

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**  
Аерокосмічний факультет  
Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни «Опромінюючі установки»

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладач: ЯРЕМІЧ Т.І.

(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

Конспект лекцій розглянутий та схвалений на засіданні кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Протокол № \_\_\_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Володимир КВАСНІКОВ

Навчальна дисципліна є теоретичною і практичною основою сукупності знань та вмінь, що формують профіль фахівця в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Одержані знання та вміння дозволяють фахівцеві проводити проектування і обслуговування опромінюючих електротехнологічних установок та пристроїв, що використовують енергію оптичного випромінювання у фотофізичних, фотохімічних та фотобіологічних процесах.

**Метою** викладання навчальної дисципліни є формування знань в області використання оптичного випромінювання у різних галузях життєдіяльності; опрацювання необхідного обсягу матеріалів з питань перетворення енергії оптичного випромінювання в інші види енергії та використання цієї перетвореної енергії в різних технологічних та виробничих процесах; ознайомлення з типами технологічних установок та оптимальними умовами їх роботи.

**Завданнями** вивчення навчальної дисципліни є:

- надання теоретичних знань та практичних навичок для роботи з опромінювальними установками;
- засвоєння студентами понять і механізмів перетворення енергії оптичного випромінювання в інші види енергії;
- засвоєння студентами суті процесів, що відбуваються в різних середовищах під впливом перетвореної енергії, зокрема енергії випромінювання;
- засвоєння студентами структури опромінювальних установок і пристроїв, що використовуються в різних галузях господарства, та їх режимів роботи;
- вироблення уміння оцінювати техніко-економічну ефективність опромінювальних установок, визначати основні параметри установок та пов'язувати їх з конструктивними рішеннями з урахуванням специфіки експлуатації;
- навчити студента оцінювати якість та ефективність елементів і конструкцій опромінювальних установок, а також користуватись нормативною та проектно-технічною документацією;
- ознайомити з методами розрахунку опромінення об'єктів, схемами управління опромінювальними установками;
- підготувати фахівців для практичної діяльності у галузі проектування опромінювальних систем та пристроїв.

Результатами навчання є набуття знань про принципи дії опромінювальних установок і особливості їхнього розрахунку та проектування; уміння ставити й вирішувати завдання оптимізації параметрів установок з урахуванням економії матеріальних і трудових ресурсів і факторів охорони навколишнього середовища; вирішувати практичні завдання, пов'язані з обслуговуванням установок.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути такі **компетентності**:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність планувати та управляти часом;
- знання та розуміння предметної області та розуміння професії;
- вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- здатність вчитися і бути сучасно навченим;
- здатність бути критичним і самокритичним.

Навчальний матеріал дисципліни структурований за модульним принципом і складається з одного класичного навчального модуля, а саме, навчального **модуля №1 «Опромінюючі установки різної дії»**, який є логічно завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчального плану, засвоєння якого передбачає проведення модульної контрольної роботи та аналіз результатів її виконання.

### **Інтегровані вимоги модуля №1:**

#### **знати:**

- закономірності і процеси перетворення електричної енергії в інші види енергії, структуру і функції установок цих типів перетворення;
- закономірності перетворення енергії оптичного випромінювання в технологічних установках, структуру та функції установок і пристроїв різних типів і призначень, галузь їх використання;
- механізм впливу оптичного випромінювання на різні технологічні процеси;
- основні джерела випромінювання, які використовуються в опромінюючих установках та вимоги до них;
- структуру і функції опромінювальних установок і пристроїв.
- особливості теплових режимів електротехнологічних установок;
- методи безпечної експлуатації опромінюючих установок;

#### **вміти:**

- знаходити оптимальні і якісні режими технологічних установок,
- розраховувати потужність і кількість пристроїв, що потрібні для побудови конкретної технологічної системи;
- експериментально визначати основні енергетичні та світлотехнічні характеристики опромінюючих установок;
- проектувати опромінюючі установки згідно із заданими вимогами;
- розраховувати параметри і робочі режими установок фізичної, хімічної і біологічної дії, необхідні для проведення технологічного процесу даного типу.
- користуватися проектно-технічною і нормативною документацією.

