

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кушлик Р.В., Постол Ю.О., Кушлик Р.Р.

ДЖЕРЕЛА І УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Мелітополь
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Кушлик Р.В., Постол Ю.О., Кушлик Р.Р.

ДЖЕРЕЛА І УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО
ОСВІТЛЕННЯ

Рекомендовано
використовувати в освітньому процесі аграрних навчальних закладів
для підготовки здобувачів вищої освіти спеціальності 141 –
електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Мелітополь
2020

ВСТУП.....	5
1 Загальні відомості про оптичне випромінювання	6
1.1 Основні поняття і визначення.....	6
1.2 Спектр електромагнітних коливань, його властивості і застосування.....	7
1.3 Розподілення енергії оптичного випромінювання по спектру	9
1.4 Механізм виникнення оптичного випромінювання.....	11
1.5 Фотобіологічна дія оптичного випромінювання.....	11
1.6 Дія оптичного випромінювання на людину	13
1.7 Дія оптичного випромінювання на тварин і птахів	13
1.8 Дія оптичного випромінювання на рослини	15
2 Основні величини і одиниці вимірювання оптичного випромінювання.....	20
2.1 Основні енергетичні величини і одиниці їх вимірювання	20
2.2 Загальні принципи побудови систем ефективних величин	23
2.3 Основні світлові величини і одиниці їх вимірювання.....	27
3 Прилади для вимірювання оптичного випромінювання.....	32
3.1 Оптичні властивості тіл.....	32
3.2 Вимірювальні приймачі оптичного випромінювання	35
3.3 Люксметри.....	44
4 Електричні джерела оптичного випромінювання	49
4.1 Історія створення електричних джерел випромінювання	49
4.2 Основні закони теплового випромінювання	50
4.3 Будова і робота ламп розжарювання, їх енергетичні і експлуатаційні характеристики	55
4.4 Галогенні лампи розжарювання	60
4.5 Основні закономірності електричного розряду в газах і парах металів	65
4.5.1 Загальні відомості.....	65
4.5.2 Електричний розряд у газах і парах металів	66
4.5.3 Стабілізація дугового розряду в газах і парах металів	69
4.5.4 Вплив виду баластного опору на роботу газорозрядної лампи	71
4.5.5 Будова і принцип дії люмінесцентних ламп, їх основні характеристики	73
4.5.6 Будова та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп.....	75
4.5.7 Будова та принцип дії компактних люмінесцентних ламп	81
4.5.8 Основні світлотехнічні характеристики люмінесцентних ламп	85
4.6 Пускорегулюючі апарати для люмінесцентних ламп, схеми їх вмикання.....	87
4.7 Газорозрядні лампи високого тиску, їх основні характеристики	89

4.7.1 Ртутні лампи високого тиску (ДРЛ).....	90
4.7.2 Дюгові металогалогенні лампи високого тиску (МГЛ).....	94
4.7.3 Натрієві лампи високого тиску.....	98
4.7.4 Дюгові ксенонові лампи.....	102
4.7.5 Основні характеристики газорозрядних джерел високого тиску	110
4.8 Світлодіодні лампи.....	114
5 Установки електричного освітлення.....	120
5.1 Класифікація і основні характеристики світильників.....	120
5.2 Прожектори.....	128
6 Типові схеми керування освітлювальними установками.....	130
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	143

ВСТУП

Одним із основних напрямків аграрної політики України на сучасному етапі є дальший комплексний розвиток електрифікації і автоматизації сільськогосподарського виробництва, що в більшій мірі базується на сучасних технологіях, які широко використовують електричну енергію. І в цьому сенсі, при науковій організації праці в сільському господарстві, як і в промисловості, якість освітлення займає одне із найважливіших місць.

Автоматизовані системи штучного освітлення та опромінення у сільськогосподарському виробництві підвищують продуктивність праці в середньому на 10 – 12 відсотків, дозволяють забезпечити значну економію електричної енергії.

Для збільшення потенційних можливостей продуктивності тварин і птиці, рослин, все більша увага звертається на ефективне впровадження установок оптичного випромінювання.

Ультрафіолетові опромінювальні установки повинні бути передбачені у всіх нових і реконструйованих тваринницьких приміщеннях в якості систем стаціонарних установок тривалої дії для опромінення тварин ультрафіолетовими променями невеликої інтенсивності на протязі всього періоду знаходження їх в приміщенні. Опромінення корів підвищує надої на 13%, середньодобові прирости телят складають 7 – 13%, свиней до 20%, курчат – 15%.

Для створення оптимальних параметрів мікроклімату в тваринницьких і птахівничих приміщення необхідно встановлювати джерела інфрачервоного опромінювання, які дають можливість безпосередньо ефективно впливати на організм тварин. Застосування в технологічних процесах установок для інфрачервоного обігріву молодняка дозволяє без додаткових матеріальних затрат отримати додаткову продукцію, значно підвищити зберігання потомства.

Автоматизовані системи штучного освітлення та опромінювання в сільському господарстві значно підвищують продуктивність праці, продуктивність тварин, птиці і рослин.

Раціональне використання джерел освітлювальних і опромінювальних установок передбачає знання їх будови, принципу дії, методів розрахунку. При вивченні даного курсу студент повинен опанувати вибір і розрахунок освітлювальних і опромінювальних установок, розрахунок внутрішніх електричних мереж.

Пропонований підручник повинен допомогти студентам оволодіти певними знаннями та навичками щодо засвоєння основних положень цієї дисципліни.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ

1 Загальні відомості про оптичне випромінювання

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:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.1)$$

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 – **к в а н т и**. Кванти оптичного випромінювання називають фотонами. Фотони розповсюджуються як матеріальні частинки. Експериментально П. М. Лебедєвим 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.

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

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1.2)$$

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 (1.2) можна записати наступним чином:

$$E = h\nu. \quad (1.3)$$

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 енергію. 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 XX 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 $1\text{ нм} - 380\text{ нм}$. Даний діапазон поділяється на чотири групи:

- $1\text{ нм} - 200\text{ нм}$ – вакуумне ультрафіолетове випромінювання;
- $200\text{ нм} - 280\text{ нм}$ – ультрафіолет в області С;
- $280\text{ нм} - 315\text{ нм}$ – ультрафіолет в області В;
- $315\text{ нм} - 380\text{ нм}$ – 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 в спектрі електромагнітних коливань займає вузьку полосу 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.

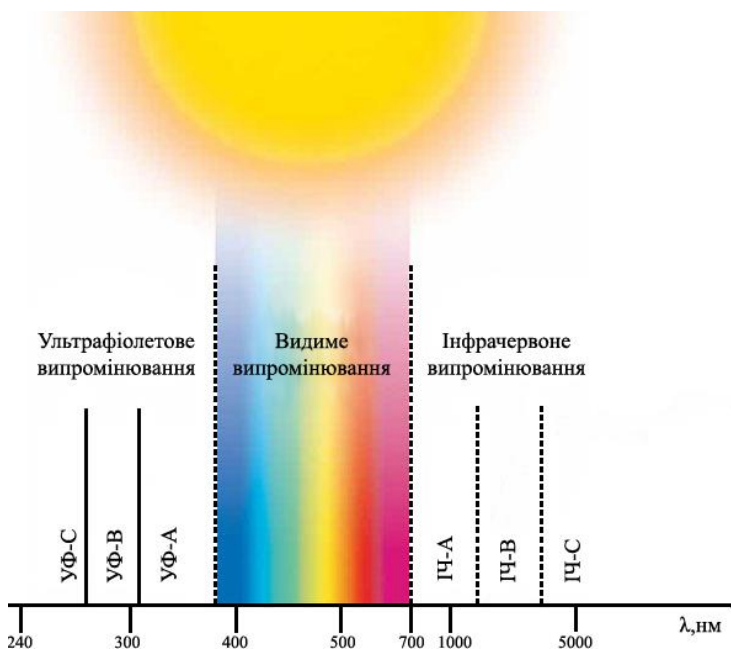


Рисунок 1 – Спектр електромагнітного випромінювання

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.

1.3 Розподілення енергії оптичного випромінювання по спектру

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

Таблиця 1 - Умовні кольори і орієнтовні довжини хвиль

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

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. 2 крива 1).

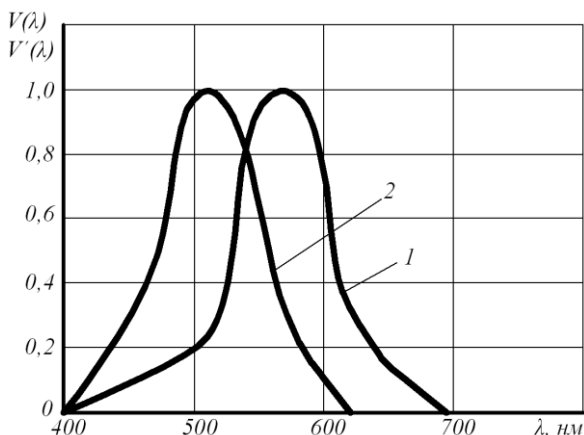


Рисунок 2 Середнє значення спектральної чутливості ока
1 - усереднена крива спектральної чутливості ока;
2 - крива спектральної чутливості ока в умовах нічного зору

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 максимуми 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 Пуркіньє. 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.

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.3 (крива 1).

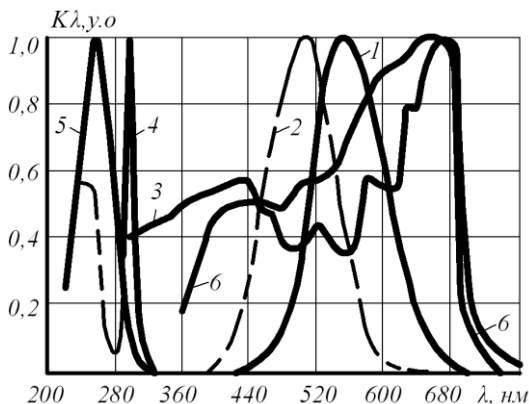


Рисунок 3 – Спектральні характеристики:

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. Срее (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.3 (крива 3).

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 3 (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. 3 (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 сортів рослин та організмів.

1.6 Дія оптичного випромінювання на людину

Дія на людину найбільш біологічно активного ультрафіолетового випромінювання залежить від величини квантів випромінювання, опромінення і часу дії. Відома благотворна дія на людину ультрафіолетового сонячного випромінювання. Кванти УФ випромінювання, які поглинаються білковими колоїдами протоплазми клітин шкіри, розчіплюють молекули білка. Це супроводжується створенням нових біологічно активних речовин (вітамін D, гістамін і ін.) Поширюючись по організму дифузією або по шляху циркуляції рідин, ці речовини зумовлюють загально-фізіологічне зрушення терапевтичного та тонізуючого характеру. В результаті фотохімічних процесів у шкірі виникає ультрафіолетова еритема і пігментація. На відміну від теплової еритеми, що виникає відразу після нагрівання, ультрафіолетова еритема (почервоніння шкіри) з'являється через кілька годин після опромінення (від 2 до 6 год.). Мінімальна кількість опромінення, при якій вперше виникає еритема, називають пороговою дозою (бідозою). При не достатку природного ультрафіолетового випромінювання взимку в середній смузі і особливо в північних районах використовують штучні джерела УФ випромінювання для опромінення людей.

Інфрачервоне випромінювання, маючи невелику енергію квантів, надає в теплову дію на людину. Завдяки хорошій проникаючій здатності інфрачервоне випромінювання здатне нагрівати глибинні шари тканин.

Енергія квантів видимого випромінювання менша, ніж енергія квантів ультрафіолетового, тому позитивні фотохімічні реакції, не можуть відбуватися під дією видимого випромінювання. Це обмежує застосування видимого випромінювання для терапевтичних цілей.

1.7 Дія оптичного випромінювання на тварин і птицю

Прояви впливу оптичного випромінювання на тварин і птицю дуже різні і залежать від спектрального складу випромінювань.

Ультрафіолетове випромінювання має сильну тонізуючу терапевтичну дію на організм тварин. Встановлено вплив УФ опромінення на обмін речовин, процеси дихання, активізацію кровообігу, збільшення вмісту гемоглобіну в крові, акти- візацію діяльності залоз внутрішньої секреції та інші функції організму тварини.

Випромінювання області УФ-А найменш активна, хоча і надає певний позитивний вплив на організм тварин і птиці. Випромінювання області УФ-В викликає почервоніння опромінених ділянок шкіри (еритему), володіє антирахітною дією, здатне перетворювати провітамін D у вітамін D, який сприяє підвищенню засвоюваності кормів, загальному оздоровленню організму, збереженню молодняка. У зв'язку з переводом тваринництва і птахівництва на промислову основу, при якій широко використовують безвигульне утримання великої рогатої худоби, свиней і птиці, проявляється сезонне сонячне голодування. Значно зменшити негативні наслідки цього можна правильною організацією ультрафіолетового опромінення та світлового режиму. Спектр еритемних дії наведено на рис. 4.

Максимум кривої приходить на довжину хвилі 297 нм. При розрахунках опромінюваних установок враховується лише частина кривої, яка знаходиться в діапазоні довжин хвиль 280-320 нм. Ультрафіолетове випромінювання області УФ-С, також може надавати позитивний ефект на тварин і в основному використовується як фактор бактерицидної дії на мікроорганізми.

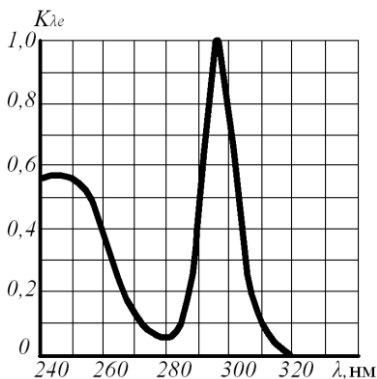


Рисунок 4 - Спектр еритемної дії ультрафіолетового випромінювання

Ультрафіолетове опромінення позитивно впливає на тварин і птицю при дотриманні правильного режиму годування повноцінними,

збалансованими по необхідності компонентів кормами і дотриманні необхідного дозування опромінення. Необхідно зазначити, що механізм дії ультрафіолетового випромінювання на живі організми вивчений не повною мірою.

Світлова дія випромінювання на тварин і птахів вивчено теж ще дуже мало. Вплив видимого випромінювання на тварин може виявлятися не тільки через органи зору, але і шляхом сприйняття його іншими органами. Фізіологічні ритми (спаровування, розмноження, зміна волосяного і пір'яного покриву та ін.) у більшості тварин і птахів визначаються світловими умовами. Від умов освітлення в значній мірі залежить продуктивність тварин і птахів.

В даний час вважають, що на тварин і птахів найбільш сильний вплив робить поступова зміна тривалості світлового періоду доби, а не величина освітленості і тривалість (незмінна) світлового дня, як це припускали раніше. Встановлено, що поступове збільшення тривалості світлового дня стимулює діє на розвиток і функцію тварин і птахів які знаходяться у стадії спокою статевих залоз. Подібну ж дію на деяких птахів і тварин вказує короткочасне освітлення їх вночі.

Інфрачервоне випромінювання в порівнянні з короткохвильовим ультрафіолетовим та видимим випромінюваннями має велику проникаючу здатність у тканини тварин. Проникнення інфрачервоного випромінювання в тканини організму залежить від відбивної і поглинальної здатності верхнього покриву - шкіри. Будова і функції шкіри людини і тварин однакова, тому біологічна дія інфрачервоного випромінювання, який чиниться на людину, спостерігається і при дії на тварин.

Інфрачервоне опромінювання тварин сприяє кращому розвитку їх і зменшує чутливість до захворювань. Воно збуджує кровообіг, спонукає кращому обміну речовин і харчування клітин. Деякі автори вважають також, що опромінення підсилює фагоцитоз (здатність певних клітин захоплювати і знищувати збудників хвороби) і збільшує створення антиоксину, що знищує зародок інфекційних захворювань в організмі. Оздоровчу дію інфрачервоного опромінення пояснюють також тим, що деякі хвороботворні бактерії гинуть при температурі 41 °С протягом 5 годин.

1.8 Дія оптичного випромінювання на рослини

Із всього спектру оптичного випромінювання на ріст і розвиток надає випромінювання з довжиною хвилі від 300 до 1000 нм. Залежно від

ролі окремих ділянок спектра в процесах життєдіяльності рослин із зазначеного діапазону можна виділити три умовні області: 1000-700 *нм* - ефект витягування стебла; 700-400 *нм* - основну для життєдіяльності; 400-300 *нм* - відповідальну за форматний ефект. Випромінювання в спектральному діапазоні 400-700 *нм*, що грає найважливішу роль в реакціях фотосинтезу, отримало назву фотосинтезної активної радіації (ФАР). Інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі більше 1000 *нм* надає рослинам тільки теплову дію, а ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі менше 300 *нм* шкідливо і згубно для рослин.

Вплив оптичного випромінювання на рослини багатосторонній. Не тільки фотосинтез, а й багато інших фізіологічних процесів рослин залежать від умов опромінення. Ріст і розвиток рослин, створення листків та інших органів в значній мірі залежить від опромінення. Проте основним, найбільш характерним процесом зелених рослин є фотосинтез. Цим процесом визначається врожай рослин.

У впливі випромінювання на рослини можна визначити дві сторони. У першу чергу, випромінювання є основним і незамінним джерелом енергії для розвитку рослин. Спільна енергетична дія випромінювання на рослини складається з фотосинтезного та теплового. Поглинена рослинами енергія випромінювання частково використовується на здійснення фотосинтезу, а частина її йде на нагрів і випар води (транспірація). Фотосинтезною дією володіють тільки випромінювання з довжинами хвиль від 300 до 750 *нм*. Теплову дію рослинам можуть надавати не тільки видимі і ультрафіолетові, а й інфрачервоні випромінювання.

Випромінювання діє на рослини не тільки як джерело енергії, але і як своєрідний регулятор або подразник. Характерним прикладом такої дії випромінювання є фотоперіодична реакція рослин. Щоб викликати її, потрібно у багато разів менша кількість енергії, ніж для здійснення фотосинтезу.

Ультрафіолетове випромінювання з довжинами хвиль коротше 295 *нм* при поглинанні протоплазною клітин викликає руйнування білкових речовин. Це випромінювання при більших дозах надає шкідливу (руйнівну) дію на рослини.

Листя - основний орган рослин, що сприймає випромінювання. Поглинання листям випромінювання залежить від його спектрального складу, товщини листа, внутрішньої будови і стану його поверхні, а також від складу і концентрації в листі пігментів. У листі рослин здійснюється фотосинтез, а також утворюються різні фізіологічно активні речовини.

Зелений лист рослини поглинає 80-90 % падаючого на нього сумарного фотосинтезного активного випромінювання, відбиває 5-10 % і

приблизно стільки ж пропускає. Спектри поглинання оптичного випромінювання у всіх зелених рослин носять однаковий характер. У природних умовах з усієї енергії, що падає на рослини, приблизно 2% використовується на фотосинтез, решта поглинена енергія випромінювання перетворюється на рослині в тепло.

Сумарне рівняння фотосинтезу зазвичай записується у вигляді реакції перетворення вуглекислого газу і води в гексозу: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + nh\nu + \text{хлорофіл} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + \text{хлорофіл}$. Це рівняння відповідає зверненого сумарному процесу дихання, що свідчить про протилежності цих процесів. На противагу фотосинтезу при диханні проходить окислення органічної речовини і виділення вуглекислого газу і води.

Сумарне рівняння не виражає особливостей процесу фотосинтезу, що є складною багатоступеневою реакцією. Частина елементарних реакцій фотосинтезу може протікати тільки на світлі, а частина в темноті. У зв'язку з цим розрізняють світлову і темну стадії фотосинтезу. Кінцевими продуктами фотосинтезу можуть бути найрізноманітніші органічні речовини (вуглеводи, білки, жири і т. д.).

Загальний шлях перетворення енергії випромінювання в процесі фотосинтезу в хімічну енергію у всіх видів рослин однаковий. За сучасними уявленнями енергія окремих квантів випромінювання, поглинена любым фотосинтетичним пігментом, передається потім молекулам хлорофілу «а». При цьому молекули хлорофілу «а» переходять в збуджений стан. Внутрішня енергія кожної з цих молекул підвищується на величину, рівну енергії кванта випромінювання з довжиною хвилі 680 нм. Тому незалежно від довжини хвилі випромінювання тільки ця частина енергії квантів може перетворюватися в хімічну енергію, інша ж частина енергії квантів перетворюється в тепло. Іншими словами, при фотосинтезі найбільш повно використовується випромінювання з довжиною хвиль 680 нм.

По мірі зменшення довжини хвилі частка енергії кожного кванта, використовувана на фотосинтез, зменшується. Однак під джерелами з однорідним монохроматичним випромінюванням не вдається отримати повноцінні рослини. В установках, що застосовуються на практиці для штучного опромінення рослин, використовують лампи з неоднорідним випромінюванням. Для отримання добре розвинених рослин і високої продуктивності фотосинтезу лампи опромінювальних установок повинні містити в своєму спектрі всі випромінювання області 300 - 750 нм. При цьому бажано, щоб більша частина знаходилась в області оранжево-червоних і синьо-фіолетових випромінювань.

Для розробки ламп і установок штучного опромінення рослин дуже важливо знати деякий середній спектр дії фотосинтезу. На рис. 1.5

наведено спектр дії так званого середнього листа рослини, отриманий розрахунковим шляхом за спектрами поглинання фотосинтетичних пігментів та його усередненої концентрації в листі.

У рослин одночасно з процесом фотосинтезу відбувається і процес дихання. Розкладаючи органічні речовини, рослини витрачають на дихання енергію. При цьому вони виділяють вуглекислий газ і поглинають кисень. При малих значеннях опроміненості інтенсивність фотосинтезу буває настільки мала, що засвоєння при цьому енергії буває недостатньо для покриття витрат на дихання.

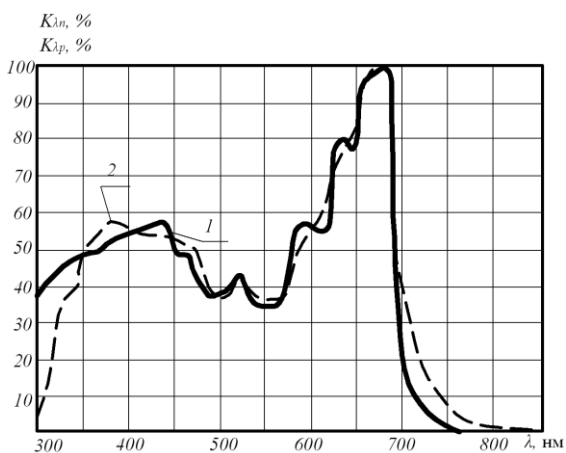


Рисунок 5 – Спектральна чутливість:
1 – середнього листа рослин; 2 – фітометра

При низькій опроміненості процес дихання може переважати над фотосинтезом. У міру підвищення опроміненості настає таке її значення, при якому кількість енергії, накопичується шляхом фотосинтезу, так само енергії, що витрачається на дихання. Це значення опроміненості називають компенсаційним. При підвищенні ефективності опромінення, починаючи від компенсаційного значення, інтенсивність фотосинтезу зростає пропорційно опроміненню.

Як видно з рис.6 прямолінійна ділянка світлової кривої фотосинтезу закінчується за певного значення опроміненості і починається плавний вигин, який потім переходить в плато насичення. Значення опроміненості, починаючи з якого подальше збільшення її не призводить до підвищення інтенсивності фотосинтезу, називають насичуюче.

Компенсаційне і насичуюче значення опроміненості для різних видів рослин можуть бути різними. Ці значення опромінення залежать від зовнішніх умов зростання рослин та їх фізіологічного стану.

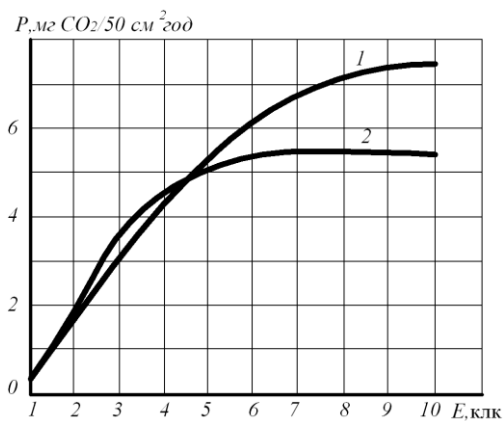


Рисунок 6 – Світлова крива фотосинтезу:
1 – при температурі 20⁰С; 2 – при температурі 10⁰С

[ПЕРЕЙТИ ДО ЗМІСТУ](#)

2 Основні величини і одиниці вимірювання оптичного випромінювання

2.1 Основні енергетичні 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.

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:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad (1.4)$$

де dW - енергія випромінювання за час dt , Дж;

dt - проміжок часу, протягом якого випромінювання може бути прийнято рівномірним, с.

Потік випромінювання вимірюється у ватах.

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.7, 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:

$$\varphi_\lambda = \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda}. \quad (1.5)$$

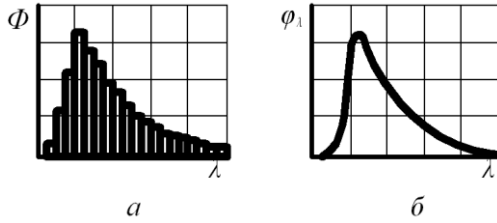


Рисунок 7 – Спектральний розподіл потоків випромінювання із загальним спектром (а) та спектральна щільність потоку випромінювання (б)

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

$$\varphi_\lambda = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{d\Phi_\lambda}{d\lambda}. \quad (1.6)$$

Функція спектральної щільності потоку випромінювання зазвичай будується в прямокутній системі координат (рис. 7, б). Інтегруючи задану функцію спектральної щільності в межах оптичної частини спектру, отримаємо значення потоку випромінювання (Bm) даного джерела

$$\Phi = \int_{\lambda=1,0\text{мм}}^{\lambda=1,0\text{мм}} \varphi(\lambda) d\lambda. \quad (1.7)$$

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..

