективи розвитку альтернативного освітлення

Попри значні переваги, використання альтернативних джерел енергії в освітленні має певні труднощі:

- **Висока початкова вартість установки** – сонячні панелі та акумулятори потребують значних інвестицій.
- **Залежність від погодних умов** – ефективність сонячних батарей зменшується в похмуру погоду або взимку.
- **Необхідність обслуговування акумуляторів** – з часом вони втрачають ємність і потребують заміни.

Проте з розвитком технологій ці проблеми поступово вирішуються:

- Нові акумуляторні системи мають більший термін служби.
- Використання енергоефективних LED-ламп знижує витрати електроенергії.
- Розвиток смарт-технологій дозволяє автоматично регулювати рівень освітлення залежно від потреби.

Висновки Використання альтернативних джерел енергії в системах освітлення є перспективним напрямком розвитку електротехнологій. Вуличне та будинкове освітлення на основі сонячної енергії дозволяє економити ресурси, зменшувати навантаження на електромережі та сприяти екологічній безпеці. Подальший розвиток технологій сприятиме поширенню автономних освітлювальних систем та їх удосконаленню.

Питання для самоконтролю

1. Які джерела альтернативної енергії використовуються в освітленні?
2. Як працюють автономні світильники на сонячних батареях?
3. У чому полягають основні переваги та недоліки сонячного освітлення?
4. Як можна підвищити ефективність автономного освітлення?
5. Які перспективи розвитку альтернативного освітлення в Україні?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковлев В.Ф. Проективання систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення. / За заг. ред. проф. В.Ф. Яковлева. // В.Ф. Яковлев, Р.В. Кушлик, О.С. Квітка, Ю.М. Куценко. - Мелітополь, 2010.-106 с.
2. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл./ Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, М.П. Кунденко – Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 332 с.
3. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник [Текст] / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. – Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.
4. Терешкевич, Л. Б. Освітлення промислових споруд та житлових будинків: навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. Б. Терешкевич, О. В. Бабенко. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – 123 с.
5. Кунденко М. П. Освітлювальні та опромінювальні установки в агропромисловому комплексі [Електронний підручник] / М. П. Кунденко, О. Ю. Єгорова. – АС. № 75245, 2017.
6. Яковлев В. Ф. Електротехнології та електроосвітлення : конспект лекцій (частина 1) для студентів 2 с.т. (4) курсу денної і дистанційної форм навчання, напрям підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [Електронне видання] / В.Ф. Яковлев, О. В. Рясна. – Суми : СНАУ, 2020. – 62 с.
- 7.Електроосвітлення та опромінення: методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електротехнології та електроосвітлення» для студентів очної та дистанційної форм навчання ОС «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» [Електронне видання] / укл. В. Ф. Яковлев, О. В. Рясна. – Суми : СНАУ, 2020. – 48 с.
- 8 Навчально-інформаційний портал ТДАТУ <http://nip.tsatu.edu.ua>

Савойський Олександр Юрійович
Рясна Ольга Василівна
Тесленко Олена Володимирівна

ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРООСВІТЛЕННЯ

Частина 2 – Електроосвітлення

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. 7,4