## *Методичні рекомендації, щодо роботи з модулем №1*

*Програма модуля передбачає проведення лекційних занять по приведеній тематиці:*

### **Лекція № 1. Перетворення оптичного випромінювання в опромінюючих установках.**

Вступ. Сонце і сонячний спектр. Елементарні процеси поглинання і перетворення випромінювання в речовині. Механізм і основні форми перетворення енергії оптичного випромінювання. Енергетичні величини процесів випромінювання, поглинання і перетворення випромінювання.

### **Лекція № 2. Енергетичні характеристики оптичного випромінювання.**

Енергетичні характеристики оптичного випромінювання. Норми енергетичної освітленості та дозування випромінювання.

### **Лекція № 3. Методи вимірювання характеристик оптичного випромінювання.**

Вимірювання параметрів оптичного випромінювання в різних спектральних діапазонах.

### **Лекція № 4. Джерела оптичного випромінювання для опромінюючих установок**

Джерела оптичного випромінювання в опромінюючих установках. Теплові випромінювачі, їх параметри та характеристики. Газорозрядні випромінювачі, їх параметри і характеристики.

### **Лекція № 5. Опромінюючі прилади та установки.**

Опромінюючі установки та їх класифікація. Області застосування опромінюючих установок. Характеристики і основні параметри опромінюючих приладів.

### **Лекція № 6. Установки інфрачервоного випромінювання**

Енергетичні процеси в умовах інфрачервоного нагріву. Теплова дія випромінювання.

### **Лекція № 7. Опромінюючі пристрої інфрачервоного діапазону.**

Інфрачервоні опромінюючі установки. Установки ІЧ-випромінювання в промисловості, сільському господарстві, медицині і біології. Установки для імітації сонячного випромінювання.

### **Лекція № 8. Вплив оптичного випромінювання на біологічні об'єкти.**

Дія оптичного випромінювання на біологічні об'єкти. Вплив оптичного випромінювання на організм людини. Механізм і закони фотосинтезу. Вплив джерел світла на процеси фотосинтезу.

### **Лекція № 9. Установки ультрафіолетового випромінювання**

Вітальна дія ультрафіолетового випромінювання. Бактерицидна дія ультрафіолетового випромінювання.

### **Лекція № 10. Опромінюючі прилади та установки короткохвильового оптичного випромінювання.**

Установки ультрафіолетового опромінювання. Установки бактерицидної дії для знезараження води і повітря. Установки бактерицидної дії для знезараження продуктів.

### **Лекція № 11. Фотофізична дія оптичного випромінювання.**

Зміна фізичних параметрів речовини під дією оптичного опромінювання. Фотоефект, фотолюмінесценція, теплова дія випромінювання.

### **Лекція № 12. Фотохімічна дія оптичного випромінювання.**

Стадії фотохімічної дії випромінювання. Спектри поглинання атомів і молекул речовин. Перетворення енергії випромінювання в хімічних реакціях.

### **Лекція № 13. Фотохімічні опромінюючі установки**

Установки фотохімічної дії. Установки поверхневої фотохімічної дії. Установки об'ємної фотохімічної дії.

### **Лекція № 14. Фотобіологічні опромінюючі установки.**

Медичні фотобіологічні установки. Фотарії та солярії. Установки для опромінення тварин. Установки для опромінення рослин. Установки для штучного опромінення рослин.

### **Лекція № 15. Особливості експлуатації опромінюючих установок.**

Переваги спільного комплексного використання інфрачервоних і ультрафіолетових опромінюючих установок.

Особливості експлуатації установок променевого обігріву. Особливості експлуатації установок ультрафіолетового випромінювання.

При вивченні лекційного матеріалу слід звернути увагу на механізм перетворення енергії, процеси зміни енергетичних рівнів в атомних і молекулярних структурах середовища. При вивченні розділів по впливу оптичного випромінювання на середовище звернути увагу на особливості фотофізичної, фотохімічної, фотобіологічної дії кожного процесу випромінювання окремо. При вивченні слід звернути увагу на комплексне застосування опромінювальних установок різних видів опромінювання (інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове), що приводять до більш ефективної дії опромінювальних установок.