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

$$I = \frac{d\Phi}{dw}. \quad (1.7)$$

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

$$R = \frac{d\Phi}{dS_g}. \quad (1.8)$$

де dS_g - 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 ($Bm \cdot m^{-2}$)

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (1.9)$$

Одиницею виміру опромінення, як і для вимірювання щільності випромінювання, служить $Bm \cdot m^{-2}$. 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 ($\frac{Bm \cdot c}{m^2}$) представляє собою значення енергії випромінювання, яка впала на одиницю опромінюваної поверхні протягом часу опромінення. У загальному випадку

$$H = \int_{t_1}^{t_2} \varepsilon_i dt, \quad (1.10)$$

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

2.2 Загальні принципи побудови систем ефективних величин

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

$$g = C \frac{W_e}{W}, \quad (1.11)$$

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

$$g_\lambda = C \frac{dF_\lambda}{d\Phi_\lambda} \quad (1.12)$$

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 фотоеlement, то dF_λ може бути виражений в одиницях, що характеризують фотоефект - амперах. При фотохімічних приймачах dF_λ може виражатися кількістю речовини, яка вступила в реакцію за одиницю часу. Отже, значення спектральної чутливості виражається іменним числом: $лм \cdot Вт^{-1}$, $А \cdot Вт^{-1}$ 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

$$K(\lambda) = \frac{g(\lambda)}{(g_\lambda)_{\max}}. \quad (1.13)$$

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. 8 (а) зображена функція спектральної щільності випромінювання джерела.

Для спрощення висновку прийнято, що $\varphi(\lambda) = \text{const}$ в межах деякої частини спектра. Площа фігури $ab\varphi g$, як відомо, являє собою в певному масштабі значення потоку випромінювання джерела. Відносна спектральна чутливість приймача енергії випромінювання приведена на рис.8 (б). Виділимо на графіку $\varphi(\lambda)$ рівні за значенням потоки випромінювання $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3$. Чи приведе їх енергетично

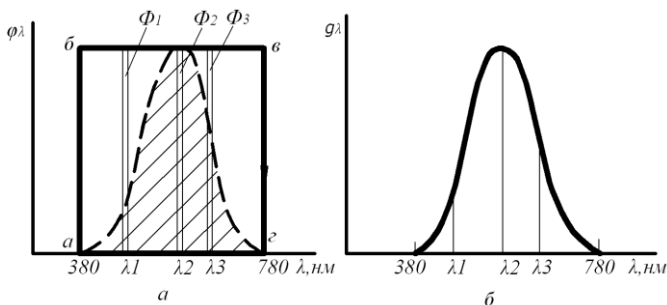


Рисунок 8 - До пояснення «ефективний потік випромінювання» рівний вплив на приймач до однакової його реакції? Реакція приймача буде пропорційна добутку потоку однорідного випромінювання на спектральну чутливість приймача при даній довжині хвилі. Ця похідна і представляє собою ефективний потік, тобто потік випромінювання, оцінений за рівнем реакції на нього приймача випромінювання

$$F_1 = \Phi_1 g_{\lambda_1}; \quad F_2 = \Phi_2 g_{\lambda_2}; \quad F_3 = \Phi_3 g_{\lambda_3}. \quad (1.14)$$

Причому в нашому прикладі $F_1 < F_2 > F_3$. Множачи ординати кривої $\varphi(\lambda)$ на відповідні їм значення $g(\lambda)$, можна одержати на графіку (рис. 8, 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

$$F = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varphi(\lambda) g(\lambda) d(\lambda). \quad (1.15)$$

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:

$$F = (g_{\lambda})_{\max} \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \varphi(\lambda) K(\lambda) d(\lambda). \quad (1.16)$$

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.

2.3 Основні світлові величини і одиниці їх вимірювання

У світлотехніці, де основним приймачем випромінювання є око людини, для оцінки ефективної дії потоку випромінювання, вводиться поняття світлового потоку. Світловий потік - це потік випромінювання, що оцінюється його дією на око, відносна спектральна чутливість якого визначається усередненою кривою спектральної ефективності, затвердженої МКО (рис. 8).

У світлотехніці використовується і таке визначення світлового потоку: світловий потік - це потужність світлової енергії. Одиниця світлового потоку - люмен (лм). 1лм відповідає світловому потоку, випромінюючого в одиничному тілесному куті точковим ізотропним джерелом з силою світла 1 кд.

2.3.1 Світловий потік

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** потоком. Вимірюється потік випромінювання у ватах. Позначається Φ_e :

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad (1.17)$$

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:

$$\Phi_e = \Phi_{\lambda_1} + \Phi_{\lambda_2} + \dots + \Phi_{\lambda_n}, \quad (1.18)$$

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.

2.3.2 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*:

$$I = \frac{d\Phi}{dw}, \quad (1.19)$$

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.

2.3.3 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:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (1.20)$$

В таблиці 2 приведено декілька прикладів освітленості.

Таблиця 2 – Освітленість

Літо, день під безхмарним небом	100 000 лк
Вуличне освітлення	5 – 30 лк
Повний місяць в ясну ніч	0,25 лк

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.9) освітлює елементарний майданчик dS на поверхні q . Сила світла джерела в напрямку освітлюваної площі I_d .

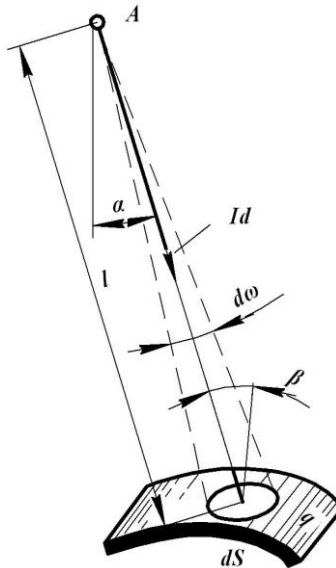


Рисунок 9 - До висновку відношення між силою світла і освітленістю

Кут між нормаллю 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:

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2}. \quad (1.21)$$

Тоді світловий потік, падаючий на майданчик dS ,

$$dF = I_d d\omega = \frac{I_d dS \cos \beta}{l^2}. \quad (1.22)$$

Освітленість майданчика dS отримаємо за висловом:

$$E = \frac{dF}{dS} = \frac{I_d \cos \beta}{l^2}. \quad (1.23)$$

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.

2.3.4 Світність

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

$$M = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (1.24)$$

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 $M_{e\lambda}(\lambda)$:

$$M = 683 \int_0^{\infty} M_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda. \quad (1.25)$$

Для порівняльної оцінки наводимо енергетичні світності до світності деяких поверхонь

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

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

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

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

2.3.5 Яскравість

Яскравість - це сила світла, випромінювана одиницею площі поверхні в певному напрямку. Одиниця виміру яскравості - кандела на метр квадратний ($\text{кд}/\text{м}^2$).

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 3 приведено яскравість деяких джерел

Таблиця 3 – Яскравість джерел

Назва	Яскравість
Поверхня сонця	2 000 000 000 $\text{кд}/\text{м}^2$
Люмінесцентні лампи	5 000 до 15 000 $\text{кд}/\text{м}^2$
Поверхня повного місяця	2500 $\text{кд}/\text{м}^2$
Штучне освітлення дороги (30 лк)	2 $\text{кд}/\text{м}^2$

3 Прилади для вимірювання оптичного випромінювання

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:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}. \quad (1.26)$$

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

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi}. \quad (1.27)$$

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

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi}. \quad (1.28)$$

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:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau}. \quad (1.29)$$

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

$$\rho + \alpha + \tau = 1. \quad (1.30)$$

Більшість матеріалів відбиває і поглинає вимірювання 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

$$\rho_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda\rho}}{\Phi_{\lambda}}; \quad \alpha_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda\alpha}}{\Phi_{\lambda}}; \quad \tau_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda\tau}}{\Phi_{\lambda}}, \quad (1.31)$$

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

Якщо відомий спектральний склад падаючого випромінювання і залежності спектральних коефіцієнтів від довжини хвилі λ , то інтегральні коефіцієнти відбивання, поглинання і пропускання можна обчислити, користуючись формулами:

$$\rho = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}, \quad \alpha = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \alpha(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}, \quad \tau = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda}. \quad (1.32)$$

При визначенні сумарних коефіцієнтів для ефективних потоків у підінтегральних виразів кількість чисельників і знаменників виразів (1.32) повинна входити в якості множника величина $K(\lambda)$ - відносна спектральна чутливість, за якою визначається ефективний потік випромінювання. Наприклад, при визначенні сумарного коефіцієнта відбиття світлового потоку розрахункова формула буде мати такий вигляд:

$$\rho_{\bar{n}} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \hat{E}(\lambda)_{\bar{n}} \rho(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \hat{E}(\lambda)_{\bar{n}} d\lambda}, \quad (1.33)$$

де ρ_c - сумарний коефіцієнт відбиття світлового потоку;
 $K(\lambda)_c$ - відносна спектральна чутливість ока людини.

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. 10).

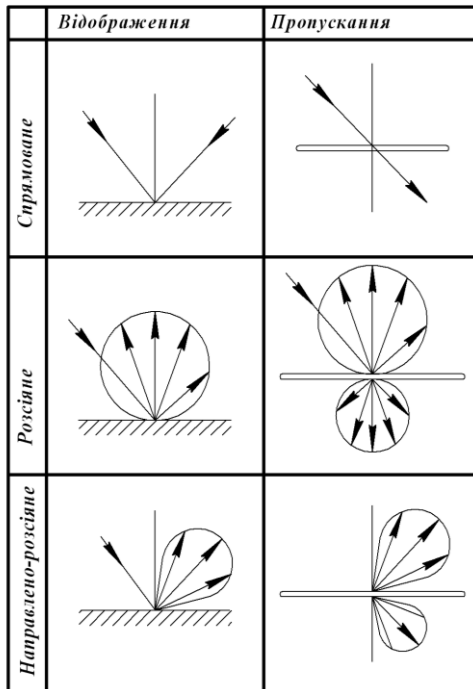


Рисунок 10 – Різновидності відбивання і пропускання потоку оптичного випромінювання

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 перпендикулярно 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 фотоелекті*. По конструктивному виконанню вони відносяться до напівпровідникових приладів. Внутрішній фотоелектр проявляється у зміні провідності матеріалів під дією оптичного випромінювання.

Енергія оптичного випромінювання переводить електрони кристалічної решітки матеріалу в вільний стан, що збільшує провідність

матеріалу. На вказаному явищі заснована дія фоторезисторів. Будова фоторезистора показана на рис. 11, а.

Фоторезистор можна включати в коло постійного або змінного струму. Під дією оптичного випромінювання провідність фоторезистора збільшується, і струм в колі зростає. Характеристика деяких фоторезисторів приведено в табл. 4, а спектральні характеристики – на рис. 1.8.

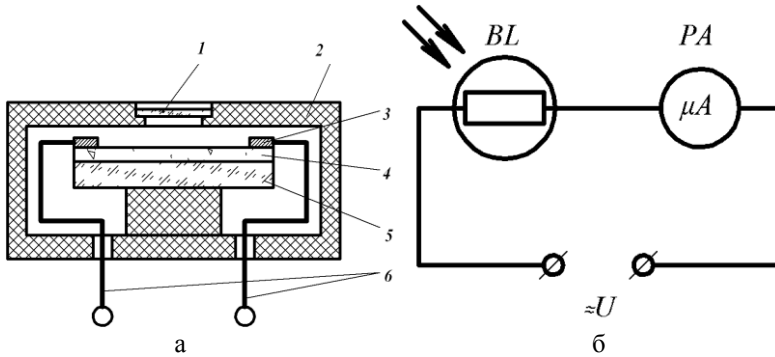


Рисунок 12 – Конструкція (а) і схема включення фото резистора (б):
 1 - захисний прозорий шар; 2 - корпус; 3 – електрод; 4 - шар напівпровідника; 5 - підкладка (ізолятор); 6 - виводи

Таблиця 4 – Характеристики фоторезисторів

Марка	Тип спектральної характеристики	Робоча напруга, B	Інтегральна чутливість, $мкА/лм$	Розміри, $мм$
ФС-А1	1	40	500	24
ФС-К1	2	220	1200	28
ФС-К2	3	220	6000	28
ФС-КМ1	4	150	30000	28
ФС-КМ2	5	150	20000	20
СФ2-1	6	15	10	12
СФ3-1	7	15	20	20

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.

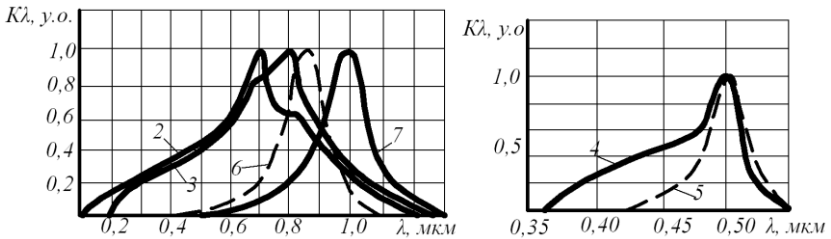


Рисунок 12 – Спектри чутливості фоторезисторів

На рис. 13 показана схема вимірювача опроміненості з фотодіодом.

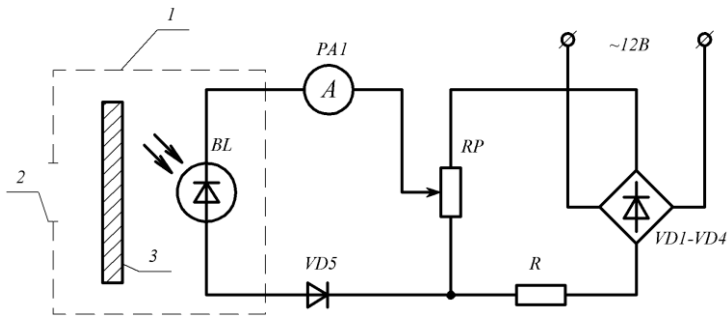


Рисунок 13 – Схема вимірювача опроміненості з фотодіодом:

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. 1.8 пропорційний опроміненості і не залежить від величини зовнішнього опору.

Характеристика деяких фотодіодів приведено в таблиці 1.5, а спектральні характеристики – на рис. 14.

Фотоелементи з внутрішнім фотоэффектом 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.

Таблиця 5 – Характеристика фотодіодів

Марка фотодіода	Матеріал фотошару	K_{ϕ} , $mA/\mu m$	Напруга живлення, B	Площа фото шару, mm^2	Допустима температура $^{\circ}C$
ФД-1	Германій	20	15	5,0	- 60...+40
ФД-2	Германій	10...20	30	1,1	- 40...+45
ФД-3	Германій	20	10	2,5	- 60...+60
ФД-К1	Кремній	3	20	1,0	- 50...+80
ФД-СК	Кремній	20	20	1,0	100...+100
КФДМ	Кремній	15	20	10	- 60...+75

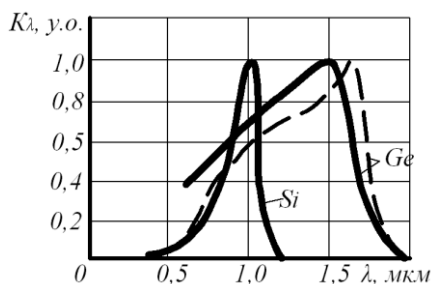


Рисунок 14 - Спектри чутливості фотодіодів на основі германія (Ge) і кремнія (Si)

Дія фотоелементів із запираючим шаром заснована на явищі виникнення електрорушійної сили на електродах приладу при впливі на нього оптичного випромінювання. Вентильний фотоелемент (рис. 15) 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.

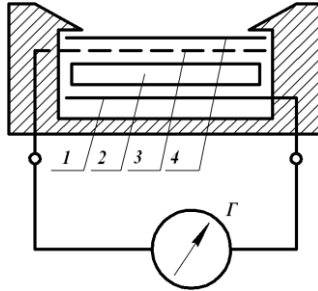


Рисунок 15 – Вентильний фотоелемент

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.

Фотоелектронні приймачі (вакуумні фотоелементи, фотоумножувачі, електронно-оптичні перетворювачі) засновані на *зовнішньому фотоэффекті*.

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

Католи 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. 16 зображено фотоелемент із зовнішнім фотоелементом і його схема включення.

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_{ϕ} 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 (табл.6, фотоелемент ЦГ-4). 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 фотоумножувачами.

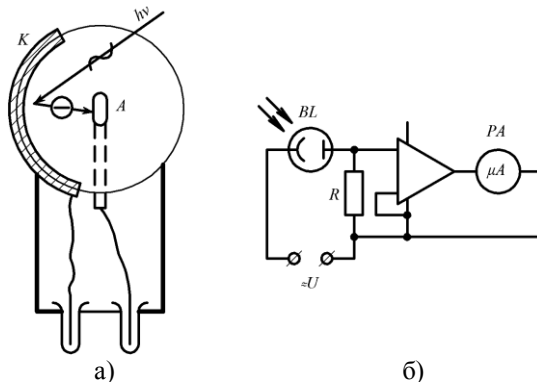


Рисунок 16 – Фотоелемент із зовнішнім фотоелементом:
а) конструкція; б) принципова електрична схема

На рис.17 показано принципову схему вмикання фотоумножувача.

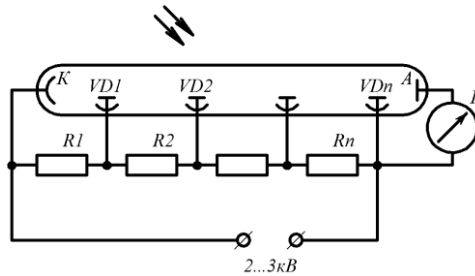


Рисунок 17 – Принципова схема вмикання фотоумножувача:
 К – катод; VD1...VD_n – діоди; А – анод; R1... R_n – резистори дільника;
 Г - вимірювальний прилад, гальванометр

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 діоді *VD1*. Електрони, що мають за рахунок прискорення достатній запас енергії, вибивають з тіла діода вторинні електрони, число яких у кілька разів перевищує число первинних. Потік електронів знову прискорюється і фокусується на наступному діоді. З останнього діода 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} ... 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 мате-ріалів з високою прозорістю в необхідному діапазоні довжин хвиль. Напруга джерела живлення фотоумножувача досягає декількох кіловольт, що вимагає обережності при роботі з ним.

На рис. 18 приведено спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоэффектом, а у таблиці 6 приведено характеристики деяких фотоелементів:

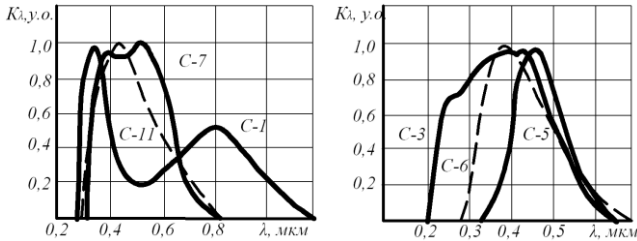


Рисунок 18 – Спектри чутливості фотоелементів із зовнішнім фотоелементом

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

Таблиця 6 – Характеристики фотоелементів з зовнішнім фотоелементом

Марка	Тип спектральної характеристики	Робоча напруга, В	Інтегральна чутливість, мкА/лм	Розміри, мм
Вакуумні фотоелементи				
СЦВ-4	С-2	240	100	35
СЦУ-51	С-2	240	100	25
Ф-1	С-3	100	100	20
Ф-2	С-6	100	30	20
Ф-3	С-7	100	70	20
Ф-9	С-11	150	100	20
Газополій фотоелемент				
ЦГ-4	С-2	240	200	35
Фотоелектронні помножувачі				
ФЭУ-27	С-7	1100	1 мА/лм	25
ФЭУ-31	С-6	1400	20 мА/лм	18
ФЭУ-51	С-11	2300	100 мА/лм	25
ФЭУ-64	С-6	1500	1000 мА/лм	5

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.

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. 19).

У мостовій схемі один із елементів R_B служить приймачем випромінювання, а другий R_K компенсує зміни температури навколишнього середовища. Живлення схеми здійснюється від джерел постійного або змінного струму. Зміна опору в цьому колі внаслідок поглинання чутливим елементом падаючого випромінювання реєструється як зміна напруги на виході схеми, що виникає при розбалансі мосту. Як правило, ці зміни невеликі ($10^{-7} - 10^{-9}$ В), тому необхідно застосовувати різні способи посилення сигналу. Найчастіше для цих цілей використовують резонансні підсилювачі, налаштовані на частоту модуляції.

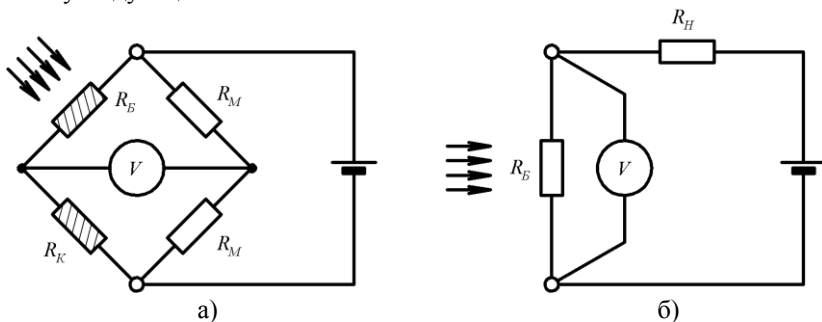


Рисунок 19 – Схеми включення болометрів:
а) мостова; б) схема з навантажувальним опором

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. Схема включення термоелектричного термометра показана на рис. 20

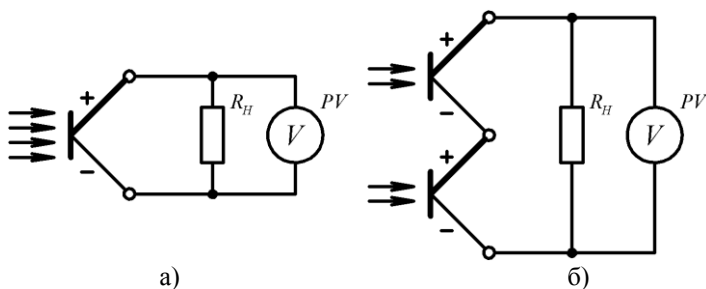


Рисунок 20 – Схема включення термоелектричних приймачів:
а) термопара; б) термоелемент

Неселективні радіаційні термоелементи представляють собою одну або декілька термопар, гарячі спаї яких з'єднані з зачерненими площадками. Випромінювання змінює температуру приймальної площадки і знаходяться з нею в тепловому контакті термоспаїв. Виникаюча при цьому ЕРС реєструється чутливим гальванометром.

Принцип роботи оптико-акустичних приймачів заснований на тому, що випромінювання змінює температуру розміщеного в спеціальній камері газу. Зміна об'єму газу викликає деформацію мембрани, яка реєструється оптичним або електричним способом. Оптико-акустичні приймачі - високочутливі, але дуже крихкі прилади.

3.3 Люксеметри

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

На рис. 21 показано загальний вигляд люксеметра 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.

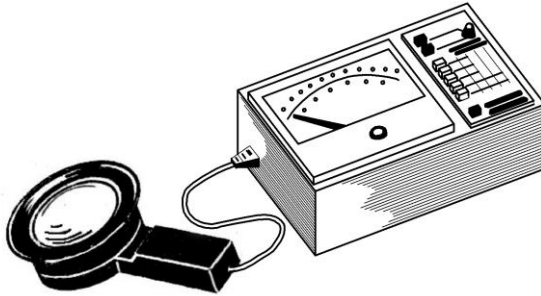


Рисунок 21 – Загальний вигляд люксметра Ю-117

[Навчальний відеоролик "Люксметр"](#)

Селеновий фотоелемент має криву спектральної чутливості, яка наближається до кривої чутливості ока. На рис. 22 показано спектри чутливості селенових фотоелементів.

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.

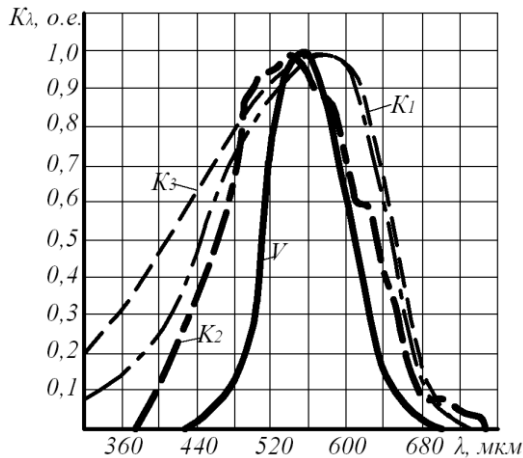


Рисунок 22 – Спектри чутливості селенових фотоелементів:
 К1 – фотоелемента люксметра Ю-117; К2 – теж з насадками КС;
 К3 – не корегованого фотоелемента; V – крива світності

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 на приймальну 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. Люксметри всіх типів містять селенові фотоелементи, вмонтовані в оправу з ручкою, і мікроамперметр, шкала якого проградуєвана в люксах.

Люксметр Ю116 має два основних діапазону вимірювань - від 5 до 30 і від 20 до 100 лк. Шість додаткових діапазонів отримують з основних за рахунок застосування трьох нейтральних світлофільтрів КМ, КР і КТ з коефіцієнтами послаблення потоку відповідно 10, 100 і 1000.

Принципова електрична схема люксметра наведена на рис.23

Стрілочний прилад магнітоелектричної системи М2027 змонтований в одному корпусі з перемикачем діапазонів вимірювань і з вилкою для підключення селенового фотоелемента, Площа світлочутливої поверхні фотоелемента близько 30 см^2 . Його підключають до вимірювального приладу за допомогою шнура довжиною 1,5 м з розеткою.

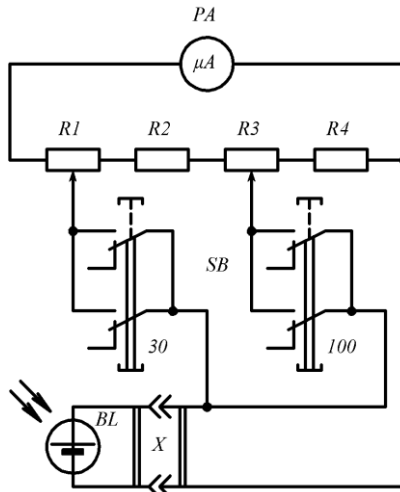


Рисунок 23 – Принципова електрична схема люксметра Ю-116

Люксметр проградуваний по лампі розжарювання в основних діапазонах без світлофільтрів і дає похибку вимірювань $\pm 10\%$. При переході на додаткові діапазони вимірювань похибка зростає не більше ніж на $\pm 5\%$. Час зупинки стрілки показу приладу менше 4 с.

Для зниження косинусної похибки вимірювань для фотоелемента застосовують спеціальну напівсферичну насадку з білої світлорозсіючої пластмаси. Насадку використовують тільки з нейтральними світлофільтрами.

Селеновий фотоелемент необхідно оберегати від надлишкової освітленості, що не відповідає обраним насадкам. В іншому випадку прилад перевантажується, зростає похибка вимірювань і сам фотоелемент швидко старіє.

При проведенні точних вимірювань треба враховувати, що приймальна світлочувлива поверхня фотоелемента і з насадками, і без насадок розташована на відстані 15 мм від основи його корпусу.

Люксметр Ю117 за конструктивним виконанням аналогічний люксметру Ю116, відрізняється тільки тим, що має один основний (від 2 до 10лк) і три неосновних (0,1-0,2; 0,2-1; 0,5-3,9лк) діапазону вимірювання. Тому в корпус люксметра вмонтований підсилювач на одній мікросхемі, а двох клавішний перемикач замінений на восьми клавішний.

Похибка вимірювання люксметра в основних діапазонах становить $\pm 10\%$ від значення вимірювальної освітленості, крім діапазонів 0,1-0,2 лк, в якому похибка становить $\pm 30\%$.

Люксметром можна вимірювати будь-яку ефективну опроміненість в відсутності сторонніх джерел, якщо спектральні характеристики джерела і його світлотехнічні дані відомі і достовірні:

$$E_{IK} = m_{IK} n, \quad (1.34)$$

де - $m_{IK} = (1000 \cdot 1,51 / 680) S'_{IK} / S'_{IF}$ і $m_{IK} = (1000 \cdot 1,75 / 680) S'_{IK} / S'_{IF}$ для фотоелемента з насадкою і без насадки.

В таблиці 7 приведено перевідні коефіцієнти до люксметра Ю-117. В даній таблиці цифри в дужках - із літератури, без дужок - розрахунки та експерименти автора. Їх точність $\pm 20\%$. Проте розбіжність з раніше опублікованими даними виходить за межі точності вимірювань. За опублікованими графіками для лампи ЛЕ-15 можна встановити $S'_{IV} / S'_{IK} = 0,41$, але це відношення повинно бути приблизно рівне відношенню еритемного і світлового потоку в $Bm: 40 / (680 \cdot 0,3) = 0,196$. Отже, деякі літературні дані неправильні.

Вимірювання люксметром ефективних потоків можливо, якщо спектр випромінювання й спектр чутливості фотоелемента мають загальні

області.

Таблиця 7 - Перевідні коефіцієнти до люксметра Ю-117

Джерело	$\Phi_V, \text{лм}$	$\Phi_{\text{эф}}$	$m_{\text{К}}$	$m_{\text{IV}}, \text{лк/дїл.}$	Насадка
Любі ЛР	-	-	-	1,0	КМ
ЛДЦ	-	-	-	0,93 (0,95)	КМ
ЛЭ-15 (нова)	96 (40)	341 мвіт	$2,54 \frac{\text{мвіт}}{\text{м}^2 \text{дїл}}$	0,72	-
ДБ-15 (нова)	90 (60)	2,8 бк	$33,7 \frac{\text{мбк}}{\text{м}^2 \text{дїл}}$	1,176	-
ДРТ-400	$12,8(8) \cdot 10^3$	4,96 (4,75) віт	$198 \frac{\text{мвіт}}{\text{м}^2 \text{дїл}}$	1,28	КМ
		10,4 (10,5) бк	$1,04 \frac{\text{мбк}}{\text{м}^2 \text{дїл}}$	1,28	КМ

[ПЕРЕЙТИ ДО ЗМІСТУ](#)

4 Електричні джерела оптичного випромінювання

4.1 Історія створення електричних джерел випромінювання

Основним елементом освітлювальної установки є джерело оптичного випромінювання. В історії створення та вдосконалення джерел оптичного випромінювання зіграли величезну роль такі вчені як А.Н. Ладигін, П.Н. Яблочков, Томас Алва Едісон.

Кожна формація людського суспільства характеризується рівнем продуктивності праці і новим штучним джерелом світла.

Смолоскип - дерев'яна палиця, на кінці якої горить клоччя, просочене жиром, був першим штучним джерелом світла, світловий ККД якого складав в середньому 0,05 %. (табл. 8). Смолоскип - джерело світла періоду рабовласницького ладу.

Таблиця 8 – Технічні характеристики джерел світла

Джерело світла	Світловий ККД, %	Термін служби, год.	Приблизний період застосування
Палаюча скіпа «світець»	0,03	до 1	Від доісторичного періоду до XX століття
Смолоскип	0,05	До 1	Середні століття
Свічі воскові, стеаринові	0,15	10	Від середнього століття до нашого часу
Керосинова лампа	0,4	10 (до заправки)	XI – XX сторіччя
ЛР А.Н. Ладигіна	0,7	300...1000	1874 р. (заявка)
ЛЛ П.Н. Яблочкова	2,0	10...20	1876 р. (заявка)
Сучасна ЛР	2,0...4,0	До 2000	-
Сучасна ЛЛ	8,0...12,0	До 15000	-
Безелектродна ЛЛ	12,0	До 25 років	~ 2000 р в стадії розробки
ЛР з інтерференційним фокусуєчим фільтром	20	-	~ 2025 р. розробок немає

У період феодалізму гнотові світильники замінили сильно коптільні і швидко згораючі факели. Скліаний циліндр над палаючим гнотом, запропонований геніальним художником і інженером Леонардо да Вінчі (1452-1519 рр.), дозволив різко збільшити ККД керосинових ламп, що збереглися до наших днів. Але ще більший ККД мали газокалільні лампи, в яких метал розігрівався полум'ям світильного газу до досить високої яскравості.

Прогрес науки і техніки початкового періоду капіталізму подарував людству перші електричні джерела світла: лампу розжарювання

А.Н. Ладигіна (1847-1923 рр.) та газорозрядну лампу (1876 р.), П.Н. Яблочкова (1847-1894 рр.).

У 1802 р. професор В.В. Петров публічно демонстрував явище електричної дуги, для якого потрібне було джерело постійного струму з ЕРС більше 2000 В. Це послужило основою для розвитку двох головних напрямків у розробці джерел оптичного випромінювання: джерел, заснованих на тепловому випромінюванні і джерел, заснованих на електричному розряді, що супроводжується оптичним випромінюванням.

У 1872 р. А. Н. Ладигін подав заявку на привілей (патент), предметом якої була лампа з вугільним тілом розжарювання, укладеним в скляну колбу. Однак широкого поширення вона не отримала. Перевагу віддавали в ті роки лампам П. Н. Яблочкова («свічка Яблочкова»), який представляв собою відкриту електричну дугу між двома, розташованими паралельно, вугільними стрижнями, розділеними легкою плавкою вставкою, що виключало необхідність в пристрої, що регулює відстань між кінцями вугільних електродів у міру їх згорання. Тим не менш лампа А. Н. Ладигіна зіграла велику роль у подальшому вдосконаленні джерел світла, заснованих на тепловому випромінюванні. Вона стала вихідним зразком для великих вишукувань та організації промислового виробництва ламп розжарювання відомим американським винахідником Т.А. Едісоном (1847-1931 рр.), і в багатьох країнах світу до цього дня вважають його винахідником електричної лампи розжарювання.

Сучасні джерела світла, звичайно, в значній степені покращені. Підвищився їх ККД, вдосконалено виробництво, розширено їх застосування, звужене призначення кожної групи ламп, але принципи роботи залишилися колишніми: випромінювання нагрітого тіла, електричний розряд у газах чи парах металу.

4.2 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:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}. \quad (1.35)$$

Закон Кірхгофа можна записати інакше:

$$\frac{R_1}{\alpha_1} = \frac{R_2}{\alpha_2} = \dots = \frac{R_n}{\alpha_n} = \text{const} = R_T, \quad (1.36)$$

де R_T - щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при тій же температурі, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$.

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:

$$R_T = \sigma T^4, \quad (1.37)$$

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:

$$R_{\lambda T} = C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}, \quad (1.38)$$

де $R_{\lambda T}$ - спектральна щільність потоку випромінювання абсолютно

чорного тіла, $Вт \cdot м^{-2} \cdot мкм^{-1}$;

C - постійна, що дорівнює $3,74 \cdot 10^8 Вт \cdot м^{-2} \cdot мкм^4$;

C_2 - постійна, рівна $1,43 \cdot 10^4 мкм \cdot град$;

e - основа натуральних логарифмів.

Продиференціювавши рівняння (1.53) за λ і прирівнявши першу похідну нулю, отримуємо:

$$\lambda_{\max} T = 2896 мкм \cdot град, \quad (1.39)$$

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

Закон зміщення Віна. Рівняння (1.54) 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. 24 Показана спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур.

У видимій частині спектру максимум знаходиться при температурі абсолютно чорного тіла в межах $3750-7800 К$. Він, 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:

$$(R_{\lambda T})_{\max} = c_3 T^5, \quad (1.40)$$

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

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.

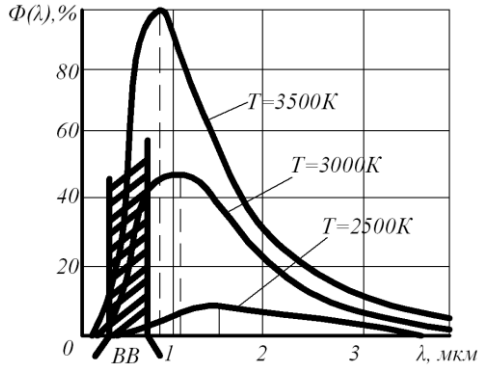


Рисунок 24 - Спектральна щільність випромінювання абсолютно чорного тіла при нагріванні його до різних температур

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:

$$\eta_{\bar{n}} = \frac{F}{\hat{O}} = \frac{\int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \hat{E}(\lambda)_{\bar{n}} d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) d\lambda} \quad (1.41)$$

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 K. Максимум кривої спектральної щільності випромінювання при цьому надається в зоні видимої частини спектру. Подальше збільшення температури випромінювача призводить до зміщення максимуму кривої $\varphi(\lambda)$ в короткохвильову частину спектру. Значення світлового ККД починає зменшуватися (рис.25).

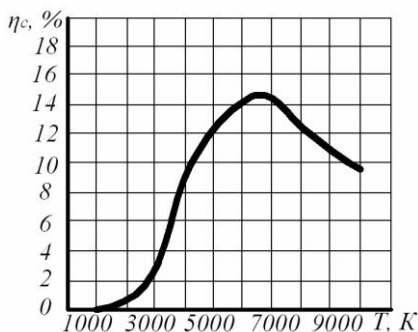


Рисунок 25 – Залежність світлового ККД від температури абсолютно чорного тіла

У таблиці 9 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 9 - Максимальні значення світлового ККД і світлової віддачі випромінювання для деяких характерних теплових випромінювачів

Характер випромінювання або випромінювач	Температура, 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 zenіті	-	94	13,8
Вольфрам при плавленні	3665	55	8,1
Лампа з вугільною ниткою	2135	3,54	0,52
Керосинова лампа	1850	0,27	0,04

4.3 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. 26 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 вклочається в мережу. У колбі розташована скляна ніжка лампи, в верхню частину якої впаяні молібденові гачки, на яких закріплено тіло розжарювання (вольфрамова нитка розжарення). Для з'єднання тіла розжарення з цоколем служать нікелеві електроди, платинові вводи та мідні виводи.

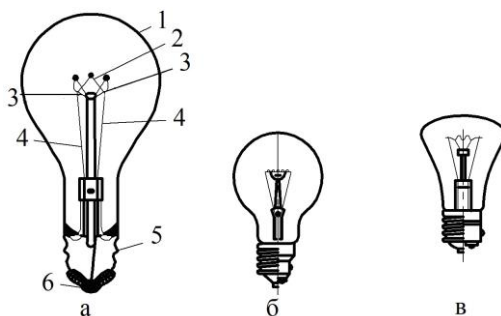


Рисунок 26 - Конструкція ЛР загального призначення:

а) моноспіральна; б) біспіральна; в) біспіральна криптонова;

1 – скляна колба; 2 – вольфрамова нитка розжарювання; 3 – молібденові тримачі; 4 – електроди (нікель, сплави, платинід); 5 – стакан цоколя (сплав заліза); 6 – контактна шайба

[Навчальний відеоролик на тему "Лампа розжарювання"](#)

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 з 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 $7,5-19,1 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$. 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. 27).

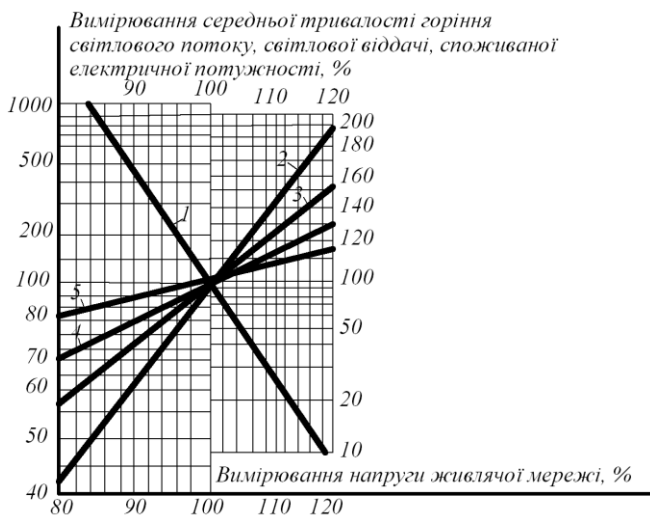


Рисунок 27 – Залежність світлотехнічних, електричних і експлуатаційних параметрів ламп розжарювання загального призначення від зміни напруги живлячої мережі:

- 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.

Згідно з ДСТУ ІЕС 60064-2001 лампи розжарювання загального призначення позначаються наступним чином (рис. 28).

Приклади умовного позначення ламп розжарювання загального призначення за ДСТУ ІЕС 60064-2001:

- В220–230-25 – вакуумна, на діапазон напруги 220-230 В, номінальною потужністю 25 Вт;

- БКМТ215–225–100-2 – біспіральна, криптонова, у матовій колбі на діапазон напруги 215-225 В, номінальною потужністю 100 Вт, другої доробки.

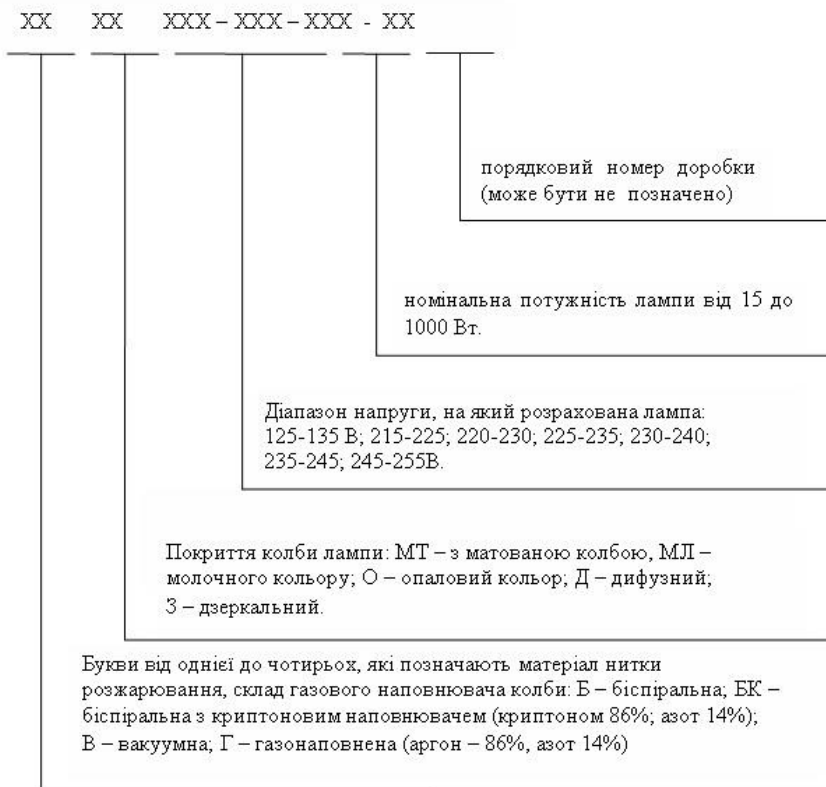


Рисунок 28 – Позначення лампи розжарювання загального призначення

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

Недоліки ламп розжарювання: черезмірна яскравість, низька світлова віддача (до $20 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$), низький світловий ККД (в середньому до 5 %), незадовільний спектральний склад випромінювання (в видимому

спектрі переважно оранжево-червоні випромінювання з довжиною хвилі $\lambda=600-780$ нм. Синіх кольорів з довжиною хвилі $\lambda=380-450$ нм \approx в 10 разів менше. Такий спектральний склад не забезпечує правильної кольоропередачі), малий термін роботи (≈ 1000 год.).

Номенклатура та технічні параметри лампи розжарювання загального призначення наведені у таблиці 10.

Таблиця 10 - Номенклатура та технічні параметри лампи розжарювання загального призначення

Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середня тривалість горіння, год	Тип, лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Середня тривалість горіння, год
B220-230-15	15	97	1300	БК220-230-100	100	1335	1300
B230-240-15	15	79	2300	Б230-240-100	100	1050	2500
B220-230-25	25	212	1300	БК230-240-100	100	1127	2500
B230-240-25	25	177	2300	Б235-245-40	40	300	3400
B235-245-15	15	85	3400	Б235-245-100	100	900	3400
B235-245-25	25	165	3400	Б235-245-150	150	1500	3400
B220-230-40	40	385	1300	Г220-230-150	150	1940	1300
БК220-230-40	40	424	1300	Г230-240-150	150	1625	2500
B230-240-40	40	315	2500	Г235-245-150	150	1500	3400
БК230-240-40	40	355	2500	Г220-230-200	200	2715	1300
B220-230-60	60	660	1300	Г230-240-200	200	2280	2500
БК220-230-60	60	728	1300	Г220-230-300	300	4250	1300
B230-240-60	60	555	2500	Г230-240-300	300	3590	2500
БК230-240-60	60	610	2500	Г220-230-500	500	7650	1300
Б235-245-60	60	445	3400	Г230-240-500	500	6480	2500
B220-230-75	75	875	1300	Г220-230-750	750	12080	1300
B230-240-75	75	735	2500	Г220-230-1000	1000	17150	1300
B220-230-100	100	1250	1300	Г230-240-1000	1000	14540	2500
Лампа Softone фірми Філіпс з колбою T55				Лампа Standart фірми Філіпс з колбою типу А			
Softone	25	195	1000	Standart	75	930	1000
Softone	40	370	1000	Standart	100	1340	1000
Softone	60	630	1000	Standart	150	2160	1000
Softone	75	840	1000	Standart	200	3040	1000
Softone	100	1200	1000	Standart	300	4850	1000

4.4 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 \approx 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 работ ламп цього типу.

На рис. 28 показано декілька конструкцій галогенних ламп розжарювання загального призначення на напругу 220В.

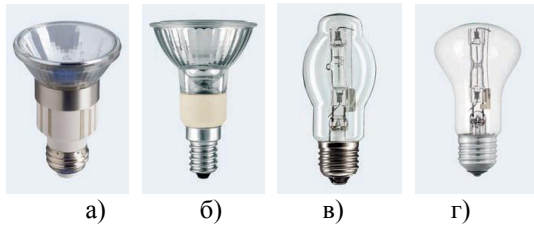


Рисунок 28 - Галогенні лампи: а) лампа MASTER PAR20E з відбивачем; б) лампа PAR16 Halogen A з відбивачем; в) лампа Halogen A Pro без відбивача; г) лампа Кrypton без відбивача

На рис. 29 показано лампу типу КГ 220-1000. Циліндрична колба 3 виготовлена з кварцового скла, що має температуру розм'якшення вище 1373 К. 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 молібденовими електродами 2, впаяними в кварцові ніжки 1. У мережу лампу включають контактними поверхнями 6. Лампа розрахована на роботу від мережі з напругою 220 В.

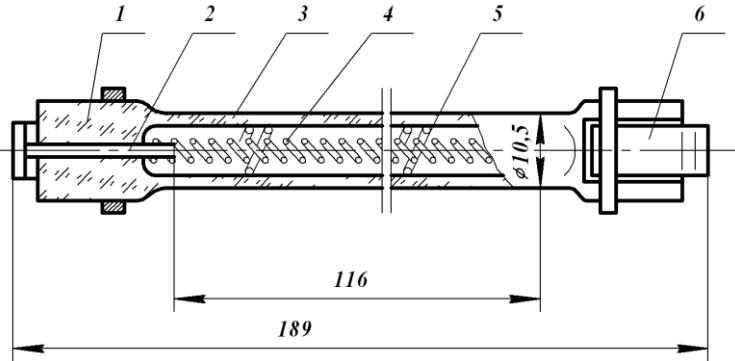


Рисунок 29 - Лампа кварцова галогенна КГ220-1000:
 1 - плоскоштамповані ніжки лампи; 2 – молибденовий електрод;
 3 – кварцова колба; 4 – моно спіраль тіла накали;
 5 – вольфрамові тримачі; 6 – плоскі контактні поверхні

Регенеративний йодний цикл розглянемо на рис. 30.

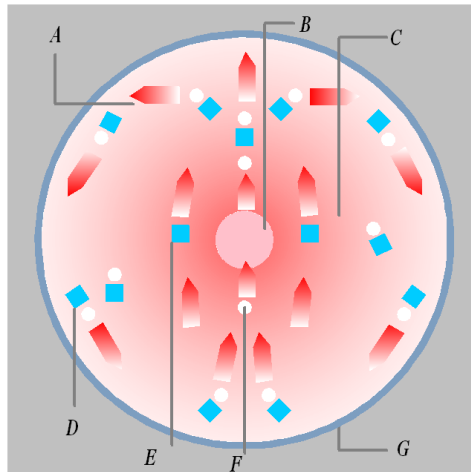


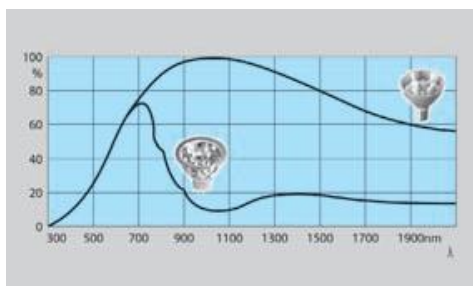
Рисунок 30 - Регенеративний йодний цикл: А) – температура нижче 1400 °С; В) – вольфрамова нитка розжарювання; С) – температура більше 1400 °С; D) – вольфрамовий галоген; Е) – галогени;
 F) – частинки вольфраму; G) – скляна колба

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.

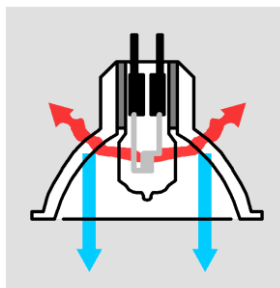
Схематично регенеративний цикл виглядає таким чином:

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

Спектральна щільність галогенних ламп залежить від виду відбивача. На рис. 31 показано зрівняння спектрів випромінювання ламп з дихроїчним і алюмінієвим відбивачем, а також принцип роботи дихроїчного відбивача.



а)



б)

Рисунок 31 - а) спектри випромінювання ламп: 1 - з дихроїчним відбивачем; 2 - з алюмінієвим відбивачем; б) принцип роботи дихроїчного відбивача

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. 32 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.

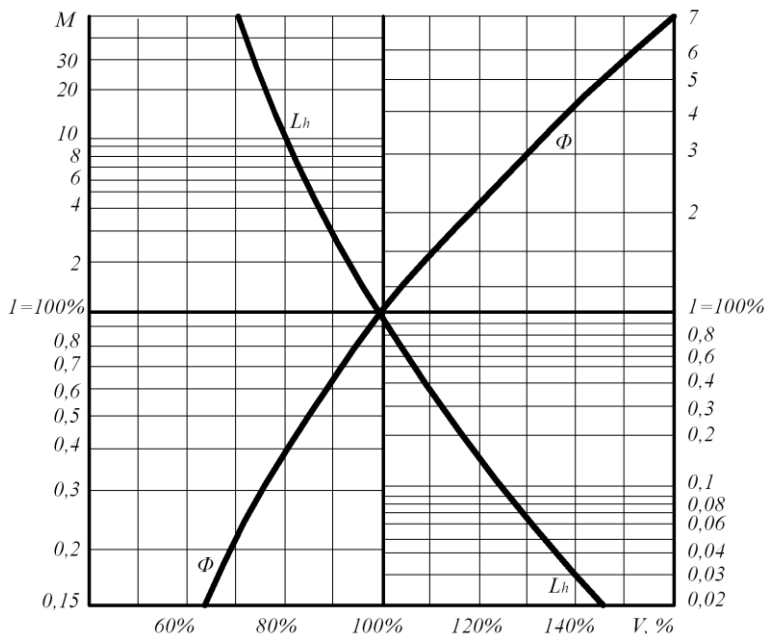


Рисунок 32 - Графік світлової віддачі та терміну служби в залежності від напруги галогенної лампи низької напруги

Номенклатура та технічні параметри галогенних ламп розжарювання наведені у таблиці 11.

Згідно з ДСТУ 4170:2003 лампи розжарювання галогенні позначаються наступним чином (рис. 33).

Приклади умовного позначення галогенних лампи розжарювання за ДСТУ 4170:2003:

- КГ220-1000-1 – кварцова галогенна, номінальна напруга 220 В, номінальною потужністю 1000 Вт, порядковий номер розробки 1.