## Джерела оптичною випромінювання в установках

Теплові випромінювачі слід віднести до групи джерел випромінювання, в яких використовується збудження атомів молекул речовини через її тепловий рух. В основі роботи таких джерел лежить нагрів тіла тим чи іншим способом і подальше температурне випромінювання.

У багатьох практичних розрахунках теплове випромінювання реальних тіл доцільно описувати законами випромінювання чорного тіла із внесенням у них експериментально встановлених коефіцієнтів. Так, наприклад, енергетичну світлимість можна записати виходячи із закону Стефана-Больцмана:

$$M_e(T) = \varepsilon(T) \cdot M_{eso}(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4$$

де  $\varepsilon(T)$  — інтегральний коефіцієнт теплового випромінювання реального тіла.

За способом нагріву теплові випромінювачі поділяються на електричні (нагрів проходить через електричний струм) і газові (нагрів ведеться за допомогою газових горілок). Температура першої групи в залежності від типу випромінювача змінюється в широких межах від 200°C до 2000°C, для другої групи — від 750°C до 1200°C.

За спектральним складом теплові випромінювачі умовно поділяють на „темні” (робоча температура випромінювача нижче 1000°C) і „світлі” (робоча температура випромінювача вища 1000°C).

Найбільше розповсюдження в опромінювальних установках отримали електричні випромінювачі — лампи розжарення із вольфрамовим тілом розжарення, який працює чи в інертній атмосфері, чи у середовищі із галогенним циклом.

Слід дотримуватися спільних рекомендацій щодо використання ГЛР у опромінюючих установках:

- 1) температура тіла розжарення у ГЛР може широко варіюватися зміною напруги електроживлення, що впливає на спектр випромінювання ламп;
- 2) при перевищенні номінальної напруги живлення середній термін служби ГЛР різко знижується. Наприклад, підвищення напруги на 10% скорочує середній термін служби лампи тепловипромінювача в 4 рази;
- 3) лінійні ГЛР повинні працювати в горизонтальному положенні із допустимим відхиленням +5°. В цьому випадку забезпечується нормальний вольфрамогалогенний цикл по довжині лампи, який впливає на термін служби лампи;
- 4) найбільш слабким за термостійкістю елементом конструкції ГЛР є кварцова оболонка, особливо у зоні вводу струму. Тому температурний режим метало-скляного спаю не повинен перевищувати 350°C.

У виробничій практиці широко розповсюджена група теплових випромінювачів з відкритим тілом розжарення, яку в свою чергу можна розділити на наступні підгрупи:

- а) випромінювачі з відкритими металевими спіральними тілами розжарення;
- б) випромінювачі з відкритими неметалевими тілами розжарення (трубки, плити);
- в) випромінювачі з керамічними і металевими оболонками.

Найбільш розповсюджені електричні випромінювачі із карборундовими стрижнями. Допустима робоча температура такого стержня на його поверхні від 400 до 1500°C (по осі стержня температура досягає 2200°C). Термін служби випромінювачів досягає 7000 годин.

Електричні випромінювачі з тілом розжарення у керамічній чи металевій оболонці мають великий термін служби через те, що нагріваючі елементи — спіралі, працюють у непроникній оболонці без доступу повітря. При цьому робоча температура спіралі досягає 1350°C.

### Газорозрядні випромінювачі

Група джерел випромінювання, в яких випромінювання створюється за рахунок елементарного розряду у газах, парах та їх сумішах, є в наш час найбільш розповсюдженою і перспективною при створенні опромінюючих установок. Підбираючи газ (чи пару), умови розряду і тип люмінофору, можна отримати різноманітні спектри випромінювання із потрібним розподіленням його інтенсивності у всьому інтервалі випромінювання. У зоні опромінення можна отримати більш високі температури нагріву в порівнянні з дією теплового випромінювання. При цьому не слід забувати, що стабільна робота розрядних випромінювачів потребує додаткових пристроїв і особливої конструкції випромінювачів.

Розрядні джерела випромінювання (розрядні лампи), які використовуються у наш час в опромінювальних установках, можна розділити на дві великі групи: розрядні лампи низького тиску (РЛНТ) і високого тиску (РЛВТ).