Таблиця 11 – Технічні параметри галогенних ламп розжарювання для загального освітлення

Тип лампи	Напру- га, В	Потуж- ність, Вт	Світловий потік, кلم	Тривалість горіння, тис. год.	Габарити, мм	
					діа- метр	дов- жина
Лампи для загального освітлення						
КГ220-400	220	400	6,4	0,5	8	280
КГ220-500	220	500	13,5 - 14	0,15	11	132
КГ220-1000-3(4)	220	1000	26 - 27	0,4 – 0,42	11	180
КГ220-1000-5	220	1000	22	2	12	189
КГ220-1000-6	220	1000	26 - 27	5 - 6	15	400
КГ220-1500	220	1500	33	2	12	254
КГ220-2000-2(3)	220	2000	54 – 54,9	0,45 – 0,47	11	236
КГ220-2000-4	220	2000	44	2	12	335
КГ220-5000-01-1	220	5000	125 - 127	2	20,5	990
КГ220-5000-1	220	5000	110	3	20,5	1000
КГ220-10000	220	10000	260	2	27	1230
КГ220-10000-1	220	10000	220	1,3	26	1230
КГ220-20000-1	220	20000	440	1,5	36	890
Лампа типу Plusline Pro Compact, Halogen Linear, Plusline Pro Large, фірми Філіпс						
Plusline Pro Compact	230	60	0,828	2	12	78,3
Halogen Linear	230	60	0,828	2	12	
Plusline Pro Compact	230	100	1,55	2	12	78,3
Halogen Linear	230	100	1,55	2	12	78,3
Plusline Pro Compact	240	100	1,55	2	12	78,3
Plusline Pro Compact	240	150	2,55	2	12	78,3
Plusline Pro Compact	230	150	2,55	2	12	78,3
Halogen Linear	230	150	2,55	2	12	78,3
Plusline Pro Compact	230	200	3,2	2	12	78,3
Plusline Pro Large	230	750	17,1	2	11	334
Plusline Pro Large	230	1000	24,2	2	11	334
Plusline Pro Large	230	1500	36,3	2	11	334
Plusline Pro Large	230	2000	48,4	2	11	334
Лампи – термовипромінювачі						
КГТ220-600	220	600	-	2 – 2,4	12	500
КГТ220-1000	220	1000	-	10	12	500
КГТ220-1000-1	220	1000	-	10	12	375
КГТ220-1500	220	1500	-	2 – 2,4	10,75	400
КГТД220-600	220	600	-	2 – 2,2	12	500
КГТД220-1000	220	1000	-	2 – 2,2	12	500
КГТО220-2500	220	2500	-	2 – 2,2	12	375
КГТО220-2500-1	220	2500	-	2	12	440
КГТО220-2500-2	220	2500	-	2 – 2,2	12	470



Рисунок 33 – Позначення галогенних лампи загального освітлення

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

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

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

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

4.5 Основні закономірності електричного розряду в газах і парах металів

4.5.1 Загальні відомості

Подальше вдосконалення джерел світла, заснованих на тепловому

випромінюванні, як було показано вище, не може скільки-небудь значно підвищити їх світлотехнічні та техніко-економічні показники. Це спонукало до пошуків інших принципів отримання оптичного випромінювання, не пов'язаних з нагріванням випромінюючого тіла.

Порушити рівноважний стан молекули чи атома можна не тільки при нагріванні. Іонізація матеріалу – не урівноважений стан, який супроводжується деіонізацією. В останньому випадку вивільнення енергії супроводжується випромінюванням фотонів. Такі явища можливі в газах, парах металів і твердих матеріалах.

Газорозрядні джерела оптичного випромінювання мають значно більш високий к.к.д., ніж джерела, засновані на тепловому випромінюванні. Кольоровість випромінювання і характер розподілу його по спектру залежить від роду парів металу або газу і умов електричних розряду. Ці властивості відкрили для газорозрядних джерел широку перспективу для різноманітних застосувань у всіх галузях промисловості і сільськогосподарства.

В залежності від роду випромінювача, що забезпечує основну частину енергії випромінювання газорозрядні джерела, розрізняють:

- *газоосвітні лампи*, в яких використовується випромінювання газу або парів металу в процесі електричного розряду;
- *електродосвітні лампи*, в яких використовується випромінювання розжарення в процесі розряду електродів;
- *люмінесцентні лампи*, в яких основним джерелом випромінювання є люмінофор, збуджуваний випромінювання електричного розряду в газі та парах металів.

Найбільш широке поширення серед газорозрядних джерел оптичного випромінювання отримали лампи, в яких використовується електричний розряд у парах ртуті. У залежності від тиску, який розвивається в робочому режимі, їх можна умовно класифікувати наступним чином:

- лампи низького тиску, в яких розряд відбувається при тиску до 0,01 МПа;
- лампи високого тиску, в яких розряд в робочому режимі складає 0,01-1 МПа;
- лампи надвисокого тиску, в яких розряд здійснюється при тиску понад 1 МПа.

4.5.2 Електричний розряд у 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, іони зберігаються більш тривалий час. Введемо в цей простір два електроди (рис. 34) і докладемо до них деяку різницю потенціалів.

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

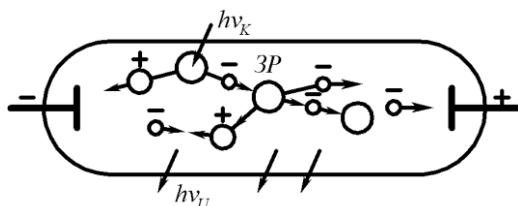


Рисунок 34 – Розряд в газі: $h\nu_k$ – зовнішній збудник; $h\nu_U$ – випромінювання розряду; ЗР – збудження в розряді

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. 35).

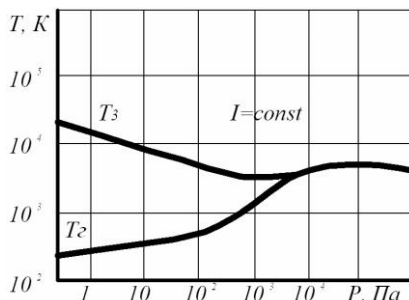


Рисунок 35 - Вимірювання температури газу T_g і електронної температури T_e при зміні тиску

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. 36), що переходить у тліючий, характерний тим, що частина іонів встигає рекомбінуватися з виділенням фотонів: з'являється світіння. 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 $U_{ж} = 1-20 \text{ кВ}$), індикатори напруги ($U_{ж} = 80-1000 \text{ В}$), стартери люмінесцентних ламп ($U_{ж} = 0,7 U_{ж}$).

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.

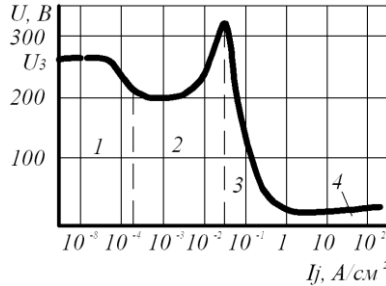


Рисунок 36 – ВАХ газового провідника:

- 1 – темновий (тихий) розряд; 2 – тліючий розряд; 3 – дуговий розряд; 4 – зверх дуговий розряд

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. 36 зона 3), опір міжелектродного проміжку швидко падає до нуля, і обмежити струм, а отже уникнути короткого замикання, можна тільки зовнішнім опором (рис. 37). Це дуговий розряд. Висока концентрація іонів в лампі забезпечить широкую можливість рекомбінації їх і відповідно, потужний потік фотонів. Принцип газового розряду – основний в РЛ (розрядних лампах).

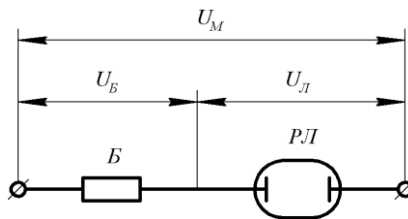


Рисунок 37 – Принцип включення РЛ в мережу: Б – баласт

4.5.3 Стабілізація дугового розряду в газах і парах металів

Розглянемо стабілізацію такого розряду. Вольт-амперна характеристика газового розряду - падаюча (рис. 38 Л), тому для обмеження струму в ланцюзі лампи послідовно з нею необхідно включити опір баласту U_B .

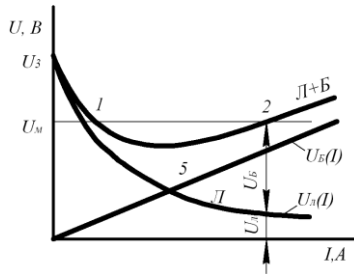


Рисунок 38 – ВАХ баласту РЛ і схеми лампи з баластом

Вольт-амперна характеристика баласту, наприклад активного опору, відповідно до закону Ома ($U = IR$) - зростаюча (рис. 38, 5). Напруга на схемі дорівнює сумі напруг $U_6 + U_7$. У цілому ВАХ схеми в початковій ділянці буде падаючою, а потім перейде в зростаючу (рис. 38, Л + Б). 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_6 зазвичай більша, ніж напруга на лампі U_7 .

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 «відшнуровався». 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.1.44, зона 4), а напруга на баласті зменшується і в певних умовах баласт може бути зовсім відсутнім (лампи зверх високого тиску).

4.5.4 Вплив виду баластного опору на роботу газорозрядної лампи

Для забезпечення нормального терміну служби лампи в колах змінного струму форма кривої миттєвих значень струму повинна бути близькою до синусоїди. Ступінь спотворення форми кривої струму залежить в основному від виду баластного опору (рис. 39) і оцінюється значенням коефіцієнта амплітуди:

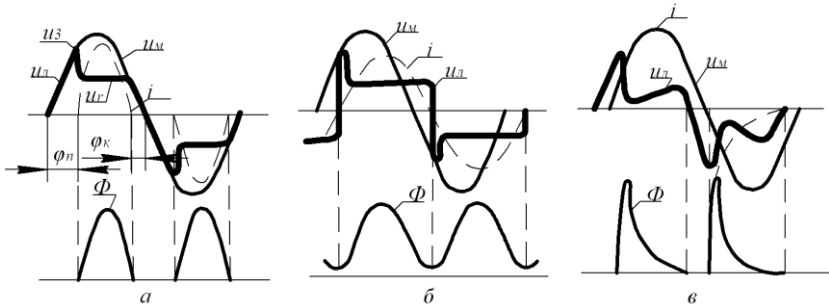


Рисунок 39 – Осцилограми миттєвих значень напруги, струму і світлового потоку газорозрядної лампи:

- а) при активному баластному опорі; б) при індуктивному баластному опорі; в) при ємнісному баластному опорі

$$k_a = \frac{i_{\max}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}} \quad (1.42)$$

Баластовий пристрій повинен забезпечувати коефіцієнт амплітуди, не переважаючий 1,7. При $k_a > 1,7$ тривалість роботи люмінесцентної лампи значно скорочується.

Стабілізація розряду на змінному струмі за допомогою активного опору здійснюється просто і дешево, але має ряд принципових недоліків, які обмежують використання її у спеціальних випадках.

На рис.39 (а) наведено криві миттєвих значень напруг і струму лампи при включенні її з активним баластовим опором у коло змінного струму стандартної частоти. Розряд у лампі виникає після досягнення напругою миттєвого значення, рівного u_3 . У процесі розряду напруга на лампі значно знижується до значення u_r , потрібного для підтримання розряду, і залишається незмінним до моменту, коли миттєве значення

напруги мережі зменшиться до значення u_r . Після цього розряд гасне, струм в колі припиняється. У наступний напівперіод процес загоряння та згасання розряду повторюється. Як впливає з розглянутого графіка, переагоряння розряду в кожен напівперіод супроводжується паузами струму: початковою φ_n і кінцевою φ_k . Загальна пауза $\varphi_n + \varphi_k$ може досягати 1/3 періоду. Наявність пауз розрядного струму значно погіршує показники роботи джерела випромінювання і є причиною виникнення пульсацій потоку випромінювання і стробоскопічного ефекту. Крива миттєвих значень струму втрачає форму синусоїди (спотворюється). Якщо при цьому збільшується коефіцієнти амплітуди [див. формулу (1.42)], то термін служби електродів зменшується внаслідок прискореного розпилення оксидного шару і втрати емісійних властивостей. Особливо великим недоліком є великі витрати електричної енергії в активному баластному опорі, що різко знижує енергетичні показники роботи схеми.

Стабілізація розряду за допомогою індуктивного опору має ряд переваг перед стабілізацією за допомогою активного опору і широко застосовується. На рис. 39 (б) показані криві миттєвих значень тих же величин, що й на рис. 39 (а), але при індуктивному баластному опорі. Завдяки зсуву по фазі між напругою мережі та на затискачах лампи значно об'єднується процес переагоряння розряду в кожен напівперіод, тому що в момент переходу струму через нульове значення до затискачів лампи виявляється прикладена значна миттєва напруга мережі. Переагоряння розряду тому відбувається без помітної паузи. Форма кривої струму наближається до синусоїди. Режим роботи електродів полегшується. Втрати потужності в індуктивному баластному опорі зазвичай значно нижче, ніж в активному, і складає від 10 до 35% від потужності джерела випромінювання. Поряд із зазначеними перевагами індуктивного баластного опору слід вказати і основні його недоліки: велика витрата металу, низький коефіцієнт потужності, висока вартість.

Стабілізація розряду за допомогою ємності застосовується рідко. Відповідні цього випадку криві показані на рис 39 (в). Крива струму набуває надзвичайно спотворену форму. Термін служби електродів різко знижується. Великі паузи і сплески струму приводять до значного зниження світлотехнічних показників роботи лампи.

Дуже перспективним є застосування ємнісного баластного опору при живленні джерела випромінювання від мережі змінного струму підвищеної частоти. Повернемося ще раз до рис 39 (в). для того, щоб звернути увагу на наступну важливу обставину. При будь-якому вигляді баластного опору зсув по фазі між напругою на лампі і її струмом практично відсутній. Однак потужність лампи не буде рівна добутку діючих значень напруги на лампі і струму. Справа в тому, що криві

миттєвих значень цих величин істотно відрізняються за формою одна від одної та від синусоїди і, отже, для обчислення істинного значення потужності розряду в між електродному проміжку необхідно розкласти криві струму і напруги на гармонійні складові. Справжня потужність дорівнюватиме сумі потужностей для отриманих гармонік струму та напруги. У практиці користуються поняттям коефіцієнта потужності газорозрядної лампи, не пов'язуючи його з кутом зсуву фаз. Той же зміст має і вживається термін «коефіцієнт спотворення»:

$$k_{\alpha} = \frac{P}{UI}, \quad (1.43)$$

Коефіцієнт потужності лампи залежить від величини і виду баластного опору і, отже, не є постійним для даної лампи.

Зазвичай коефіцієнт потужності газорозрядних ламп становить 0,7-0,9, а коефіцієнт потужності комплекту: газорозрядна лампа - баластний опір - 0,4-0,9. Для того щоб зменшити можливість помилки при вимірюваннях в колах газорозрядних ламп, бажано користуватися приладами електродинамічної системи.

4.5.5 Будова і принцип дії люмінесцентних ламп, їх основні характеристики

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. До теперішнього часу ЛЛ є найбільш масовими джерелами світла в ОУ промислових і громадських споруд і їх розвиток можна поділити на 3 етапи:

Перший етап. До другої половини 70-х років 20 століття в світільниках загального освітлення приміщень використовували лінійні люмінесцентні лампи в колбах діаметром 38 мм з галофосфатним люмінофором потужностями 20, 40, і 65 Вт. Кращі зразки ЛЛ, потужністю 40 Вт мали світлову віддачу (η_v) 70-72 лм/Вт, термін служби не перевершував 7000 год, спад світлового потоку (Φ_n) наприкінці строку служби досягав більше 25%, а загальний індекс кольоропередачі $R_a = 60-65$.

Другий етап. У 1978 р. почався другий етап у розвитку ЛЛ - було освоєно виробництво енергоекономічних ламп діаметром 26 мм на нових трьох компонентних люмінофорах (гексагональних алюмінатах). У цих ЛЛ з так званим трьох смуговим спектром випромінювання вдалося підвищити світлову віддачу до 94 лм/Вт (при роботі з електромагнітним ПРА) і наблизитися до 100 лм/Вт в схемах включення з електронним ПРА при одночасному поліпшенні якості кольоропередачі ($R_a > 80$) і зниження спаду $\Phi_{л}$ до 15 % від початкового в кінці терміну служби. Лампи діаметром 26 мм і потужністю 18, 36, і 58 Вт споживають при роботі з високочастотним ПРА 16, 32, і 50 Вт; вони домінують у більшості країн Європи майже вже 20 років.

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%.

Третій етап. Початком третього етапу в розвитку лінійних ЛЛ, можна вважати 1995-1996 р., коли були виготовлені лампи діаметром 16 мм з зменшеною довжиною. Першими з них на ринку з'явилися ЛЛ з покращеною світловіддачею (до 104 лм / Вт) потужністю 14, 21, 28, 35 Вт. Подальшим кроком у розвитку цих «тонких» ЛЛ був випуск серії ламп зі збільшеним одиничним світловим потоком та підвищеною яскравістю.

Лампи включаються і працюють тільки зі спеціально розробленими для них ЕПРА, лампи мають двоштирковий 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 витрату 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.

4.5.6 Будава та принцип дії лінійних люмінесцентних ламп

На рис. 40 показано загальний вигляд люмінесцентної лампи загального призначення.



Рисунок 40 – Люмінесцентна лампа загального призначення

На рис. 41 показано конструкцію люмінесцентної лампи загального призначення в розрізі

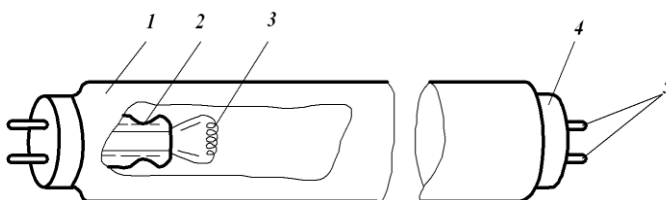


Рисунок 40 – Конструкція люмінесцентної лампи загального призначення в розрізі

[Навчальне відео на тему "Люмінесцентні лампи"](#)

Люмінесцентна лампа загального призначення (рис. 40) 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. 41 приведено спектральну щільність випромінювання ЛЛ:

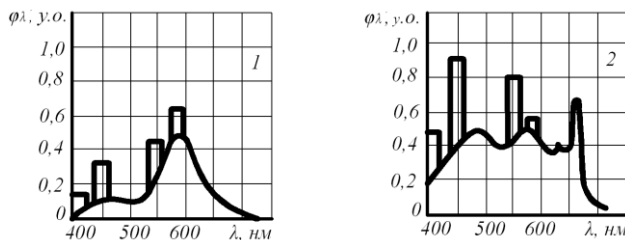


Рисунок 41 – Спектри випромінювання ламп: 1 – ЛБ; 2 – ЛДЦ

Люмінесцентні лампи розрізняють по формі, потужності і спектральному складі чи кольоровості випромінювання. На рис. 42 представлено позначення люмінесцентних ламп низького тиску.

Згідно з ДСТУ ІЕС 60081-2001 люмінесцентні двоцокольні лампи низького тиску позначаються наступним чином.

Приклад умовного позначення люмінесцентних лампи *низького* тиску за ДСТУ ІЕС 60081-2001:

ЛТБ 40 – люмінесцентна тепло-біла, номінальною потужністю 40 Вт.

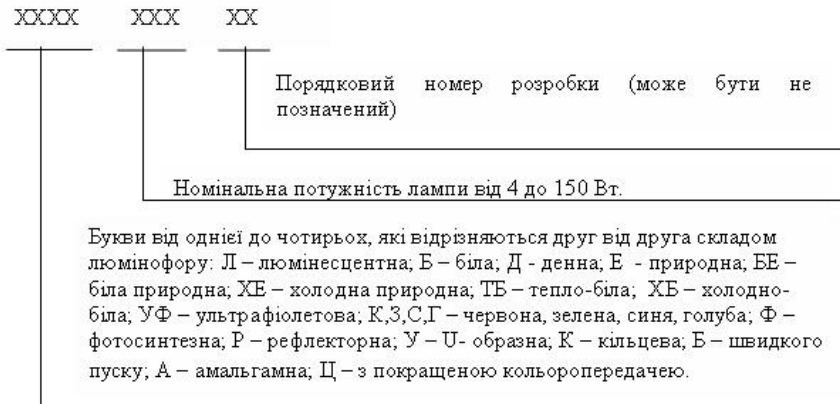


Рисунок 42 – Позначення люмінесцентних ламп низького тиску

Принцип дії люмінесцентної лампи розглянемо на прикладі стартерної схеми включення, яка представлена на рис.43

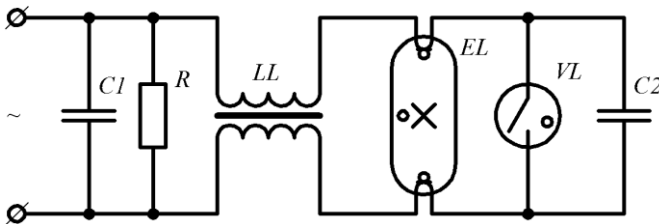


Рисунок 43 – Стартерна схема включення люмінесцентної лампи

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 (рис. 44) і дроселя.

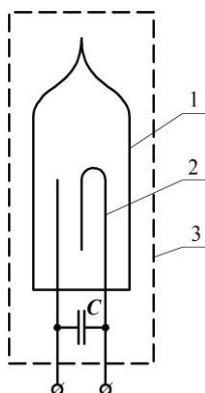


Рисунок 44 – Стартер:

1 – колба; 2 – біметалевий електрод; 3 – корпус; C – конденсатор

Стартер (рис. 1.44) 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. 43) 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 пробію 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:

$$U_M > U_{з.ст.} > U_{з.л.} \quad (1.44)$$

Номенклатура та технічні параметри люмінесцентних ламп *низького тиску* наведені у табл. 12

Таблиця 12 - Номенклатура та технічні параметри люмінесцентних ламп *низького тиску*

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Сила струму лампи, А	Номінальний світловий потік, лм	Довжина лампи, мм	Діаметр лампи, мм	Термін служби, год.
1	2	3	4	5	6	7	8

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛДЦ 20-4				820			
ЛД 20-4				920			
ЛХБ 20-4	20	57	0,37	950	604,0	40	12000
ЛТБ 20-4				975			
ЛБ 20-4				1180			
ЛЕЦ 20				865			
ЛДЦ 30-4				1450			
ЛД 30-4				1640			
ЛХБ 30-4	30	104	0,36	1940	909	27	12000
ЛТБ 30-4				1880			
ЛБ 30-4				2100			
ЛЕЦ 30				2150			
ЛДЦ 40-4				2100			
ЛД 40-4				2340			
ЛХБ 40-4				2780			
ЛТБ 40-4	40	103	0,43	2780	1214	40	12000
ЛБ 40-4				3000			
ЛЕЦ 40				2190			
ЛХБЦ 40-1				2400			

Продовження таблиці 1.12

1	2	3	4	5	6	7	8
ЛДЦ 65-4				3050			
ЛД 65-4				3570			
ЛХБ 65-4	65	110	0,67	4100	1514	40	12000
ЛТБ 65-4				4200			
ЛБ 65-4				4550			
ЛЕЦ 65				3400			
ЛДЦ 80-4				3740			
ЛД 80-4				4070			
ЛХБ 80-4	80	102	0,862	4600	1514	40	12000
ЛТБ 80-4				4720			
ЛБ 80-4				5220			
ЛХБ 150	150	90	1,9	8000	1524	40	4000
ЛБР 40-1				2250			
ЛХБР 40-1	40	103	0,43	2080	1214	40	10000
ЛБР 80-1				4160			
ЛХБР 80-1	80	102	0,865	3460	1514	40	10000
Люмінесцентні лампи фірми «OSRAM»							
FQ24W/840	24	77	0,295	1750	563	16	18000
FQ39W/840	39	118	0,325	3100	863	16	18000
FQ49W/840	49	191	0,245	4300	1463	16	18000
FQ54W/840	54	120	0,455	4450	1163	16	18000
FQ80W/840	80	150	0,53	6150	1463	16	18000

4.5.7 Будова та принцип дії компактних люмінесцентних ламп

Перші серійні КЛЛ з'явилися на європейському ринку в 1981 році. Це були двохканальні КЛЛ з вмонтованим стартером для роботи з виносним електромагнітним ПРА потужністю 5, 7, 9, 11 Вт (тип PL фірми Philips та Dulux фірми Osram), а також КЛЛ типу SL (Philips) і Compacta (Osram) потужністю 9, 13, 18, 25 Вт з світло роздільною оболонкою, вмонтованим ЕмПРА різьбовим цоколем Е 27.

За останні 10 років дані лампи були вдосконалені зусиллями різних фірм.

1. Типовий ряд номіналів потужності з урахуванням всіх різновидностей сучасних конструкцій КЛЛ виглядає наступним чином: 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 40 42, 55 Вт.

2. Діапазон світлових потоків відповідно становив $\Phi_{\text{л}} = 200 - 4800 \text{ лм}$.

3. Світлова віддача ламп з виносним ПРА лежить в межах 50-80 лм / Вт, а ламп з вмонтованим ПРА – 40 - 65 лм / Вт.

4. Широка кольорова гама кольорових відтінків випромінювання з $T_{\text{к}}$ від 2700 К («домашнє» тепле біле світло, максимально близьке до ЛН) до 6500 К («холодне» денне світло).

5. З впровадженням ЕПРА середній термін служби при стандартному циклі включень підвищується до 10000 год.

6. Повна довжина КЛЛ в залежності від конструктивного виконання і потужності знаходиться в межах від 105 мм (5 В до 535 мм (55 Вт); трубки розрядних каналів мають діаметри від 12 до 17 мм.

За конструктивними ознаками КЛЛ поділяють на дві великі групи: «А» лампи для включення з виносним ПРА і штифтованими цоколями; «Б» лампи з вбудованими ПРА і різьбовими (або байонетними) цоколями.

До групи «А» входять КЛЛ з числом розрядних каналів від двох до шести, потужністю від 5 до 55 Вт і $\Phi_{\text{л}}$ від 200 до 4800 лм.

До групи «Б» входять лампи Е14, Е27, лампи потужністю від 15 до 25 Вт з цоколем Е 27 (або В22 за спеціальним замовленням).

На рис. 45 показано декілька конструкцій компактних люмінесцентних ламп загального призначення.

На рис. 46 представлено загальну будову лампи і електронного блоку КЛЛ. Всередині корпусу компактної лампи розміщена кругла печатна плата на якій зібрано високочастотний перетворювач. Перетворювач при номінальному навантаженні має частоту 40 – 60 кГц. В електронний блок входять наступні елементи: VT1 і VT2 – транзистори, на яких зібрано високочастотний генератор, мініатюрний симетричний



Рисунок 45 - Конструкції компактних люмінесцентних ламп загального призначення: а) Master PL фірми Philips; б) Automatik фірми Philips; в) ЛЮММАКС ООО Газотрон-Люкс, $P_n = 25\text{Вт}$; г) ЛЮММАКС ООО Газотрон-Люкс, $P_n = 100\text{В}$



Рисунок 46 – Загальна будова компактної люмінесцентної лампи:
 1 – скляна трубка із шаром люмінофору; 2 – терморезистор з позитивним температурним коефіцієнтом для миттєвого запуску без мерехтіння; 3 – пристрій подавлення радіоперешкод; 4 – перемикаючі транзистори; 5 – стабілізатор струму лампи; 6 – конденсатор, який забезпечує роботу лампи без мерехтіння; 7 - цоколь

динистор DB3 (VS1) служить для автозапуску перетворювача в момент подачі живлення, діодний міст VD1 – VD4 – призначений для випрямлення змінного струму, конденсатор C2 – є простим мережевим випрямлячем.

На рис.47 представлено будову електронного блоку компактної люмінесцентної лампи

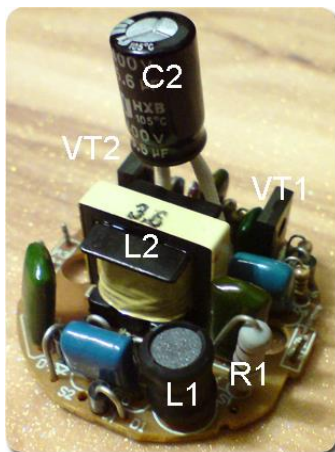


Рисунок 47 – Будова електронного блоку компактної люмінесцентної лампи

Розглянемо принцип дії компактної люмінесцентної лампи на прикладі найбільш розповсюдженої схеми фірми Osram, яка представлена на рис. 48 (лампа потужністю 11 Вт).

Схема складається з ланцюгів живлення, які включають перешкодо захисний дросель L2, запобіжник FU1, діодний міст VD4-VD7, що складається з чотирьох діодів N4007 і фільтруючого конденсатор C4. Схема запуску складається з елементів VD1, C2, R6 і динистора VS1. VD2, VD3, R1 і R3 виконують захисні функції. Іноді ці діоди не встановлюють з метою економії. При включенні лампи, R6, C2 і динистор формують імпульс, що подається на базу транзистора VT2, що призводить до його відкриття. Після запуску ця частина схеми блокується діодом VD1.

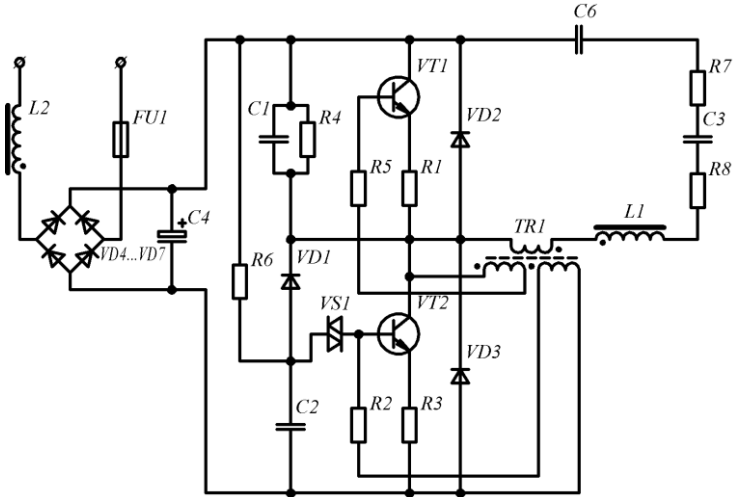


Рисунок 48 – Схема електрична принципова компактної люмінесцентної лампи фірми Osram

Після кожного відкриття транзистора VT2, конденсатор C2 розряджений. Це запобігає повторному відкритті діодистора. Транзистори збуджують трансформатор TR1, який складається з феритового колючка з трьома обмотками в кілька витків. На нитку надходить напруга через конденсатор C3 з підвищувального резонансного контуру L1, TR1, C3 і C6. Трубка спалахує на резонансній частоті, що визначається конденсатором C3, тому що його ємність набагато менше, ніж ємність C6. У цей момент напруга на конденсаторі C3 досягає близько 600 В. Під час запуску пікові значення струмів перевищують нормальні в 3-5 разів, тому якщо колба лампи пошкоджена, існує ризик пошкодження транзисторів.

Коли газ в трубці іонізований, C3 практично шунтується, завдяки чому частота знижується і генератор управляється тільки конденсатором C6 і генерує меншу напругу, але, тим не менш, достатню для підтримання світіння лампи.

Коли лампа запалилася, перший транзистор VT1 відкривається, що призводить до насичення осердя TR1. Зворотній зв'язок на базу призводить до закриття транзистора VT1. Потім відкривається другий транзистор VT2, який збуджується протилежно підключеної обмоткою TR1 і процес повторюється.

Номенклатура та технічні параметри деяких компактних люмінесцентних ламп низького тиску фірми Philips наведені у табл. 13

Таблиця 13 - Номенклатура та технічні параметри компактних люмінесцентних ламп низького тиску фірми Philips

Тип	Потужність/ кольоровість	Колір	Цоколь	Напруга	Світло- вий потік, лм	Індекс кольо- ропе- редачі
PL Electronik Pro	12 Вт/827	Теплий білий	E27	230-240В	650	82
PL Electronik Pro	12 Вт/865	Холодний денний	E27	230-240В	600	76
PL Electronik Pro	16 Вт/827	Теплий білий	E27	230-240В	900	82
PL Electronik Pro	16 Вт/865	Холодний денний	E27	230-240В	870	76
PL Electronik Pro	20 Вт/827	Теплий білий	E27	230-240В	1200	82
PL Electronik Pro	20 Вт/865	Холодний денний	E27	230-240В	1160	76
PL Electronik Pro	23 Вт/827	Теплий білий	E27	230-240В	1500	82
PL Electronik Pro	23 Вт/865	Холодний денний	E27	230-240В	1420	82

4.5.8 Основні світлотехнічні 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 кольірними 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 трубчастю 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 $K_{п.в.} = 22-23\%$, 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.

4.6 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.

Для ЛЛ 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. 49.

Процес запалювання лампи видно на осцилограмах (рис. 49 (б)). При певному миттєвому значенні напруги позитивної напівхвилі синусоїдальної напруги мережі U_m , динистор VS відкривається, по електродам лампи тече струм попереднього підігріву i_{mn} , напруга на лампі під час підігріву залишається рівною падінню напруги на відкритому динисторі.

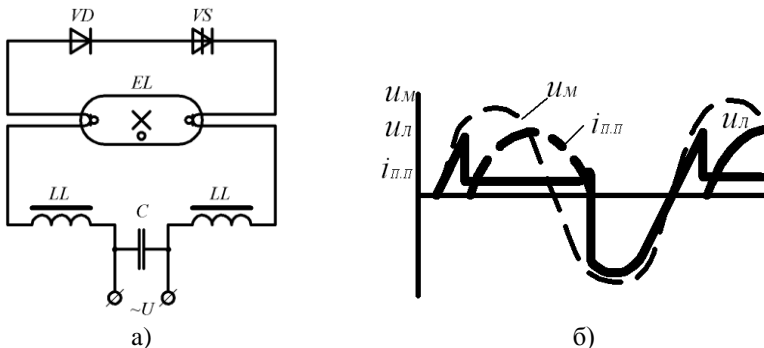


Рисунок 49 – а) Схема включення ЛЛ з напівпровідниковим стартером; б) Осцилограми миттєвих значень напруги і струму при запалюванні люмінесцентної лампи за допомогою динистора.
 VS - динистор; VD – діод; LL – дросель; EL – люмінесцентна лампа

У момент припинення струму підігріву ($i_{mn} = 0$) 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 приведені рис. 50.

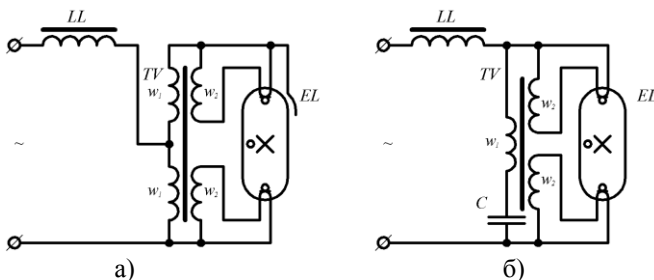


Рисунок 50 – а) Безстартерна схема включення ЛЛ з розжарювальним трансформатором гарячого запалювання: EL – люмінесцентна лампа; LL – дросель; TV - розжарювальний трансформатор; б) Резонансна безстартерна схема включення ЛЛ з розжарювальним трансформатором холодного запалювання: С – конденсатор; w_1 – первинна обмотка трансформатора; w_2 – вторинна обмотка трансформатора

Безстартерна схема гарячого запалювання ЛЛ з постійним підігрівом електродів включає в себе дросель і розжарювальний трансформатор. (рис 50, 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 розпилування 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.50, 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 розпилуванні оксидного покриття електродів.

4.7 Газорозрядні лампи високого тиску, їх основні характеристики

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 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.

4.7.1 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.

Перші лампи ДРЛ виготовлялися двоелектродними. Для запалювання таких ламп потрібне джерело високовольних імпульсів. В якості нього застосовувався пристрій ПУРЛ-220 (Пусковий пристрій ртутних ламп на напругу 220 В). Електроніка тих часів не дозволяла створити достатньо надійні запалюючі пристрої, а до складу ПУРЛ входив газовий розрядник, що мав термін служби менший, ніж у самої лампи. Тому в 1970-х рр. промисловість поступово припинила випуск двоелектродних ламп. На зміну їм прийшли чотириелектродні, які не потребують зовнішніх запалюючих пристроїв.

На рис. 51 показано загальний вигляд лампи високого тиску ДРЛ

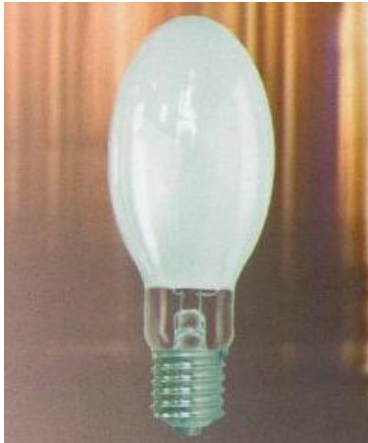


Рисунок 51 – Загальний вигляд лампи високого тиску

Чотирихелектродна лампа ДРЛ (рис. 52) 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

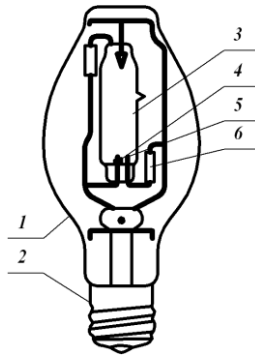


Рисунок 52 – Лампа високого тиску ДРЛ:

1 - зовнішня колба; 2 - цоколь; 3 – внутрішня кварцова колба; 4 - основні вольфрамові електроди; 5 – запалюючі електроди; 6 – струмо-обмежуючі резистори.

внутрішня колба (розрядна трубка, РТ) 3, яка наповнена аргоном з добавкою ртуті. Чотирихелектродні 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.

Видимий спектр ртутної лампи ДРЛ показаний на рис. 53

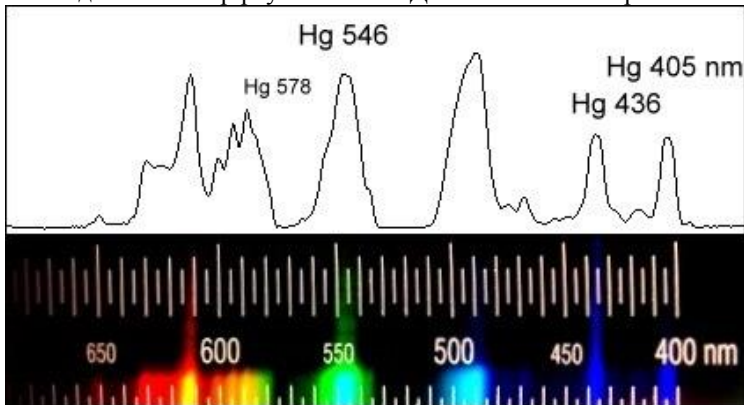


Рисунок 53 - Видимий спектр ртутної лампи ДРЛ

У схемі включення ламп ДРЛ (рис. 54) послідовно з лампою включається одно-або двох обмотувальний дросель LL. 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.

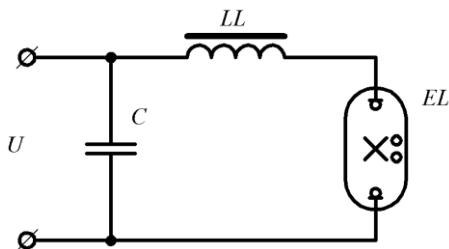


Рисунок 54 – Принципова схема включення чотириелектродних ламп типу ДРЛ: LL – дросель; C – конденсатор; EL – лампа

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 пробоя цього проміжку. Виникнення в порожнині РТ досить великої кількості носіїв заряду (вільних електронів і позитивних іонів) сприяє пробоя 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.

Приклади умовного позначення газорозрядних лампи *високого тиску* (рис. 55).

ДРЛ400 – дугова, ртутна, люмінесцентна, номінальною потужністю 400 Вт.

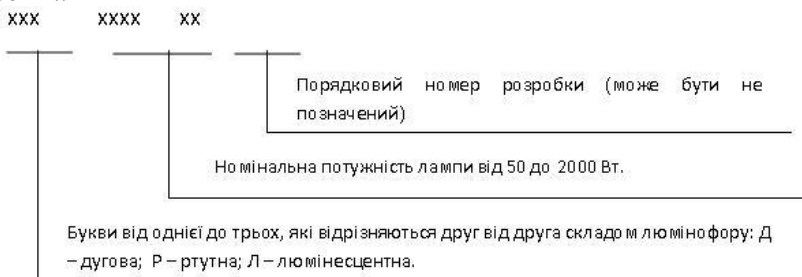


Рисунок 55 – Позначення люмінесцентних ламп високого тиску

Номенклатура та технічні параметри газорозрядних ламп *високого тиску* наведені у табл. 14.

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%.

[Навчальне відео на тему "Лампи ДРЛ"](#)

4.7.2 Дугові металогалогенні лампи високого тиску (МГЛ)

Металогалогенні лампи, що з'явилися на початку 60-х років, відкрили нову сторінку в розвитку газорозрядних ламп. 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 $800 - 900^{\circ}\text{C}$ 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 $300-400^{\circ}\text{C}$, 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 додаються, 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 запального газу): 1) йодиди натрію, талію та індію, 2) йодиди натрію, скандію і торію. Лампи мають спектр, що складається з окремих ліній ртуті і ліній добавок, розташованих в різних областях спектру, завдяки чому вдається з'єднати високу світлову віддачу з прийнятною кольоропередачею (у ламп потужністю 400 Вт $\eta_v = 80\text{ лм/Вт}$, $R_a = 65$). Лампи з йодідами диспрозію і інших рідкоземельних металів мають спектр, настільки густо заповнений лініями диспрозію, що він справляє враження безперервного по всій видимій області, завдяки чому досягається досить висока якість передачі кольору при високій світловій віддачі (у ламп потужністю 400 Вт $\eta_v = 70-80\text{ лм/Вт}$, $R_a > 80$).

На рис. 56 показано загальний вигляд ламп високого тиску.



Рисунок 56 - Загальний вигляд ламп високого тиску

На рис.57 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 аргонем, 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.

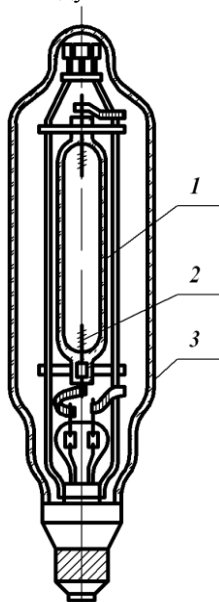


Рисунок 57 – Будова лампи ДРИ: 1 – внутрішня кварцова колба;
2 – електроди; 3 – зовнішня колба

На рис 58 приведена схема електрична принципом вмикання лампи ДРИ. Дана схема 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.

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 пробією розрядника F. У момент пробією 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.

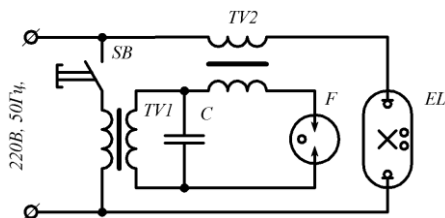


Рисунок 58 – Схема включення лампи ДРИ

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.

Характеристика спектральної щільності випромінювання ламп ДРИ показана на рис. 59.

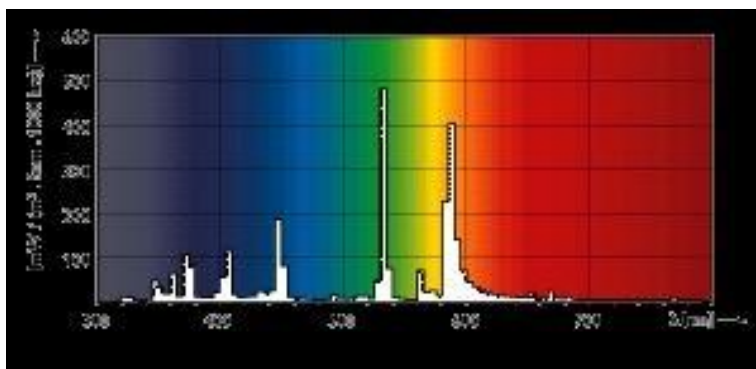


Рисунок 59 - Спектр випромінювання лампи ДРИ 400 HP1-T Plus

Кожен з компонентів наповнення внутрішньої лампи доповнює лінійчатий спектр ртутного розряду своїм випромінюванням. Йодид натрію доповнює випромінювання в жовтій частині спектра, талій - в зеленій, індію - у блакитній. Сукупність випромінювань всіх компонентів створює враження безперервного спектру, а певний склад суміші дозволяє отримати кольоровість випромінювання лампи, близьку до природного світла.

Технічні дані металогалогенних ламп наведені в табл.14.

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 $95 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$, 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 $\pm 10\% U_n$ 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.

[Навчальне відео з теми "Лампи МГЛ"](#)

4.7.3 Натрієві лампи високого тиску

Натрієві лампи високого тиску (НЛВД) є одними з найбільш ефективних джерел світла і вже сьогодні мають світлову віддачу до $160 \text{ лм}\cdot\text{Вт}$ 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 2-4 кВ. 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 ($T_k = 2000-2200 K$).

На рис. 60 показано загальний вигляд ламп високого тиску ДНаТ



Рисунок 60 – Загальний вигляд ламп високого тиску

Будова лампи ДНаТ показана на рис. 61 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 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.

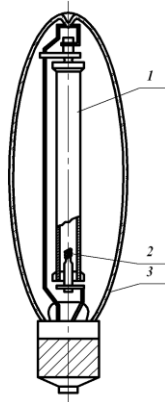


Рисунок 61 – Будова лампи ДНаТ: 1 – внутрішня керамічна розрядна трубка; 2 – вольфрамовий електрод; 3 – зовнішня колба

Схема включення лампи ДНаТ наведена на рис. 62

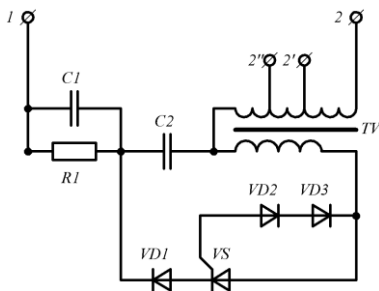


Рисунок 62 - Принципова електрична схема пристрою імпульсного запалюючого універсального типу УІЗУ

При підключенні живлення до УІЗУ заряджається конденсатор С2 через ланцюжок R1, С1 і вторинну обмотку імпульсного трансформатора TV. Коли напруга С2 досягає напруги стабілізації стабілітрона VD2, в колі керуючого електрода тиристора VS з'являється струм, тиристор відкривається і конденсатор С2 розряджається на первинну обмотку імпульсного трансформатора TV через тиристор і діод VD1. У вторинній обмотці появляються імпульси напруги (на півхвиля 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, С1. 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.

Характеристика спектральної щільності випромінювання лампи ДНаТ показана на рис. В20 (додаток В).

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.

Спектр випромінювання лампи типу ДНаТ показано на рис. 63

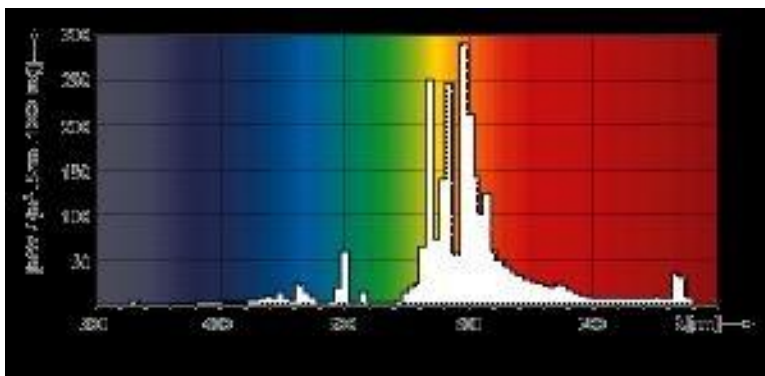


Рисунок 63 - Спектр випромінювання лампи ДНаТ 250 SON-T В

[Навчальне відео на тему "Лампи ДНаТ"](#)

4.7.4 Дюгові ксеноніві лампи

Ксенонова лампа з короткою дугою була розроблена в 1940-х у Німеччині і представлена в 1951 році компанією Osram. Лампа дає яскраве біле світло, близьке до денного спектру, але має досить невисокий ККД.

У всіх сучасних ксенонівих 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 IMAX) 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 ксенонівих 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 ксенонівих 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. 64 показано загальний вигляд ксеноніві лампи високого тиску.

На рис. 65 представлено ксеноніву 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. Струмопровідними 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.



Рисунок 64 – Загальний вигляд ламп високого тиску

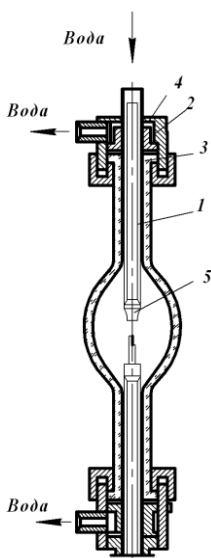


Рисунок 65 – Ксенонова лампа типу ДКСР

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 тип ксенонових ламп, так звані розбірні лампи. У звичайної кульової ксеноновій лампі 25-35 % потужності 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. 66).

З торців кварцової лампи вставляються розбірні вводи, які складаються з металевої трубки (1) діаметром 12-16 мм, які служать струмопроводом, які зсередини охолоджуються водою. На кінці трубки запресований анод (5), так само охолоджуваній 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, перевірці матеріалів на світлостійкість.

На рис. 66 представлено трубчасту ксенонову лампу типу ДКСТВ 6000.

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.

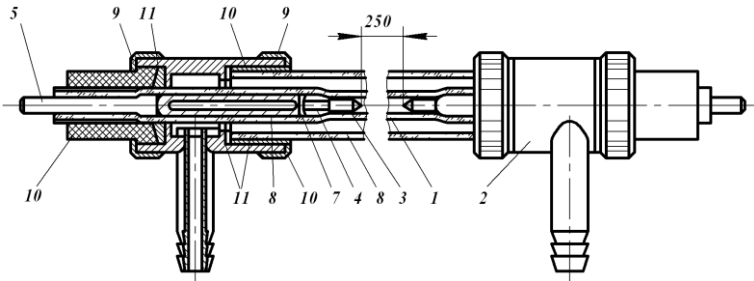


Рисунок 66 – Трубчаста ксенонова лампа:

1 – розрядна кварцова трубка; 2 – зовнішня скляна трубка; 3 – електрод; 4 – втулка; 5 – вивід; 6 – циліндр з молібденової фольги; 7 - вкладиш; 8 – скляний циліндр; 9 – гайка; 10 – ущільнюючий вкладиш; 11 – ущільнюючі прокладки; 12 – патрубки для 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.

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. Вони представляють із себе кварцову трубку певних, залежних від потужності лампи, розмірів, на торцях яких змонтовані електроди – в середині трубки та електричні вводи - поза нею. Електричні вводи виконуються або у вигляді контактних штирів, або у вигляді гнучких багато дротяних мідних джгутів, оснащених наконечником для підключення лампи до мережі за допомогою болтового з'єднання. Другий

варіант введення, як показала експлуатація ламп, більш надійний.

Ксенонові лампи не вимагають баластного опору, але для їх запалювання необхідно запалюючий пристрій. Спрощена схема одного з варіантів запалюючого пристрою показана на рис. 67.