До першої групи відносяться лампи, в яких робочий тиск складає  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  мм.рт.ст. Серед них найближче розповсюдження отримали лампи на основі пари ртуті.

Другу велику групу розрядних джерел випромінювання складають розрядні лампи високого тиску в яких робочий тиск газу (пари) складає  $10 \dots 1000$  мм.рт.ст. ( $3 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-6}$  Па). Найбільше розповсюдження отримали ртутні лампи високого тиску. В цих лампах випромінювання, яке виходить з них, складається в основному з ліній ртуті, що лежать у видимій і довгохвильовій ультрафіолетовій області спектра.

Більшість сучасних ламп високого тиску випускають у розрядних трубках із кварцового скла (ДРТ). Лампи типу ДРТ (дугові, ртутні, трубчаті), крім видимого і

близького інфрачервоного випромінювання дають велику кількість випромінювань в ультрафіолетовій області спектру.

Лампи типу ДРТ, які використовуються для світлокопіювальних робіт, ультрафіолетових сушок і інших технологічних цілей мають велику довжину.

Поряд із ртутними лампами низького та високого тиску все більш широке розповсюдження в опромінювальних установках отримує група металевогалогенних ламп (МГЛ). Їх головний привілей — широкі можливості варіації спектром випромінювання.

Устрій і принцип дії МГЛ побудовано на тому, що галогеніди багатьох металів випаровуються легше ніж самі матеріали і не руйнують кварцове скло. Тому всередині розрядних колб МГЛ окрім ртуті і аргону (як інертного газу, який спрощує запалення ламп) додатково вводять певні елементи у вигляді хімічних галоїдних сполук. Молекули сполук, потрапляючи у зону розряду з високою температурою, розділяються там на окремі атоми, які збуджуються і дають випромінювання різноманітного спектрального складу.

## **Опромінювальні прилади та установки**

### Класифікація приладів

Опромінювальний прилад (ОП) — це пристрій, що складається з джерела випромінювання і арматури, яка забезпечує необхідний розподіл випромінювання на приймачах оптичного випромінювання.

Відповідно до введеної класифікації видів впливу оптичного випромінювання на приймачі опромінювальні прилади можна розділити на прилади фотофізичної, фотохімічної і фотобіологічної дії.

Крім того, вказані типи приладів можна класифікувати за видами фото процесів, об'єктами опромінення та спектральним діапазоном оптичного опромінення - ультрафіолетовому, видимому і інфрачервоному. Таку класифікацію у літературі називають першим рівнем класифікації ОП.

Подальші рівні класифікації виконують за світлотехнічними функціями, способами встановлення, кліматичним виконанням і т. ін. Так другий рівень класифікації рекомендують за аналогією із класифікацією світлових приладів провести за характером розподілу випромінювання в просторі (рис.1).

За цією класифікацією до опромінювачів слід віднести прилади, які перерозподіляють випромінювання всередині великих тілесних кутів (в межах до  $4\pi$ ). Опромінювані - прожектори випромінюють променевий потік всередині малих тілесних кутів. Опромінювані - концентратори концентрують потік випромінювання на поверхні малого розміру чи в малому об'ємі (який перевищує розміри джерела не більш ніж у 1,5 рази).





Рис.1. Другий рівень класифікації опромінювальних пристроїв

В загальному випадку для умовного опромінювання (за аналогією із світильниками) може бути запропонована структура шифру, яка приведена на рис.2. У ній на першому місці на шифрі 1 позначається тип джерела випромінювання, класифікованого за способом генерації випромінювання (одна літера на першому місці шифру). Слідуючі позначення розшифровуються наступним чином: 2 — основний спосіб встановлення опромінювання (одна літера); 3 — призначення опромінювання (чи функція, яка буде виконуватися); 4 — номер серії (двозначне число); 5 — число джерел випромінювання у приладі (одно-або- двозначне число, при цьому цифра 1 не вказується); 6 — потужність лампи, позначається цифрами (Вт); 7 — номер модифікації (двозначне число); 8 — позначення спектрального діапазону, на який приходиться максимум випромінювання, що генерується опромінювачем.