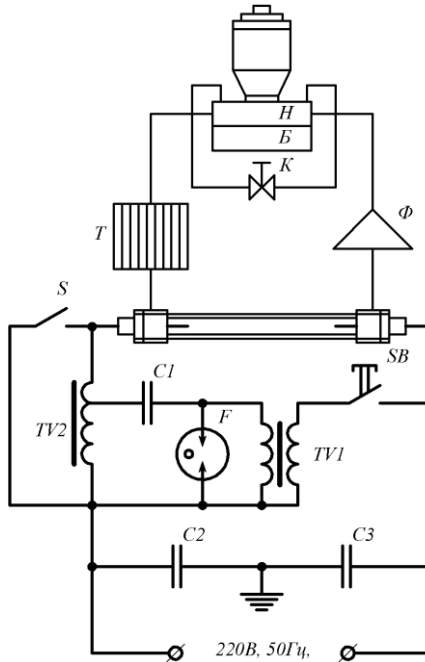


Рисунок 67 – Принципова спрощена схема пускового пристрою і система охолодження лампи ДКСТВ 6000

Таблиця 14 – Технічні параметри ламп високого тиску

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Світловий потік, лм	Термін служби, год
1	2	3	4	5
Ртутні лампи високого тиску				
ДРЛ 50 (15)	50	96	1900	10000

Продовження таблиці 14

1	2	3	4	5
ДРЛ 80 (15)	80	115	3600	12000
ДРЛ 125 (6)	125	125	5900	12000
ДРЛ 125 (10)	125	125	6200	12000
ДРЛ 125 (15)	125	125	6300	12000
ДРЛ 250 (6)-4	250	130	13000	12000
ДРЛ 250 (10)-4	250	130	13500	12000
ДРЛ 250 (14)-4	250	130	13500	12000
ДРЛ 400 (10)-3	400	230	23000	8000
ДРЛ 400 (12)-4	400	135	24000	15000
Ртутні лампи високого тиску фірми «OSRAM»				
HQL-50	50	100	1800	14000
HQL-80	80	115	3800	24000
HQL-125	125	125	6300	24000
HQL-250	250	130	13000	24000
HQL-400	400	135	22000	24000
HQL-700	700	140	40000	24000
HQL-1000	1000	145	58000	24000
Металогалогенні лампи високого тиску				
ДРИ 125	125	110	8300	3000
ДРИ 175	175	110	12000	4000
ДРИ 250-2	250	110	18700	1000
ДРИ 250-5	250	130	19000	10000
ДРИ 250-6	250	130	19000	3000
ДРИ 400-1	400	125	25200	1000
ДРИ 400-5	400	130	36000	10000
ДРИ 400-6	400	130	33000	3000
ДРИ 700	700	120	59500	5000
ДРИ 1000	1000	130	90000	3000
Металогалогенні лампи високого тиску фірми «OSRAM»				
HCI-T 35WDL	39	90	3300	9000
HCI-TS 70WDL PB	72	95	6600	12000
HCI-TS 150WDL PB	147	100	14800	12000
HCI-TS 250WDL PB	242	100	24200	12000
HQI-TS 400/D	400	125	37000	12000
HQI-TS 1000/D/S	1000	120	90000	6000
HQI-T 2000/D	2000	230	180000	9000
Натрієві лампи високого тиску				
ДНаТ 70	70	90	5800	10000
ДНаТ 100	100	100	9500	10000
ДНаТ 150	150	100	15000	15000
ДНаТ 210	210	115	18000	12000

Продовження таблиці 14

1	2	3	4	5
ДНаТ 250-4	250	97,5	23000	10000
ДНаТ 250-7	250	97,5	26000	20000
ДНаТ 360	360	120	35000	16000
ДНаТ 400-4	400	102,5	47000	15000
ДНаТ 400-7	400	102,5	50000	20000
Натрієві лампи високого тиску фірми «OSRAM»				
NAV-E-50W/E	62	85	3500	14000
NAV-E-70W/E	82	90	5600	18000
NAV-E-150W	170	100	14000	24000
NAV-E-250W	275	100	25000	24000
NAV-E-400W	440	105	47000	24000
NAV-E-1000W	1075	115	120000	20000

При включенні кнопки SB запалюючого трансформатора TV1 конденсатор C1 заряджається від вторинної обмотки TV1 до напруги пробою розрядника F. При пробі конденсатор C1 розряджається через частину обмотки імпульсного трансформатора TV2, на електроди лампи подається високовольтний імпульс запалювання, який викликає пробій й іонізацію між електродного простору лампи. Подальший розвиток і підтримка розряду в лампі відбувається за рахунок напруги мережі.

Через деякий час після запалювання лампи, обмотка імпульсного трансформатора шунтується вимикачем S, а запалюючий пристрій може бути відключений і використаний для запалювання чергової лампи.

Конденсатори C2 і C3 служать для захисту мережі від перешкод, що виникають під час роботи лампи. Технічні дані деяких типів ксенонових ламп високого тиску наведені в таблиці 15.

Випромінювання ксенонових ламп у видимій частині спектра дуже близько до природного сонячного, проте неможливо не відзначити надлишок інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань ламп. Особливо потужним ультрафіолетовим випромінюванням відрізняються лампи ДКсТ, кварцова трубка яких прозора для короткохвильових випромінювань. Слід мати на увазі, що при освітленості більше 150 лк УФ опромінення, створюване лампою, надлишкове і може викликати хворобливу реакцію у людей, які тривалий час знаходяться у цій зоні.

Розподіл спектральної щільності випромінювання лампи ДКсТВ 6000 показано на рис. 68.

У лампи ДКсТВ роль фільтра, що відгинає УФ випромінювання, виконує скло зовнішньої трубки, а колби лампи ДКсТЛ виконані з кварцового скла з легуючими присадками, забезпечують пропускання випромінювання лише з довжиною хвилі більше 300 нм.

Переваги дугових ксенонових ламп заключаються в наступному:

- вони володіють найбільшими з усіх джерел світла одиничною потужністю і світловим потоком;

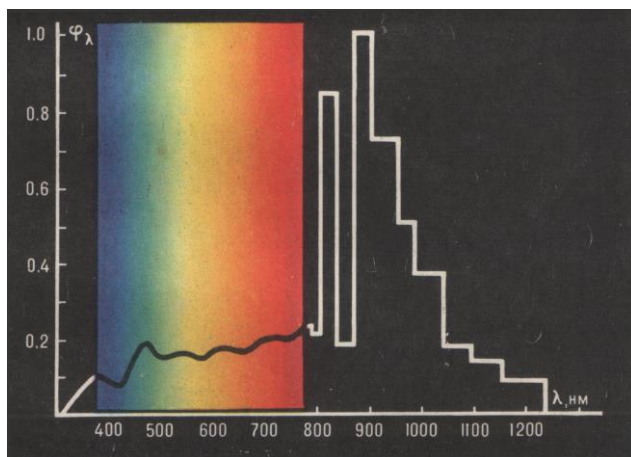


Рисунок 68 - Спектральна щільність випромінювання лампи ДКСТВ

В табл. 15 представлені технічні дані деяких трубчастих ксенонових ламп

Таблиця 15 - Технічні дані деяких трубчастих ксенонових ламп

Тип лампи	Потужність, Вт	Сила струму, А	Робоча напруга, В	Світловий потік, лм	Зовнішній діаметр трубки, мм	Повна довжина, мм	Середня тривалість горіння, год
ДКСТБ 2000	2000	31	60	37000	22	376	500
ДКСТ 2000	2000	52	40	33000	28	356	300
ДКСТВ 3000	3000	48	90	88000	10,2	285	100
ДКСТ 5000	5000	48	110	220000	25	646	300
ДКСТВ 5000	5000	56	150	600000	10,2	315	100
ДКСТБ 8000	8000	55	240	130000	10,2	375	800
ДКСТБ 10000-1	10000	47	220	210000	35	1270	800
ДКСТ 20000-1	20000	56	220	550000	35	2000	500
ДКСТ 50000	50000	140	380	2000000	42	2600	500
ДКСТ 100000	100000	270	380	3500000	75	3100	-
ДКСТВ 100000	100000	285	380	5000000	-	-	-

Примітка. Позначення ламп: Д – дугова; Кс – ксенонова; Т – трубчаста; В – водяне охолодження; Б – баластна.

- 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 одиночної 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.

4.7.5 Основні характеристики газорозрядних джерел високого тиску

Енергетичні показники розрядних ламп високого тиску залежать від їх конструктивного виконання і одиночної потужності і на ці показники впливають втрати потужності в баластних пристроях. У найбільш потужних ламп втрати в баласті не перевищують 5-6 % від потужності самої лампи.

Промисловість випускає в широкому асортименті освітлювальні розрядні лампи високого тиску одиночної потужності від 50 до 50 000 Вт

Спектральні характеристики розрядних ламп високого тиску визначаються в основному наповненням розрядної трубки. У ртутних ламп типу ДРЛ переважає синьо-зелене випромінювання, у ламп ДНаТ - жовто-помаранчеве. Те і інше випромінювання спотворює передачу кольору, тому лампи ДРЛ і ДНаТ використовують головним чином для зовнішнього освітлення.

На рис. 69 показано в динаміці кольорову температуру освітлювальних ламп.

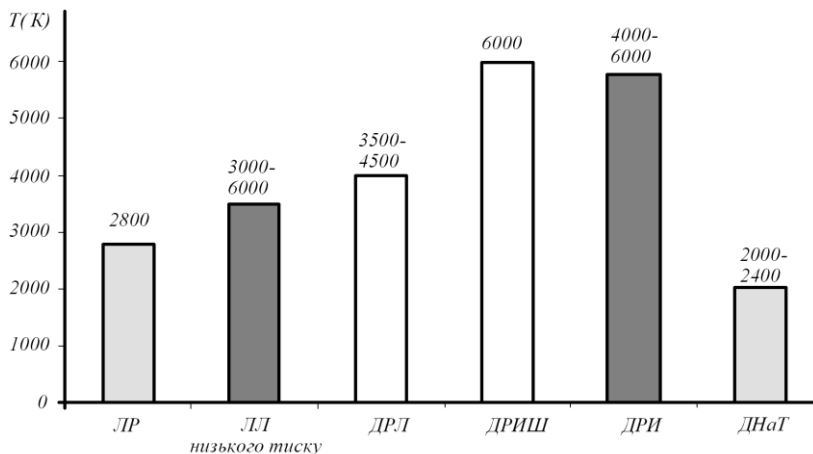


Рисунок 69 - Кольорова температура, T K

Лампи ДРИ дають випромінювання різного спектрального складу в залежності від виду добавок і воно знаходиться в області спектру $T = 4000 - 6000 K$, а ксенонові лампи - близьке у видимій області спектру до природного сонячного ($T = 6100-6300 K$).

Важливе значення має індекс кольоропередачі (рис. 70).

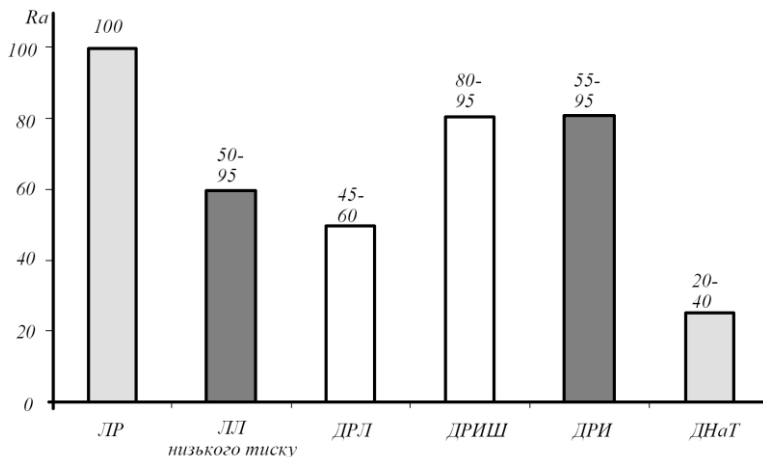


Рисунок 70 – Індекс кольоропередачі (Ra)

Світлова віддача розрядних ламп високого тиску в середньому нижча, ніж у люмінесцентних (рис. 71). Разом з тим у натрієвих ламп найвища світлова віддача серед всіх електричних джерел світла.

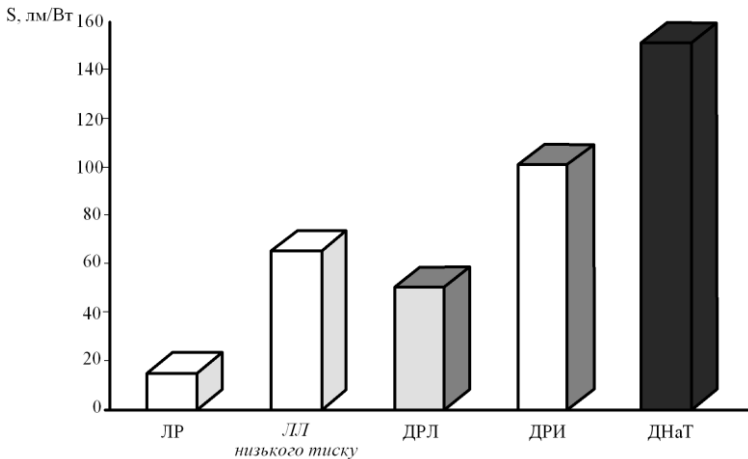


Рисунок 71 – Світлова віддача освітлювальних ламп, S , лм/Вт

У всіх розрядних ламп високого тиску світлова віддача залежить від їх одиничної потужності. Більшій потужності відповідає більша світлова віддача. Наприклад, світлова віддача ламп ДРЛ 80 становить 40 лм/Вт, лампи ДРЛ 2000 - 60 лм/Вт.

Металогалогенні лампи ДРИ поступаються натрієвім по світловій віддачі (65-90 лм/Вт), однак мають однозначно кращий спектральний склад випромінювання, що забезпечує високу якість кольоропередачі.

Експлуатаційні показники розрядних ламп високого тиску в цілому кращі, ніж у люмінесцентних ламп. Завдяки зовнішній колбі основні параметри лампи мало залежать від чинників навколишнього середовища. При температурі повітря $\pm 30^\circ\text{C}$ світловий потік змінюється приблизно на -5 % від номінального значення.

На параметри ртутних ламп високого тиску, працюючих без зовнішньої колби (ДРТ), температура навколишнього середовища істотно впливає. При зниженні температури значно змінюється потужність і потік випромінювання лампи, при підвищенні температури скорочується термін її служби за рахунок потемніння кварцового скла.

Корисний термін служби ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ доведений до 24 тис. год., а лампи ДНаТ \times 2 - 40 – 55 тис. год (рис.72).

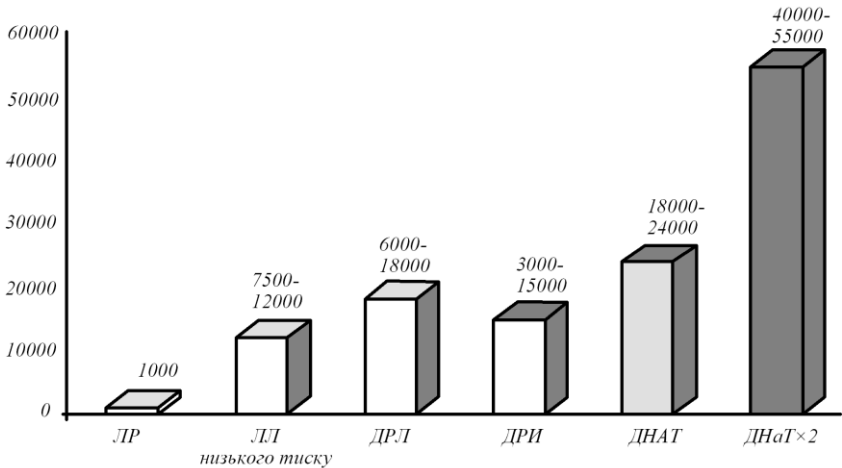


Рисунок 72 – Термін служби, t (год)

Найбільша стабільність за струмом характерна для натрієвих ламп. Їх потік за 10 тис. год роботи зменшується на 15-20 % проти 40 % у ламп ДРИ (за номінальний приймають потік, як і в люмінесцентних ламп, через 100 год роботи).

Малий термін служби ксенонових ламп обумовлений значною температурою поверхні розрядної трубки (750-800 °С).

У процесі розгоряння змінюються всі параметри лампи. Після запалювання дугового розряду струм в ртутних лампах перевершує номінальне значення в 1,5-2 рази. У міру розігрівання тиск парів всередині лампи зростає. Це супроводжується зниженням струму і збільшенням потоку випромінювання.

З ростом тиску підвищується напруга запалювання лампи. У зв'язку з цим повторне запалення згаслої лампи можливе лише після її остивання і відповідного зниження напруги запалювання. Відхилення напруги мережі однозначно впливають на роботу розрядної лампи високого тиску, однак світлова віддача змінюється мало, а у ламп ДНАТ практично залишається такою ж.

При проектуванні та експлуатації освітлювальних установок з розрядними лампами високого тиску необхідно враховувати значні пульсації випромінювання і приймати заходи до зниження їх до необхідних значень.

4.8 Світлодіодні лампи

До 2020 року в Україні планується повністю перейти на світлодіодне освітлювання, що дозволить щорічно економити понад 30 мільярдів гривень, зазначається на урядовому порталі. Наразі в країні існує шість підприємств з серійного виробництва світлодіодних пристроїв, та ще 14 з виробництва комплектуючих. Реалізацією такої техніки вітчизняного виробництва займатиметься Національна лізингова компанія «Укрсвітлолізінг», яка також відповідатиме за залучення інвестицій в цю сферу.

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 зміниться, 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. Розглянемо будову світлодіодної лампи типу ЕКФ, яка представлена на рис. 73. До складу лампи входять наступні компоненти:

- розсіювач 1;
- плата з світлодіодами (кластер) 2;
- радіатор 3, який призначений для охолодження світлодіодів і величина якого залежить від потужності лампи;

- джерело живлення світлодіодів 4 (драйвер);
- цоколь 5.

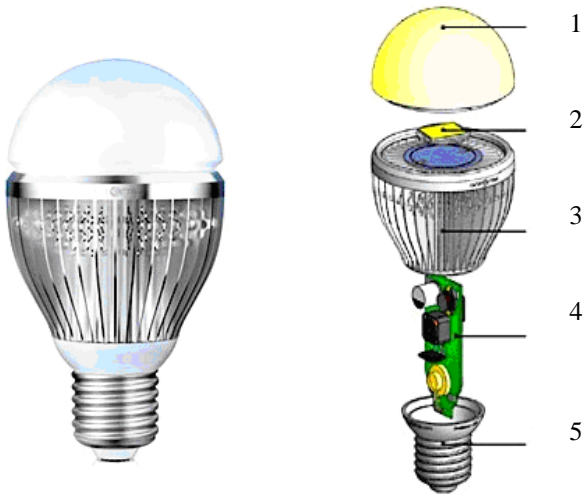


Рисунок 73 - Світлодіодна лампа типу EKF: а) загальний вигляд; б) загальна будова – 1 – розсіювач, 2 – плата із світло діодами (кластер), радіатор, 4 – драйвер, 5 – цоколь

В лампі застосовано стандартний цоколь E27, який закріплюється до лампи за допомогою точкових заглиблень по всій окружності цоколя.

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

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 VP2832A. 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 - $+105^0\text{C}$.

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 - p-n перехід, не досконала, тобто частина енергії електронів витрачається не тільки на вивіг 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. 74.

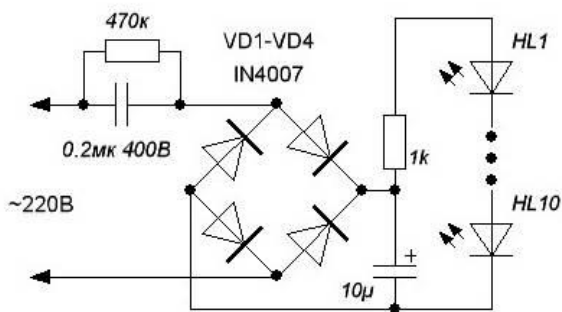


Рисунок 74 – Схема електрична принципова драйвера

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).

Видимий спектр світлодіодних ламп типу RTBL-RE60-CW, LED показаний на рис. 75

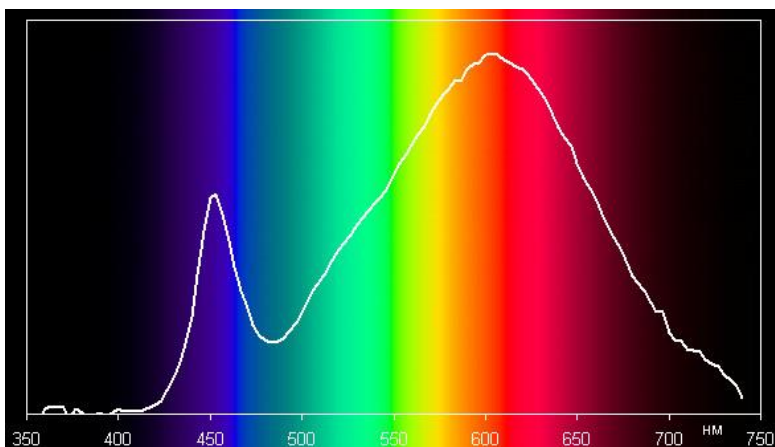


Рисунок 75 – Спектр випромінювання світлодіодної лампи Thomson RTBL-RE60-CW (T11CW)

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.

На рис. рис. 76 показано загальний зовнішній вигляд лінійної світлодіодної лампи типу ССГТ.



Рисунок 76 - Загальний зовнішній вигляд лінійної світлодіодної лампи типу ССТГ

[Навчальне відео на тему "Світлодіодні лампи"](#)

Технічні параметри світлодіодних ламп наведені у табл. 16 - 19.

Таблиця 16 - Технічні параметри світлодіодних ламп RTBL-RE60-CW

Характеристика	Лампа		
	Thomson	Thomson	Thomson
Бренд	Thomson	Thomson	Thomson
Модель	RTBL-RE60-CW	RTBL-RE60-CW	RTBL-RE60-CW
Номінальна напруга, В	100-240	100-240	100-240
Потужність, Вт	11	11	18
Світловий потік, лм	800	700	880
Світлова віддача, лм/Вт*	73	64	49
Кольорова температура, К	5000	3000	3000
Індекс кольоропередачі, Ra	н/д	н/д	н/д
Гермін служби, год.	40000	40000	40000
Кількість циклів вкл./викл.	н/д	н/д	н/д
Діаметр, мм	60	60	121
Висота, мм	125	125	130
Вага, г**	166	154	492

* Світлова віддача розрахована діленням паспортних даних світлового потоку на потужність;

** Виміряно в IXBT.com.

Таблиця 17 - Технічні параметри світлодіодних ламп LED

Характеристика	Лампа		
	Supra	Verbatim	Verbatim
Бренд	Supra	Verbatim	Verbatim
Модель	SL-LED-A60-11W 3000 E27	#52114	#52100
Номинальна напруга, В	220	220-240	220-240
Потужність, Вт	11	10	9
Світловий потік, лм	800	820	440
Світлова віддача, лм/Вт*	73	82	49
Кольорова температура, К	3000	3000	2700
Індекс кольоропередачі, Ra	≥75	≥80	≥80
Термін служби, год.	35000	30000	25000
Кількість циклів вкл./викл.	н/д	20000	8000
Діаметр, мм	60	60	58
Висота, мм	110	173	147
Вага, г**	110	173	147

Таблиця 18 - Технічні параметри світлодіодних ламп ССГТ

Характеристика	Лампа			
	ССГТ-3	ССГТ-6	ССГТ-9	ССГТ-12
Модель				
Номинальна напруга, В	до 250	до 250	до 250	до 250
Потужність, Вт	3	6	9	12
Світловий потік, лм	320	640	960	1280
Кольорова температура, К	3000-6500	3000-6500	3000-6500	3000-6500
Степінь захисту	IP65	IP65	IP65	IP65
Термін служби, год.	40000	40000	40000	40000
ККД, %	80	80	80	80
Регулювання яркості, %	1-100	1-100	1-100	1-100
Освітленість при висоті підвісу 2,5 м, Лк	до 25	до 50	до 75	до 100
Робоча температура, °С	-20 +50	-20 +50	-20 +50	-20 +50

Таблиця 19 - Технічні параметри світлодіодних ламп ЛРС

Характеристика	Лампа	
	1	3
Модель	ЛРС-3	ЛРС-6
Номинальна напруга, В	до 250	до 250
Потужність, Вт	3	6
Світловий потік, лм	320	640

Продовження таблиці 19

1	2	3
Кольорова температура, К	3000-6500	3000-6500
Степінь захисту	IP54	IP54
Термін служби, год.	40000	40000
ККД, %	80	80
Регулювання яркості, %	1-100	1-100
Освітленість при висоті підвісу 2,5 м, Лк	до 25	до 50
Робоча температура, °С	-20 +50	-20 +50

[ПЕРЕЙТИ ДО ЗМІСТУ](#)

5 Установки електричного освітлення

5.1 Класифікація і основні характеристики світильників

Світильник – це сукупність джерела світла і арматури, яка призначена для раціонального перерозподілу і кутової концентрації світлового потоку, захисту очей від чрезмерної яскравості, кріплення та захисту від механічних пошкоджень і забрудненості.

Спільними елементами будови світильників є: корпус, джерело (джерела), оптична система, лампотримачі (патрони), вбудована пускорегулююча апаратура (для газорозрядних джерел) та інші допоміжні пристосування. Оптична система світильників складається з відбивачів, розсіювачів, захисних стекол, екрануючих решіток, кілець і призначена, в основному для перерозподілу в потрібному напрямку світлового потоку джерел, захисту від їх осліплювальної дії або перетворення якісних властивостей видимого випромінювання (зміни спектрального складу і його поляризації).

Світильники класифікують по наступним признакам: за призначенням, за конструктивним виконанням, за способом установки.

За *призначенням* світильники можуть бути для освітлення закритих приміщень, відкритих просторів, корабельні, залізничні та ін.

По *конструктивним виконанням* світильники класифікуються в залежності від ступеня їх захисту від шкідливих факторів навколишнього середовища. Сьогодні діє класифікація освітлювальних приладів (ОП) за захистом від впливів таких основних факторів навколишнього середовища, як пилю і вода, їх безпека для людей і пожежна безпека.