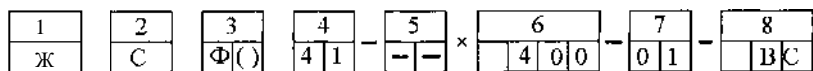


Рис.2. Структура умовного позначення опромінювачей

Джерела випромінювання (у шифрі 1) позначаються наступним чином: лампи розжарення — Н; люмінесцентні — Л; ртутні високого тиску — Р; металевогалогенні — Г; натрієві — Ж; електролюмінесцентні — Е і т.д.

За способом встановлення опромінюючі прилади можуть бути поділені і позначені: підвісні — С; стельні — П; настінні — Б; настольні — Н; вбудовані — Б; прибудовані — Д; занурювальні — О; ручні — Р.

За призначенням опромінювані поділяються на прилади фотофізичної дії —  $\Phi_f$ , фотохімічної дії —  $\Phi_x$  і фотобіологічної дії —  $\Phi_b$ .

Маркіровка спектрального діапазону відповідно до рекомендацій міжнародної комісії по освітленню (МКО) може бути прийнята такою: УФ-А, УФ-В, УФ-С, ІЧ-А, ІЧ-В, ІЧ-С. Для видимого діапазону випромінювання приймаються дві літери — ВС.

Наведемо приклади запропонованих позначень деяких опромінювачів:

- 1) ЖСФ<sub>6</sub>18-х400-01-ВС — підвісний опромінювач для фізіологічного опромінення біологічних організмів (рослин) із натрієвою лампою потужністю 400 Вт, яка випромінює в видимому діапазоні спектра, серії 18, модифікації 01;
- 2) ЛСФ<sub>6</sub>04-40-01-ВС-УФ-А — підвісний комбінований опромінювач для фізіологічного опромінення у видимій і ультрафіолетовій області спектру із

люмінесцентною лампою потужністю 40 Вт, серії 04, модифікації 01 (раніше ЕСП01х40).

### Класифікація установок

*Опромінювальна світлотехнічна установка* — це сукупність джерел випромінювання і світлотехнічного обладнання, призначених для генерації і перерозподілення оптичного випромінювання задля отримання доцільної (необхідної для технічного процесу) реакції приймача випромінювання.

За типами приймачів оптичного випромінювання опромінювальні світлотехнічні установки поділяють:

- установки фотофізичної дії;
- установки фотохімічної дії;
- установки фотобіологічної дії.

За часовим фактором опромінювальні світлотехнічні установки класифікують на установки стаціонарної, періодичної і імпульсної дії.

Окрім вище названого виділяють опромінювальні установки фотофізичної дії, фотохімічної дії, фотобіологічної дії у свою чергу відповідно до виду дії підрозділяють на конкретні типи.

Так *опромінювальні установки фотофізичної дії* поділяють на установки теплової, фотоелектричної і фотолюмінесцентної дії.

*Опромінювальні установки фотохімічної дії* поділяють на установки об'ємних фотохімічних процесів, що протікають в об'ємі середовища - реагенту та установки поверхневих фотохімічних процесів, що проходять в тонкому шарі світлочутливої речовини.

Більш детальна класифікація установок фотохімічної дії з розподіленням за видами технологічних процесів показана на рис.3.



Рис.3. Класифікація ОСУ фотохімічної дії

Класифікацію опромінювальних установок фотобіологічної дії показано на рис.4.