Позначення ступеня захисту складається з двох прописних літер латинського алфавіту - IP (початкові літери англійських слів International Protection) та двох цифр, перша з яких позначає ступінь захисту від пилю,

друга - від води (наприклад, IP54). Для світильників, що мають деякі конструктивні особливості, позначення ступеня захисту не має літер IP, а в першій цифрі, яка показує ступінь захисту від пилу, доданий знак «штрих» (наприклад, 54). Характеристика різних ступенів захисту і позначень виконання світильників за захистом від пилу і води наведена в табл. 20

Таблиця 20 – Ступінь захисту

	Коротка характеристика	Короткий опис предметів, які не повинні попадати в корпус
0	Захисту немає	Немає спеціального захисту
1	Захист від проникнення твердих тіл розміром 50 мм	Велику ділянку поверхні людського тіла (наприклад, рука), немає захисту від навмисного проникнення. Тверді тіла діаметром більше 50мм
2	Захист від проникнення твердих тіл розміром 12 мм	Стрижні і т.п. довжиною не більше 80 мм. Тверді тіла діаметром більше 12 мм
3	Захист від проникнення твердих тіл розміром 2,5 мм	Інструмент, дріт тощо, діаметр або товщина яких більше 2.5 мм. Тверді тіла діаметром більше 2.5 мм
4	Захист від проникнення твердих тіл розміром 1 мм	Дріт або смуги товщиною більше 1 мм. Тверді тіла діаметром більше 1мм
5	Захист від пилу	Проникнення пилу повністю не припинено, але проникаюча всередину пил не порушує нормальної роботи
6	Повний захист від пилу	Проникнення пилу попереджено повністю
1	Захисту немає	Немає спеціального захисту
2	Захист від капель води, яка падає вертикально	Краплі води (падаючі вертикально) не повинні мати шкідливого впливу
3	Захист від капель води, яка падає під кутом 15 ⁰ до вертикалі	Краплі води, що падають вертикально, не повинні мати шкідливого впливу, коли корпус нахилений на кут 15 ⁰ від його нормального положення
4	Захист від дощу	Дощ, що падає під кутом 60 ⁰ до вертикалі, не повинен мати шкідливого впливу
5	Захист від бризки води	Бризки води, що падають на корпус з усіх боків, не повинні мати шкідливого впливу
6	Захист від струменя води	Струмінь води з насадки, падаюча з усіх напрямків на корпус, не повинна надавати шкідливого впливу
7	Захист від хвиль води	Вода при виникненні хвилі або від потужних струменів не повинна проникати в корпус в кількості, яка справляє шкідливий вплив
8	Захист при зануренні в воду	Вода не повинна потрапляти всередину корпусу в кількості, яка б справляє шкідливий вплив, при зануренні його у воду на відповідний час і глибину
		Примітка. Як правило, виріб має герметизацію, але для деяких виробів допускається проникнення всередину води, яка не надає шкідливого впливу

Вибирати конструктивні виконання світильників для пожежо- та вибухонебезпечних приміщень слід не тільки з урахуванням вказаних вище ступенів захисту від пилу і води, але також і в залежності від класу приміщень за пожежонебезпекою за розд. VII-4 ПУЕ, а для вибухонебезпечних приміщень - від класу приміщень за вибухонебезпечністю за розд. VII-3 ПУЕ і категорій та груп вибухових сумішей, які можуть утворюватися в приміщеннях. У зазначених розділах ПУЕ наводяться допустимі ступені захисту світильників для пожежо- і взривонебезпечних приміщень різних класів.

Вказівки та рекомендації щодо конструктивного вибору світильників в залежності від умов навколишнього середовища не охоплюють повністю всі фактори, що визначають доцільність чи можливість застосування того чи іншого світильника для конкретних них умов. Відзначимо деякі додаткові рекомендації, які доцільно враховувати при виборі конструктивного виконання світильників.

Для приміщень з великим вмістом пилу, диму, кіптяви і з хімічно-активним середовищем рекомендується застосовувати світильники конструктивних схем і виконані з таких матеріалів, які в найменшій мірі піддаються запиленню і забрудненню, краще відновлюють світлотехнічні характеристики після багаторазового очищення і більш стійкі до хімічних впливів. За вказаними ознаками світильники розташовуються у такому порядку від кращих до гірших:

а) за ступенем запилення з різними конструктивними схемами:

- з плоским або опуклим склом і з ущільненням на вихідному отворі світильника;

- із замкнутим скляним ковпаком з ущільненням;

- без відбивача;

- те ж, але з відбивачем;

- відкриті з отворами у верхній частині для природної вентиляції;

- те саме без отворів для вентиляції;

- зі скляним ковпаком замкнутим, сполученим з корпусом або відбивачем без ущільнення, або з екранною решіткою;

б) за ступенем відновлюваності світлотехнічних характеристик, що відображають і пропускають світло поверхонь і матеріалів після чисток:

- силікатна емаль, скляне дзеркало, силікатне скло;

- алюміній альзакірований або хімічно об'ячений;

- сталь алюмінізована, скло органічне;

- емалі (крім силікатної) і фарби, поверхні алюмініровані у вакуумі;

в) за ступенем стійкості до хімічних впливів:

- фарфор, силікатне скло, пластмаси;

- поверхні, покриті силікатною емаллю, скло органічне;

- алюміній, сталь і чавун.

Для приміщень особливо сирих, з хімічно активним середовищем, а також поза будівлями повинні, як правило, застосовуватися світильники зі ступенем захисту не нижче IP53 або 5'3, але більш кращими є ступені IP54 і 5'4.

У деяких особливо запилених виробничих приміщеннях застосовується гідро видалення пилу, при якому всі поверхні приміщення обливаються водою. У таких приміщеннях ступінь захисту повинна бути не нижче IP55 або 5'5.

У пильних приміщеннях найбільш доцільні ступені захисту світильників IP6X, або IP5X, 5'X в залежності від кількості та характеру пилу, а при пилу, який не проводить струм, як виняток допускається IP2X. Застосування в пильних приміщеннях світильників зі ступенем захисту 2'X не рекомендується.

У приміщеннях запилених і з хімічно активним середовищем поряд зі світильниками, що мають відповідні ступені захисту, рекомендується застосовувати дзеркальні лампи розжарювання і рефлекторні люмінесцентні лампи, що встановлюються у відкритих світильниках, придатних для даних умов середовища, переважно зі ступенем захисту 5' 3 та 6'3.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних у відношенні враження електричним струмом (див. розд. 1-1 ПУЕ) при встановленні світильників з лампами розжарювання і ДРЛ на висоті менше 2,5 м і при живленні світильників напругою вище 42 В з метою підвищення електробезпеки конструкція світильників не повинна дозволити доступ до ламп без застосування якого-небудь спеціального пристосування або інструменту, наприклад ключа, викрутки, плоскогубців і т. п. Така міра виключає можливість доступу до струмоведучих частин встановлених на невеликій висоті світильників некваліфікованого персоналу і випадкових осіб.

Усі люмінесцентні світильники, виготовлені промисловістю, мають конструкцію, що виключає можливість торкання до струмоведучих частин, що дозволяє встановлювати їх налюбій висоті.

Всі світильники з люмінесцентними лампами мають вбудовані в них ПРА з конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності. Застосування світильників без таких конденсаторів забороняється.

Для більшості типів світильників з лампами ДРЛ застосовуються незалежні ПРА, що встановлюються окремо від світильника. Тільки незначна кількість типів світильників внутрішнього освітлення має вбудовані ПРА. Ступінь захисту незалежних ПРА від дії навколишнього

середовища повинна відповідати умовам середовища приміщень.

За способом установки світильники діляться на підвісні, стельові, вбудовані, настінні, настільні, встановлені на підлозі (торшери), консольні торцеві, ручні, головні.

Основними *характеристиками* кожного світильника є:

- *тип джерела світла*, для якого призначено світильник (Н – лампа розжарювання загального призначення, И – кварцові галогенні лампи розжарювання, Л – прямі люмінесцентні лампи, Ф – фігурні люмінесцентні лампи, Р – ртутні лампи типу ДРЛ, Г – металогалогенні лампи типу ДРИ, Ж – натрієві лампи, С – дзеркальні лампи-світильники, К – ксенонові трубочаті лампи);

- *кількість* ламп у світильнику;

- *спосіб встановлення* світильника;

- *світлорозподіл* – розподіл світлового потоку в просторі, визначається класом світильника (прямого світла – П, переважно прямого світла – Н, розсіяного світла – Р, переважно відбитого світла – В, відбитого світла – О), або типом кривої сили світла (концентрована – К, глибока – Г, косинусна – Д, напівширока – Л, широка – Ш, рівномірна – М, синусна - С);

- *коефіцієнт корисної дії η* вказує, яку частку становить світловий потік світильника Φ_c від світлового потоку встановленої лампи Φ_d : $\eta = \Phi_c / \Phi_d \cdot 100\%$;

- *захисний кут світильника γ* характеризує зону, в межах якої око спостерігача захищено від прямої дії лампи;

- *потужність* ламп, на яку розраховано світильник;

- *кліматичне виконання* світильника;

- *категорія розміщення*.

В табл. 21 приведено класи світлорозподілу освітлювальних приладів.

Таблиця 21 - Класи світлорозподілу освітлювальних приладів

Позначення класів світильників по світлорозподілу	Назва класів світильників по світлорозподілу	Доля світлового потоку, направленного в нижню на півсферу від всього потоку світильника $\Phi_0/\Phi_{св}$
П	Світильник прямого світла	$\Phi_0/\Phi_{св} > 80$
Н	Світильник переважно прямого світла	$60 < \Phi_0/\Phi_{св} \leq 80$
Р	Світильник розсіяного світла	$40 < \Phi_0/\Phi_{св} \leq 60$
В	Світильник переважно відбитого світла	$20 < \Phi_0/\Phi_{св} \leq 40$
О	Світильник відбитого світла	$\Phi_0/\Phi_{св} \leq 20$

В табл. 22 приведено типи кривих сили світла освітлювальних приладів.

Таблиця 22 - Типи кривих сили світла освітлювальних приладів

Позначення типу кривої сили світла	Тип кривої сили світла	Зона напрямлень максимальної сили світла, град.
К	Концентрована	0 - 15
Г	Глибока	0 – 30; 180 - 150
Д	Косинусна	0 – 35; 180 - 145
Л	Напівширока	35 – 55; 145 - 125
Ш	Широка	55 – 85; 125 - 95
М	Рівномірна	0 - 90; 180 - 90
С	Синусна	70 – 90; 110 - 90

На рис. 77 приведено типові криві світла в абсолютних одиницях при світловому потоку джерела світла, який дорівнює 1000 лм.

Захисний кут, тобто кут між горизонталлю і лінією, що з'єднує крайню точку тіла розжарення з протилежних краєм відбивача, характеризує світильники з точки зору захисту очей від сліпучої дії джерела світла

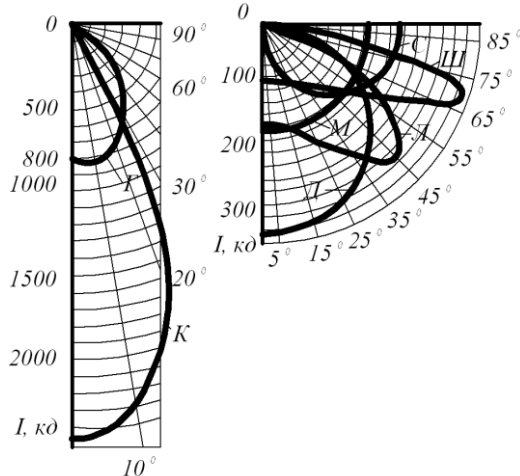


Рисунок 77 - Типові криві сили світла в абсолютних одиницях при світловому потоку джерела світла, який дорівнює 1000 лм:

К – концентрована; Г – глибока; Д – косинусна; М – рівномірна;
Ш – широка; С – синусна; Л – напівширока

Значення захисного кута залежить від конструкції світильника і може бути визначено відповідно з рис. 78 за виразом:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (1.45)$$

де γ – захисний кут світильника (може бути віднесений як до верхньої так і до нижньої на півсфери);

h – мінімальна висота від краю вхідного отвору світильника до тіла, яке світиться джерела, або мінімальна висота екрануючих елементів решітки, м. (рис. 78);

l – максимальна відстань по горизонталі від основи висоти до краю вихідного отвору або між екрануючими елементами решітки, м.

Захисний кут застосовуваних світильників зазвичай становить від 12 до 40°. Поняття захисного кута також застосовується, хоча і умовно, до відбивачів з просвітлюючими матеріалами.

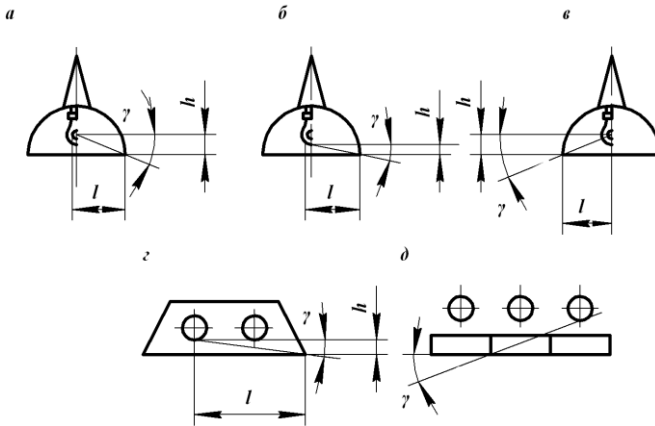


Рисунок 78 – Захисний кут світильника, який створюється відбивачами (а, б, в, г) і екранною решіткою (д):

- а) - для світильників з лампами розжарювання; б), в) – газорозрядними лампами високого тиску; г), д) – люмінесцентними лампами

Коефіцієнт корисної дії світильника - це відношення світлового потоку світильника до світлового потоку джерела світла:

$$\eta = \frac{\Phi_{св}}{\Phi_{л}}. \quad (1.46)$$

Значення ККД світильника характеризує його економічність і залежить від матеріалу освітлювальної арматури і конструкції світильника в цілому. Вживані в практиці світильники мають ККД від 0,45 до 0,9. Необхідно відзначити, що в експлуатації при незадовільному догляді ККД світильника може значно (у два рази і більше) знижуватися.

Приклади світильників для ламп розжарювання, люмінесцентних ламп низького тиску і високого тиску показано на рис. 79.



НСП-18Вex



ЛСП-02У



ЛСП-12У



РСП-21Вex



ЖСП-18Вex



ГСП-11Вex

Рисунок 79 - Приклади світильників для ламп розжарювання, лінійних і енергозберігаючих люмінесцентних ламп низького тиску і ламп високого тиску

Із всього різноманіття світильників, які випускаються в Україні відомою фірмою ООО «ОСП Корпорація Ватра» в сільськогосподарському виробництві отримали широке застосування не всі. Серед них світильники загального освітлення з *лампами розжарювання* серії НСП-11, НСП-11ВЕх, НСП-18ВЕх, НСП-21ВЕх, НСП-23, для пильних і вологих приміщень НСП-19, НСП-20, для коридорів, підвалів, під'їздів, низьких промислових і сільськогосподарських приміщень НПП-01В; з *газорозрядними лампами високого тиску* ГСП-11ВЕх, ЖСП-11ВЕх, РСП-11ВЕх, ГВП-14В2Ех ПП-14В2Ех, ЖВП-14В2Ех, ЖПП-14В2Ех, РВП-14В2Ех, РПП-14В2Ех, ГСП-18ВЕх, ЖСП-18ВЕх, РСП-18ВЕх, ЖСП-21ВЕх, РСП-21ВЕх.

Для освітлення сільськогосподарських приміщень з важкими умовами навколишнього середовища, високою запиленістю, вологістю, складів, приміщень з хімічноактивним середовищем знайшли застосування світильники з *люмінесцентними лампами низького тиску* ЛСП-02У, ЛСП-04У, ЛПП-04В, ЛПП-07В, для загального освітлення в основних і допоміжних приміщеннях з нормальними і важкими умовами знайшли застосування світильники типів ЛПБ-01В, ЛПП-05В, ЛСП-03ВЕх.

Кожному світильнику присвоюють шифр. Структура умовного позначення світильників за ДБН В 2.5-23 – 2003, ДСТУ ІСЕ 60598-2-6:2007 приведена на рис.1.76.

[Каталог світильників марки «Ватра»](#)

5.2 Прожектори

Прожектори - освітлювальні прилади, які отримали широке розповсюдження для освітлення великих відкритих просторів. При освітленні прожекторами полегшується експлуатація освітлювальної установки за рахунок скорочення кількості обслуговуваних світлових точок, зменшується число опор або щогл, довжина електричних мереж, поліпшуються умови освітлення вертикальних поверхонь. Однак при цьому посилюється сліпуча дія прожекторів, з'являються різкі тіні від великих предметів, розташованих на освітлюваній території, виникає потреба кваліфікованого обслуговування прожекторів (чищення відбивачів і, в ряді випадків фокусування).

Для освітлення відкритих просторів застосовуються прожектори типів НКУ-12У, НО-16В та ін. з лампами розжарювання потужністю на 300, 500, 1000 Вт, і прожектори з газорозрядними лампами високого

тиску типів ЖО-01, РО-01В, ГО-02В, ЖО-02В, РО-02В 16В, ГО-03В ЖО-03В, РО-03В, ИО-03В, ГО-05В, ЖО-05В, РО-05В, ГО-12В, ЖКУ-11У, РКУ-11У, ЖКУ-16У, РКУ-16У, ЖБУ-01В, РБУ-01В та ін. В якості джерела світла в прожекторах використовуються лампи ДРЛ потужністю 80, 125, 250, 400 Вт, ДРИ – 100, 150, 250, 400, 700, 1000, 2000 і 3500 Вт, ДНаТ – 70, 100, 150, 250, 400, 700, 1000, прожекторні лампи розжарювання галогенні -1000, 1500 і 2000 Вт, ксенонові лампи - 10, 20 і 50 кВт.

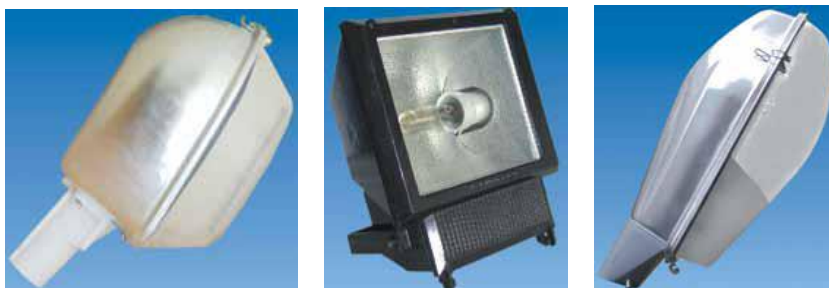
Схеми умовного позначення світильників поуказано на рис.80



Рисунок 80 – Схема умовного позначення світильників

Приклади загального вигляду прожекторів з лампами

розжарювання і газорозрядними лампами високого тиску показано на рис. 81



ЛКУ-13У

ГО-03В

ЖКУ-11У

Рисунок 81 - Приклади прожекторів для ламп розжарювання, енергозберігаючих люмінесцентних ламп низького тиску і ламп високого тиску

[Каталог прожекторів марки «Ватра»](#)

[ПЕРЕЙТИ ДО ЗМІСТУ](#)

6 Типові схеми керування освітлювальними установками

Більшість технологічних процесів сільськогосподарського виробництва пов'язане з життєдіяльністю живих організмів, які еволюціонували в природних умовах, де сильну дію на їх розвиток справляло випромінювання Сонця.

При утриманні тварин та птиці в штучних умовах світлове випромінювання також грає важливу роль у їх розвитку і життєдіяльності.

Світловий фактор впливає на біологічні ритми тварин і при оптимальних умовах позитивно впливає на ріст і розвиток молодняку, нормалізує білковий, мінерально-вітамінний і вуглеводний обміни, що, у свою чергу, призводить до підвищення продуктивності та відтворювальної функції сільськогосподарських тварин.

Основними параметрами видимого випромінювання, яке діє на

тварин, є періодичність освітлення, рівень освітленості і спектральний склад.

Періодичність освітлення впливає на статеве дозрівання тварин та птиці: короткий світловий день його затримує, а довгий - прискорює. В залежності від освітленості змінюються фізіологічний стан, продуктивність тварин і якість приплоду. Дослідженнями виявлено вплив спектрального складу видимого випромінювання на продуктивність птиці. Так, наприклад, опромінення курей монохроматичним випромінюванням помаранчевого та червоного кольору збільшує їх живу масу та несучість на 5-12 %.

Якщо застосовувати автоматичне управління режимом роботи освітлювальних установок можна зекономити електроенергію, оптимізувати вихід продукції при мінімальних енерговитратах.

На економічність, надійність і довговічність роботи освітлювальних установок істотний вплив роблять коливання і відхилення напруги мережі живлення. Так, допустиме в сільськогосподарських електроустановках відхилення напруги +5 % скорочують термін служби розрядних ламп на 15%, а ламп розжарювання в 2 рази і т.д.

Таким чином, автоматичне керування освітлювальними установками - це і економія електроенергії, і збільшення фактичного терміну служби джерел випромінювання, і покращення якості освітлення.

Необхідна тривалість світлового дня в тваринницьких приміщеннях коливається від 8 до 18 год. і залежить від виду тварин, їхнього віку та стану. Доступ природного світла у тваринницьке приміщення обмежений. Освітленість у більшості випадків не перевищує 1 % зовнішньої і різко зменшується до центру приміщення. Разом з тим у світлий час доби на площах, що примикають до стін з вікнами, рівень природної освітленості може бути цілком достатнім. У подібних приміщеннях повинна бути передбачена можливість відключення рядів світильників, найближчих до світлових проходів.

Найбільш високі вимоги висувають до режимів освітлення у птахівництві. Поступове зміна тривалості світлового дня, подібно сезонним природним змінам, підвищує продуктивність курей-несучок на 10-15 %. Ще 2-2,5 % надбавки продуктивності дає плавна (або ступінчаста) зміна освітленості на початку і кінці світлового періоду. Розбіжності у продуктивності птиці при ступінчастій і плавній зміні освітленості не виявлено. При двоохступеновому переході від темряви до світла рекомендують у першу ступінь включати 15-20 % світильників. Між включеннями першого і другого ступенів досить 2-3 хв. З настання сутінків лампи відключають поступово у зворотному порядку.

Суворе дотримання світлового режиму з імітацією «світланку» і

«заходу» можливе лише в без віконних пташниках.

При вирощуванні м'ясних курчат (бройлерів) ефективний режим переривистого освітлення, наприклад періодичне включення і відключення освітлювальної установки через визначені (у тому числі нерівні) проміжки часу. Поступово повинен знижуватися й рівень освітленості в пташнику з 20 до 3 лк.

Найпростіший і найбільш поширений прилад автоматичного програмного керування світлотехнічними установками - двопрограмне моторне реле часу 2РВМ. Заведення пружини його годинникового механізму здійснюється електричним приводом автоматично. Диск має дві програми розраховані на 24 год. кожна. Інтервали включення і відключення навантаження можуть бути задані з точністю ± 15 хв. для однієї програми і ± 20 хв - для іншої.

Реле 2РВМ використовують в системах управління освітленням пташників та тваринницьких приміщень, УФ та ІЧ опромінення тварин, птиці, а також рослин в теплицях.

Для програмного автоматичного управління технологічним освітленням у пташнику розроблена установка ПРУС-2. Вона може задавати будь-яку програму зміни тривалості світлового дня для птиці всіх видів.

Основний елемент установки - годинниковий механізм КТ (рис. 82), подібний застосованому в реле 2РВМ. Програма задається механічно за допомогою косо усіченого циліндра.

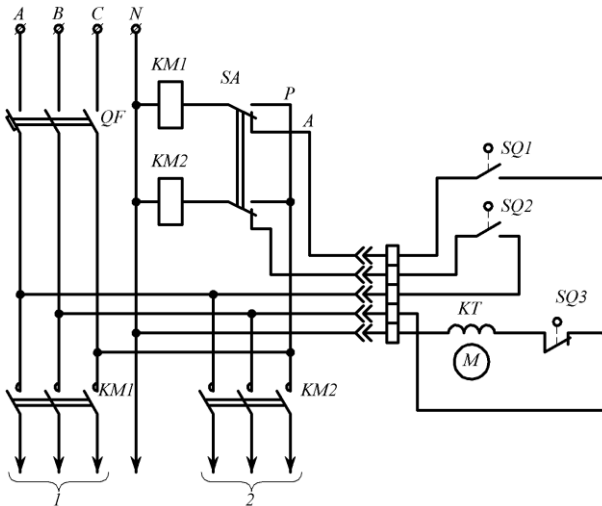


Рисунок 82 – Принципова електрична схема установки ПРУС-2

Зчитується вона через важелі-копіри двома мікрровимикачами SQ1 і SQ2, які через магнітні пускачі КМ1 і КМ2 включають або відключають певну групу світильників в пташнику. Копіювальний механізм забезпечує спрацювання мікро вимикачів з інтервалом 2-5 хв. Цього достатньо для того, щоб при ступінчастій імітації «світанку» і «заходу» не допустити стресу птиці.

В сільських електричних мережах зі значними коливаннями і відхиленнями напруги доцільно застосовувати тиристорні обмежувачі напруги ТОН, розраховані на роботу в трифазній мережі напругою 220/380 В з навантаженням до 100 кВ·А.

В таблиці 23 приведено технічні характеристики ТОН для фазової напруги 220 В.

Таблиця 23 – Технічні характеристики ТОН

Тип	Допустимий струм, А	Регулювання		Число фаз	Габарити, см	Маса, кг
		межі, %	спосіб			
ТОН-3-63	63	0...+30	автоматичний	3	36×40×80	49
ТОН-3-100	100	0...+30	автоматичний	3	36,8×40×80	50
ТОН-01-ТО	25	+10	ручний	По заказу	64,5×40×21	15

Принципова трифазна схема вмикання РЛ (розрядна лампа) показана на рис. 83.