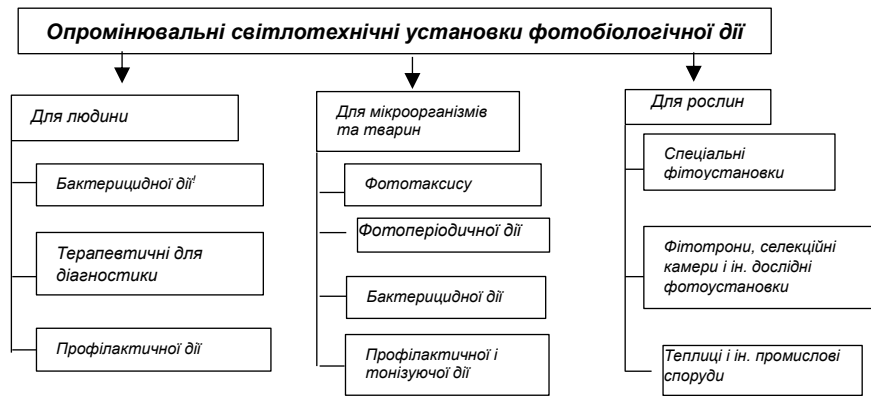


Рис.4. Класифікація ОСУ фотобіологічної дії

Слід звернути увагу, що деякі однотипні опромінювальні установки використовуються для обслуговування як людей, так і тварин. Однак типи опромінювачів, їх потужність, енергетична експозиція будуть різними, що повинно бути закладено в технічній документації.

### Установки інфрачервоного випромінювання

Вплив ІЧ-випромінювання на опромінені речовини проявляється у ряді ефектів — у нагріві цих речовин (виробів, матеріалів), у вилученні із них вологи (чи інших рідких речовин), у фізико-хімічних перетвореннях, які можуть виникати всередині опромінених речовин.

Підвищення температури речовини є результатом поглинання випромінювання у речовині і перетворення променевої енергії у теплову. При цьому променева енергія, яка поглинається молекулами речовини, перетворюється одночасно в енергію деяких форм руху матерії (окрім теплової енергії можлива поява у речовині хімічних реакцій і різноманітних фізичних процесів).

Проникаючий у речовину променевий потік поступово послабляється, через це питоме поглинання променевої енергії (віднесене до одиниці об'єму речовини в одиницю часу) буде неоднаковим у різних точках товщини опроміненої речовини. Слід пам'ятати, що в реальних умовах опромінення якого-небудь тіла в результаті підвищення його температури виникає тепловіддача в оточуючий простір конвекцією, випромінюванням і теплопровідністю. Так як теплопровідність повітря дуже мала, то розсіяння теплової енергії тіла в оточуючий простір буде проходити за рахунок конвекції і випромінювання.

В цьому випадку на основі закону збереження енергії для любого моменту опромінювання буде доцільним вираз:

$$a \cdot \Phi \cdot dt = c \cdot M \cdot dT + W_K \cdot dt + W_{II} \cdot dt,$$

де  $\Phi$  — променевий потік, що впав на тіло (матеріал, виріб);

$a$  — коефіцієнт поглинання;

$c$  — питома теплоємність тіла;

$T$  — температура тіла у момент часу  $i$ ;

$M$  — маса тіла;

$dT$  — прирощення температури тіла за час  $dt$ ;

$W_K$  — теплові втрати з поверхні тіла шляхом конвекції, віднесені до одиниці часу;

$W_{\Pi}$  — теплові втрати на випромінювання, також віднесені до одиниці часу.

В опромінювальних ІЧ-установках при постійному променевому потоці  $\Phi$  на початковому етапі спостерігається швидке підвищення температури тіла. Далі при зростанні температури зростають втрати  $W_K$ ,  $W_{\Pi}$  і зменшується швидкість нагріву ( $dT/dt$ ). При  $dT/dt = 0$  подальший нагрів тіла зупиняється і температура тіла  $T_T$  стає постійною, досягнувши при незмінному променевому потоці  $\Phi$ , деякого граничного значення  $T$ :

$$\alpha \cdot \Phi = W_K + W_{\Pi} \quad (1).$$

Якщо у вираз (1) усі значення величин віднести до одиниці поверхні тіл, отримаємо:

$$\alpha \cdot E = \frac{W_K}{S} + \frac{W_{\Pi}}{S} \quad (2),$$

де  $E$  — середня енергетична опроміненість виробу;

$S$  — площа поверхні тіла.

Вираз (2) справедливий для випадку „двостороннього” опромінення, коли опромінення і тепловіддача мають місце з обох сторін тіла (наприклад, пластини). Для випадку „одностороннього” опромінення (коли опромінюється тільки одна сторона, а віддають теплоту обидві сторони) вираз буде мати вигляд:

$$\alpha \cdot E = 2 \cdot \left( \frac{W_K}{S} + \frac{W_{\Pi}}{S} \right)$$

В першу чергу велика група цих установок використовується у технологічних цілях для задач нагріву і подальших ітерацій в різних галузях господарства.

В промисловості використовують опромінювальні ІЧ - установки як періодичної дії (камерні), так і неперервної дії (тунельні). При цьому використовують конструкції установок закритого і відкритого типу.

В установках використовують, як правило, ІЧ - випромінювачі типу ИКЗ-220-500, що значно зменшує час сушки у порівнянні з конвективною сушкою (гарячим повітрям).

Для термічної обробки залізобетонних блоків часто використовуються ІЧ - випромінювачі — лампи ИКЗ-200-500, які дозволяють провести всю операцію обробки за 5-6 годин, тоді як при природній сушці на отвердіння бетону витрачали 4-6 діб.

Установки для ІЧ - випромінювання спеціальних цілей. Серед цих установок слід відмітити групу *установок імітації сонячного випромінювання*.

Широке розповсюдження знаходять у промисловості *установки імпульсного ІЧ - нагріву*. В цих установках створюються імпульси випромінювання з дуже високими значеннями енергетичної освітленості, що досягають у деяких випадках значень до 600 Вт/см<sup>2</sup>.

Інфрачервоне випромінювання з спектральним діапазоном від 700 до 4000 нм має гарний біологічний вплив на організм тварини завдяки виділенню теплоти при поглинанні випромінювання шкірою і глибоко розташованими тканинами. Випромінювання з довжиною хвилі приблизно до 1400 нм проникає у тканини на глибину до 3 – 4 см, перешкоджаючи переохолодженню глибоко розташованих внутрішніх органів тварини.

При терапевтичному впливі ІЧ - променів на шкіру використовують довгохвильове випромінювання. Поглинене ІЧ - випромінювання підсилює кровообіг у поверхневих шарах шкіри, збільшує обмін між кров'ю і тканинами, прискорює виділення токсинів з організму. Проникне ІЧ - випромінювання за допомогою реакції крові і нервової системи впливає на функції залоз внутрішньої секреції і загальний обмін речовин, сприяючи успішному лікуванню цілого ряду хвороб.

Використання ІЧ - випромінювання у біологічних дослідженнях дозволяє спостерігати за поведінкою тварин і комах у темноті, так як у більшості з них відсутні органи реагуючі на ІЧ - випромінювання. Крім того проникаюче у тканини ІЧ - випромінювання дає змогу в деяких випадках роздивитися деталі внутрішньої будови організмів біологічних об'єктів.

При випромінюванні різних представників рослинного світу широко використовується ІЧ - фотографія, в основі якої лежить явище значного росту коефіцієнту відбиття від поверхні рослин у кінцевій червоній і ІЧ - областях спектру. Завдяки такому характеру відбиття променевої енергії на ІЧ - фотографіях, зроблених з червоним фільтром, не пропускає основну частину видимого випромінювання, рослинна зелень спостерігається у вигляді світлих ділянок.

Дослідження лісових і степових масивів за допомогою аерофотозйомки з використанням методів отримання ІЧ - фотографій дозволяє оцінити екологічний стан місцевості, яка вивчається, і зробити ряд важливих висновків про стані розвитку рослинного світу. Так, наприклад, відомо, що у процесі хвороби рослин змінюється пігментація клітинного матеріалу, що у ряді випадків призводить до руйнування хлорофілу у рослинах. Останній фактор чітко спостерігається на ІЧ – фотографіях.

У нашій державі в якості джерел ІЧ - випромінювача широко використовуються лампи розжарення ИКЗК-220-250, ИКЗ-220-500, галогенні лампи розжарення КГ-220-1000, трубчасті електронагрівачі ТЕН-220-(400-800 Вт) та інші.

## Установки ультрафіолетового випромінювання

Кванти УФ - випромінювання, які мають велику енергію, здатні змінити хімічну структуру окремих клітин і тканин. При цьому біологічна дія УФ - випромінювання може бути різною в залежності від розміру енергії кванта випромінювання, густини опромінення і часу дії (експозиції). Широкий інтервал спектру УФ - випромінювання за результатами біологічної дії можна розділити на три області:

- УФ - А з інтервалом 315 - 400 нм;
- УФ - В з інтервалом 280 - 315 нм;
- УФ - С з інтервалом 200 - 280 нм.