З курсу ТОЕ відомо, що для виділення гармонійної складової потрійної частоти досить струмоприймачі поєднати в зірку (фільтр третьої гармоніки), як це показано на рис. 2.8. Якщо схема зібрана на лампах ЛБ-40 або ЛД-40, то вольтметр PV покаже напругу 40 В, а при замкнутому ключі SA2 амперметр покаже струм 90 мА. Це струм і напруга третьої гармоніки. Осцилограф, включений замість вольтметра, підтверджує це. Якщо РЛ замінити ЛР (лампа розжарювання), то стрілки обох приладів залишаться на нульовій позначці. Електричний струм у трифазній схемі частотою 150 Гц виробляється (генерується) РЛ.

Схеми управління тиристорними ключами різноманітні і складні. Вони містять елементи порівняння, синхронізації, затримки і т. п. При проходженні струму через нуль тиристор закривається. Для відкриття його треба на управляючий електрод подати імпульс напруги однакової полярності з робочою напругою.

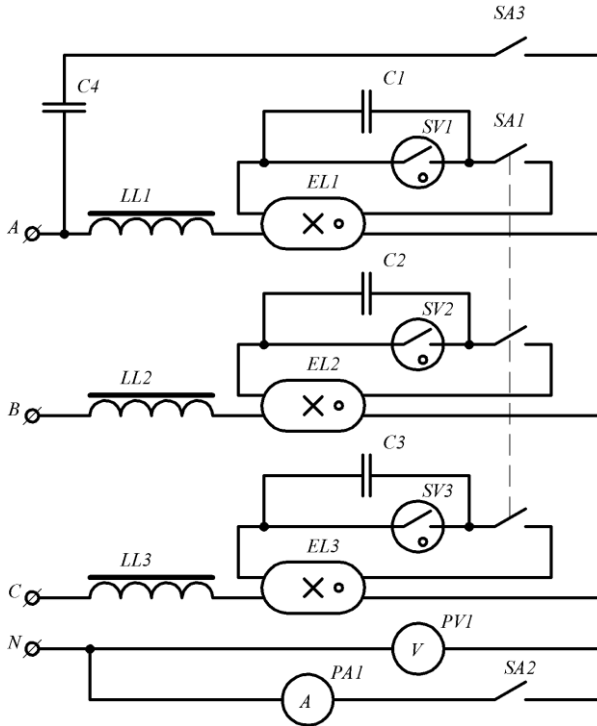


Рисунок 83 – Трифазна схема вмикання РЛ

На рис. 84 наведено осцилограми, отримані при фазовому тиристорному регулюванні.

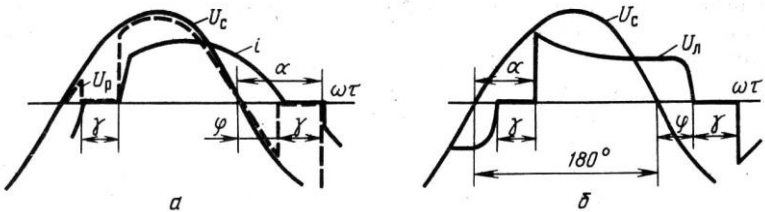


Рисунок 84 – Осцилограми, які отримані в колі з тиристорним регулюванням: а) напруги; б) струму

Чинне значення вихідної напруги U_p визначається тривалістю включення тиристорного ключа. На цьому рисунку φ - кут відставання

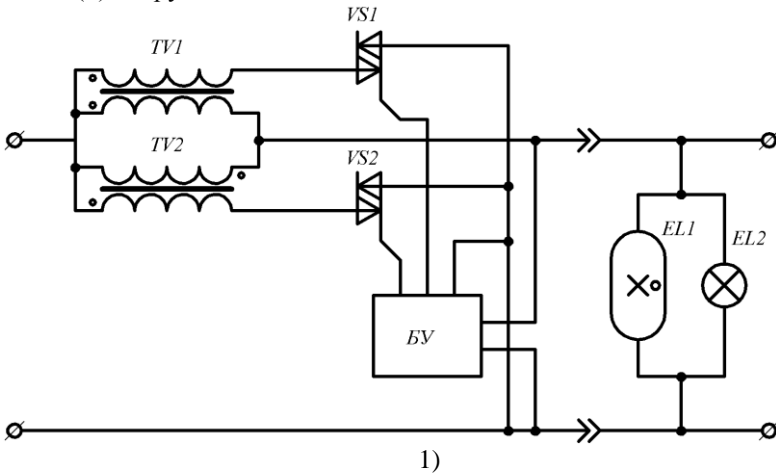
струму від напруги, γ - кут шпаруватості, $\alpha = \varphi + \gamma$ - кут регулювання.

ТОН зручний при постійній підвищеній напрузі. Знижену напругу він не регулює. У цьому випадку в ланцюг необхідно включити вольтододатковий трансформатор з вторинною напругою, рівною різниці номінальної і мінімальної напруг.

Тривала перерва струму в описаних вище схемах призводить до небажаних ефектів. Різко зростає коефіцієнт пульсації, в тому числі і у ЛР. У газорозрядних лампах, крім того, знижується потік випромінювання приблизно пропорційно $2\gamma/\pi$ при номінальній діючій напрузі.

Тираспольський завод «Електромаш» випускає стабілізатори напруги СТС2 потужністю 10, 16, 25, 40, 63 і 100 *кВА*, які дозволяють з високою точністю стабілізувати вихідну напругу ($\pm 1\%$) при зміні напруги живильної мережі в межах (0,85-1,1) U_n при збереженні синусоїдальності. Їх робота заснована на автотрансформаторному принципі, тому поряд зі складною зрештою їм властива висока маса - від 200 до 775 *кг*, і вони, як правило, застосовуються у вимірювальних схемах і інших відповідальних установках.

Недоліки тиристорного фазового регулювання можуть бути подолані за рахунок використання вольтододаткових і вольтозменшуючих трансформаторів (рис. 85 (1)). Додавка напруги і віднімання відбуваються кожні півперіода. Момент включення кожного з трансформаторів визначається рівнем напруги, що підводиться. На рис. 85 (2) наведені осцилограми вихідної напруги такого стабілізатора при номінальній (а) і зниженій (б) напрузі.



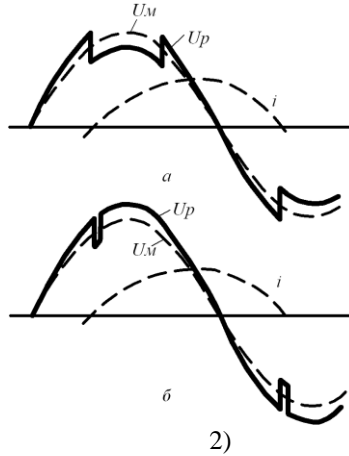


Рисунок 85 – 1 - стабілізатор напруги з вольтододатковими трансформаторами; 2 - осцилограма напруги стабілізатора з вольтододатковими трансформаторами і тиристорними ключами при $\cos\phi = 0,5$; U_c - напруга мережі; U_p - напруга на навантаженні; а - при номінальній напрузі; б - при зниженій напрузі мережі

Відсутність пауз струму знімає всі недоліки фазового регулювання робочої напруги. Маса таких стабілізаторів визначається головним чином масою вольтододаткових трансформаторів, що залежить від величини вольтодобавки. Для стабілізації напруги з параметрами $(0,9-1,1) U_n$ їх маса складає близько 25 % маси силового трансформатора потужністю, рівної потужності, споживаної освітлювальною мережею.

Опір холодної нитки ЛР у 14-16 разів менше робочого опору. Включення ЛР супроводжується кидком струму приблизно тієї ж кратності. Це призводить до значних динамічних навантажень на спіраль нитки. Перегорання ЛР спостерігається найчастіше саме в цей момент. Плавне підвищення напруги живлення дозволяє заощадити до 30 % ЛР. Плавне автоматичне регулювання передбачене в ТОН-3. За відсутності заводських установок можна на місці виготовити простий пристрій обмеження пускових струмів (рис.86).

Трансформатор TV на 24/220 В вибирається за потужністю в межах 7,0 % споживаної повної потужності S . В якості реле часу застосований стартер СК-40 для схем з ЛЛ. Пусковий струм схемою знижується до 2-3-кратного. Цей трансформатор декілька більшої потужності $(0,10S)$ можна використовувати для ступінчатого регулювання напруги.

На рис. 2.12 представлена схема електрична принципова установки «ТІРОС».

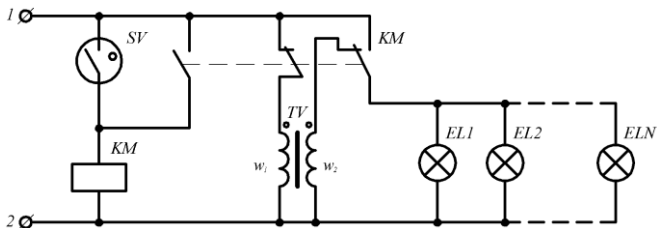


Рисунок 86 – Схема пристрою для обмеження пускових струмів ЛР

Установка «ТІРОС» призначена для забезпечення світлового режиму при вирощуванні курчат бройлерів (рис.87).

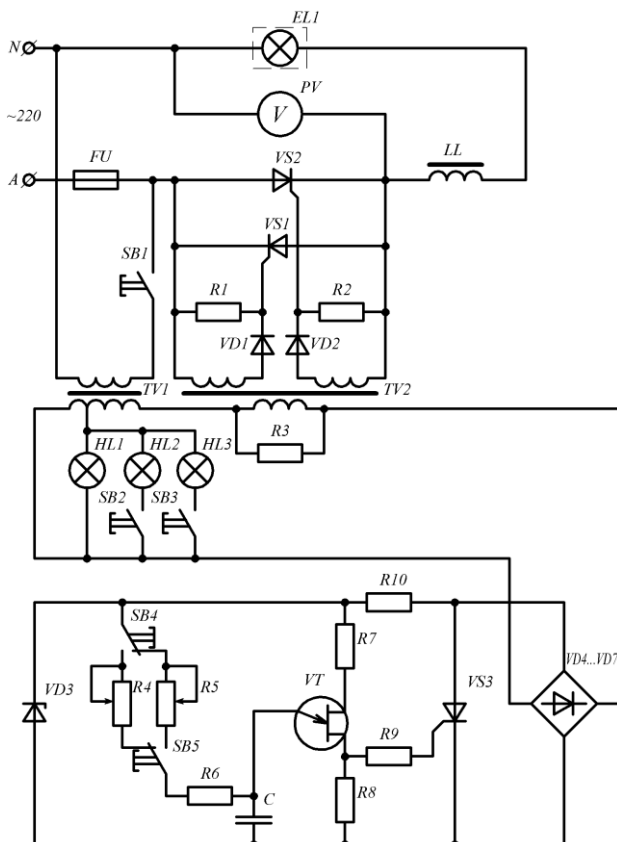


Рисунок 87 – Схема електрична принципова установки «ТІРОС»

Принцип дії даної установки заключається в наступному: при включенні кнопки SB1 подається напруга живлення 220В на первинну обмотку реформатора TV1. Загоряється лампочка HL1, сигналізуючи про наявність напруги живлення.

Напруга вторинної обмотки трансформатора ~110 В через первинну обмотку трансформатора управління TV2 поступає на випрямляч VD4-VD7.

Випрямлена напруга поступає на анод-катод тиристора VS3 і через баластний резистор R10 - на стабілітрон VD3.

Стабілізована напруга через резистори R7, R8 поступає відповідно на бази 2 і 1 одноперехідного транзистора VT. При включенні однієї із кнопок вибору режиму освітленості SB2 загоряється відповідно одна з сигнальних ламп HL2 або HL3 і утворюється коло заряду конденсатора С від стабілізованої напруги через резисторів R4 або R5. Протягом частини півперіоду напруги живлення конденсатор С заряджається до величини напруги пробою переходу емітер-база 1 транзистора VT. В цей момент настає розряд конденсатора С через управляючий електрод тиристора VS3. Розрядний струм конденсатора вмикає тиристор VS3.

Так як по випрямленій стороні міст виявляється закороченим через тиристор VS3, то напруга вторинної обмотки трансформатора TV1~110 В виявляється практично повністю прикладена до первинної обмотки трансформатора TV2. Ця напруга від вторинної обмотки трансформатора через діоди VD1 і VD2 потрібної полярності поступає на управляючі електроди силових тиристорів VS1, VS2. Вмикається той з них, до якого в даний напівперіод прикладена напруга мережі в провідному напрямі.

По закінченні напівперіоду напруг живлення вмикається тиристор VS3 і один з включених тиристорів VS1 або VS2. **Знову** починає заряджатися конденсатор С до напруги пробою. Потім процес повторюється.

Змінюючи величину опору резистора R4 або R5 можна регулювати кут включення тиристорів VS1 або VS2, і таким чином середнє значення напруги на лампах розжарювання EL.

Для зниження перешкод по мережі, викликаних несинусоїдальною формою напруги живлення, послідовно з навантаженням включається дросель LL, який подає високу напругу для вищих гармонічних складових.

Захист тиристорів від струмів коротких замикань здійснюється швидкодіючим запобіжником FU типу ПНБ.

Послідовність включення установки:

- ввімкнути кнопку SB1. Повинна загорітися лампа HL1, сигналізуючи про наявність напруги живлення на схемі управління;

- ввімкнути кнопку вибору режиму освітленості SB2, повинна загорітися лампа HL2 першого режиму освітленості. За допомогою резистора R4 по вольтметру установити потрібну величину напруги ламп EL для першого режиму;

- вимкнути кнопку SB2 і ввімкнути кнопку SB3, повинна загорітися лампочка HL3 другого режиму освітленості.

За допомогою резистора R5 по вольтметру установити потрібну величину напруга на лампі EL для другого режиму. Надалі по мірі необхідності зробити переключення з одного режиму на другий шляхом вимикання SB2 і включення кнопки SB3 (або SB2).

Для пташників без вікон широке застосування знайшов регулятор освітленості РОП-15-16-24 (установка «РАССВЕТ»).

В основу роботи регулятора положено принцип управління в часі вихідною напругою трифазного випрямляча. Процес зчитування програми і перетворення її в змінення напруги випрямляча здійснюється логічно зв'язаними електронними блоками: програмуючого пристрою, пристрою імпульсно-фазового управління, пристрою синхронізації, таймера, фотолічильної головки, механізму крокового переміщення, блоку тиристорів, блоку живлення.

На рисунку 88 представлена схема електрична структурна регулятора освітленості РОП-15-16-24.

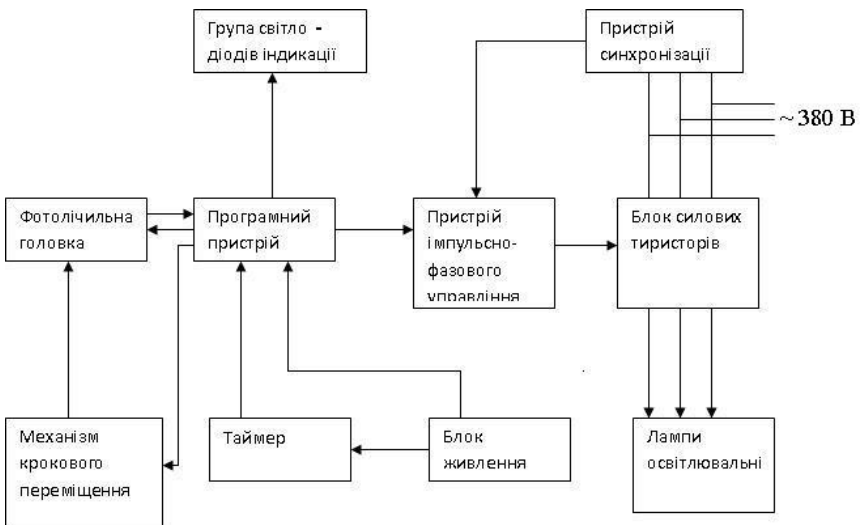


Рисунок 88 - Схема електрична структурна регулятора освітленості РОП-15-16-24

Освітлення територій сільськогосподарських підприємств у нічний час включається автоматично за допомогою різноманітних пристроїв, серед них: фотореле, фото вимикачі.

На рис. 89 показано загальний вигляд фотореле ФР-601.



Рисунок 89 - Загальний вигляд фотореле ФР-601.

Фотореле ФР-601 призначено для автоматичної вмикання і вимикання вуличного освітлення в залежності від природної освітленості. На рис. 90 представлено схему електричну принципову фотореле ФР-2.

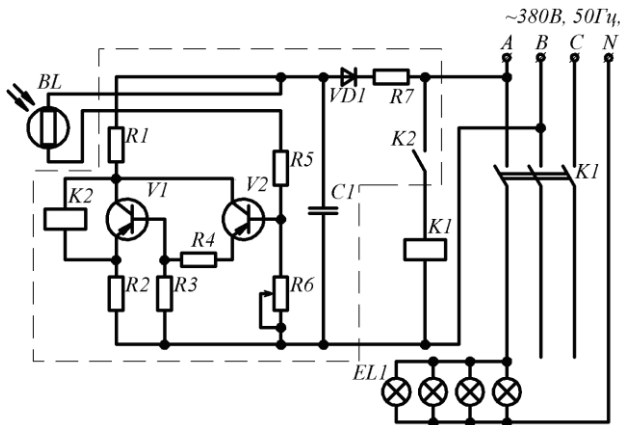


Рисунок 90 - Схема електрична принципова управління вуличним освітленням за допомогою фотореле ФР-2

У якості фотодатчика ВЛ фотореле ФР-2 використовується фоторезистор типу ФСК-ГІ в герметичному виконанні. Фоторезистор може бути вмонтованим в корпус приладу або в залежності від умов експлуатації може розміщуватись окремо від реле. Фоторезистор треба встановити так, щоб на його поверхню не потрапляли прямі сонячні промені. Принцип роботи фотореле полягає в наступному:

Збільшення освітленості зменшує опір фотодатчика. При цьому змінюється потенціал на базі транзистора VT2. Транзистор VT2 відкривається і відкриває транзистор VT1, який шунтує при цьому обмотку реле К2. Це приводить до відключення магнітного пускача К1. При зменшенні освітленості опір фотодатчика збільшується, транзистори VT1 та VT2 зачиняється, спрацьовує реле К2 і вмикається магнітний пускач. Налаштування схеми виконується змінюванням опору R6. Завод-виробник виготовляє фотореле настроєним на вмикання вуличного освітлення при 5лк і вимикання при 10 лк.

Для автоматичного вмикання і вимикання вуличного освітлення широко застосовується фотовимикач ФВ-2, який призначений для автоматичного вмикання і вимикання вуличного освітлення в залежності від рівня природної освітленості (рис. 91).

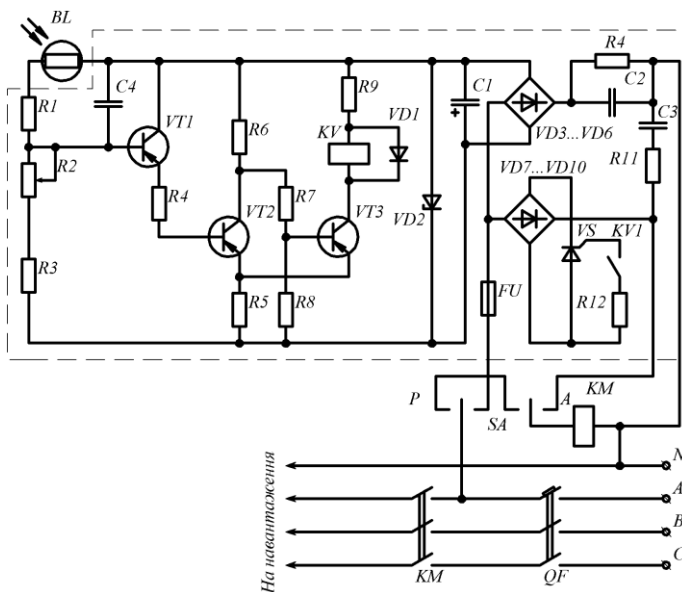


Рисунок 91 – Схема електрична принципова фотовимикача ФВ-2

Технічні відомості фотовимикача ФВ-2:

- вмикання навантаження при освітленості, $лк\ 1,3 \pm 1$
- вимикання навантаження при освітленості, $лк\ 7 \pm 2$
- тривало допустимий струм, $A\ 20A$

В основу роботи фотовимикача покладено принцип змінення опору фотодатчика ВЛ в залежності від освітленості. В якості датчика використовується фоторезистор ФСК-Г2. Електрична схема фотовимикача (рис.91) складається з автоматичного вимикача тригера Шмідта на транзисторах VT1, VT2, VT3, мостового тиристорного ключа на випрямляючому блоці VD7-VD10, тиристора VS і магнітного пускача КМ. Керування тиристорним ключем здійснюється контактами реле KV.

При збільшенні освітленості до $7 \pm 2\ лк$ Опір фотодатчика зменшується, до бази транзистора VT1 прикладається негативне зміщення, транзистор VT1 відкривається, викликаючи збільшення негативної напруги на базі транзистора VT2, який починає відкриватися. Негативна напруга на транзисторі VT3 зменшується, транзистор VT3 починає закриватися. Негативна напруга зворотного зв'язку на резисторі R5 зменшується, що сприяє розвитку лавиноподібного процесу, в результаті якого транзистор VT2 переходить в режим насичення, а транзистор VT3 закривається. Реле KV лишається живлення, тиристор VS закривається, магнітний пускач КМ вимикає освітлювальне навантаження.

При зменшенні освітленості до $1,3 \pm 1\ лк$ опір фотодатчика збільшується, негативне зміщення на базі транзистора VT1 зменшується, транзистор закривається, що веде до зменшення негативної напруги на базі транзистора VT2. Транзистор VT2 починає закриватися. Негативна напруга на базі транзистора VT3 збільшується. Транзистор VT3 починає відкриватися. Негативна напруга зворотнього зв'язку на резисторі R5 збільшується, що сприяє розвитку лавиноподібного процесу, в результаті якого транзистор VT2 закривається, а транзистор VT3 переходить в режим насичення. При відкритому транзисторі VT3 реле KV спрацьовує, тиристор VS відкривається, магнітний пускач КМ вмикає освітлювальне навантаження. Регулювання діапазону спрацювання схеми здійснюється резистором R2.

Перемикач режимів роботи SA має три положення: «ВКЛ», «0», «АВТ»

Техічні параметри фотореле ФР-601

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Степанцов В. П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве / В. П. Степанцов // - Справочное пособие. – Мн.: Ураджай, 1987. – 216 с.: ил.
2. Пилипчук Р. В. Промышленное освещение: методико-справочное пособие / Р. В. Пилипчук, В. В. Щиренко, Р. Ю. Яремчук. – Тернополь, 2006. – 432 с.
3. Живописцев Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицын. – М.: Агропромиздат, 1990. – 303 с.
4. Олійник В. С. Довідник сільського електрика / В. С. Олійник, В. М. Гайдук, В. Ф. Гончар [та ін.] // За ред. В. С. Олійника. – 3-е вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
5. Баев В. И. Практикум по электрическому освещению и облучению / В. И. Баев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 175 с.
6. Жилинский Ю. М. Электрическое освещение и облучение / Ю. М. Жилинский, В. Д. Кумин. – М.: Колос, 1982. - 272 с.
7. Жилинский Ю. М. Электрическое освещение и облучение в сельскохозяйственном производстве / Ю. М. Жилинский, И. И. Свентицкий. – М.: Колос, 1968. - 303 с.
8. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под. ред. Г. М. Кнорринга. - Л.: Энергия, 1976. - 384 с.
9. Быстрицкий Д. Н. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Н. Ф. Кожевников, А. К. Лямцов, В. П. Муругов. – М.: Энергоиздат, 1981. - 152 с.
10. Козинський В. А. Электрическое освещение и облучение / В. А. Козинський. – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.
11. Торосян Р. Н. Применение ультрафиолетовых установок в животноводстве / Р. Н. Торосян. - М.: Россельхозиздат, 1978. - 44 с.
12. Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве // М.: Колос, 1979.
13. Изаков Ф. Я. Практикум по применению электрической энергии в сельском хозяйстве / Ф. Я. Изаков. – М.: Колос, 1972.
14. Лямцов А. К. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / А. К. Лямцов, В. П. Муругов. – М.: Энергоиздат, 1981. - 152 с.
15. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Норми проектування.
16. ДСТУ Б А.2.4-24:2008. СПДБ. Внутрішнє електричне

освітлення. Робочі креслення.

17. ДСТУ Б А.2.4-18:2008. СПДБ. Електричне освітлення території промислових підприємств. Робочі креслення.

18. Червінський Л. С. Оптичні технології в тваринництві / Л. С. Червінський. – К.: Наукова думка, 2003. – 230 с.

19. Каталог освітительного обладнання ООО «ОСП Корпарация ВАТРА». Україна. - Тернополь, 2007-2008.

20. Проектирование осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутреннее освещение. Нормы технологического проектирования. – М.: ВНИПКИ «Тяжпромэлектропроект», 1996. – 87 с.

21. Кашенко П. С. Курсове і дипломне проектування: навчальний посібник / П. С. Кашенко, О. І. Біленко, О. А. Устименко [та ін.]. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 502 с.

22. Правила устройства электроустановок / - Х.: Издательство «Индустрия», 2007. – 416 с.

23. Правила будови електроустановок. Енергообладнання спеціальних установок: ДНАОП 0.00–1.32–01// К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2001. – 121 с.

24. ДНАОП 0.00–1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів // К.: АТ «Київська книжкова фабрика», 1998.– 380 с.

25. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів // К.: ДП НТУКЦ «АсЕлЕнерго», 2007. – 304 с.

26. ДСТУ Б А.2.4-19:2008. СПДБ. Зображення умовні графічні електрообладнання і проводок на планах.

27. ДСТУ Б А.2.4-21:2008. СПДБ. Силове електрообладнання. Робочі креслення.

28. Lighting of indoor work places. International Standart ISO 8995, CIE S 008/E, 2002.

Навчальне електронне видання

Кушлик Роман Васильвич
Постол Юлія Олександрівна
Кушлик Руслан Романович

ДЖЕРЕЛА І УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ

Навчальний електронний посібник

Комп'ютерний набір та верстка Риженко О.І.

2020