Застосування оптичного випромінювання в лікувальних цілях показало, що головну роль у тонізуючій і терапевтичній дії випромінювання грає її УФ - частина спектру.

Почервоніння шкіри в результаті дії на неї УФ випромінювання прийнято вважати *еритемою*, а саму дію випромінювання — *еритемною дією*.

Значним фактором терапевтичної дії випромінювання є утворення вітаміну Д в організмі, мала кількість якого призводить до різноманітних патологічних відхилень у житті людини, особливо у дитячому віці.

Процес утворення вітаміну Д при опроміненні організму розглядається як первинний етап *антирахітної дії випромінювання*. Ефективність цього процесу також неоднакова для однорідних випромінювань різних довжин хвиль.

Засмагна, антирахітна та еритемна дії опромінення в комплексі утворюють так звану *вітальну дію опромінення* (*vita* (лат.) — життя), що призводить в цілому до тонізуючої та лікувальної дії на організм.

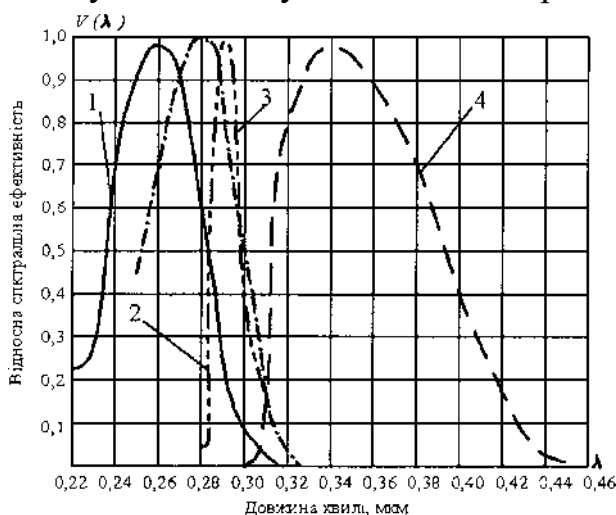


Рис. 5. Відносна спектральна ефективність у функції довжини хвилі випромінювання:

- 1 - бактерицидна;
- 2 - еритемна;
- 3 - антирахітна;
- 4 - засмагна.

Для оцінки ефективності загально біологічної дії випромінювання приймається критерій еритемної дії.

В основі цієї системи лежить поняття *еритемного потоку*, за який приймається потік випромінювання, що створює загально біологічну дію на організм людини, яке супроводжується утворенням еритеми на опромінених ділянках шкіри.

Еритемний потік визначається:

$$\Phi_{\text{ер}} = \int_{\lambda_2=280 \text{ нм}}^{\lambda_1=400 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) K_{\text{ер}}(\lambda) d\lambda,$$

де  $\varphi_e(\lambda)$  — спектральна густина потоку випромінювання;

$K_{\text{ер}}(\lambda)$  — функція еритемної ефективності випромінювання на ділянці спектру 280 – 400 нм

Для створення установок еритемного опромінення широко використовуються ртутні еритемні лампи низького тиску ЛЕ-15, ЛЕ-30, ЛЕР-30, ЛЕР-40 (люмінесцентна еритемна рефлекторна) і високого тиску ДРВЕД-220-250 (дугова ртутно - вольфрамова еритемна дифузна з напругою живлення 220 В і потужністю 250 Вт). Всі еритемні лампи випускаються у колбах увіолевого скла, яке добре пропускає УФ - випромінювання.

Для забезпечення еритемної опроміненості в спеціальних умовах також можна використовувати ртутні лампи високого тиску великої потужності ДРТ-1000, ДРТ-2500, що забезпечують еритемні потоки 16,5 і 25,5 ер відповідно.

При впливі на органічні клітини різних бактерій ультрафіолетовим випромінюванням спектрального складу від 200 до 400 нм спостерігається руйнація клітин, яка призводить до загибелі бактерій. Така дія УФ - випромінювання, що вбиває бактерії, називається *бактерицидною дією*. Бактерицидні властивості мають лише фотони із значною енергією, яка здатна розірвати зв'язок молекул білкової речовини випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda \leq 300 \text{ нм}$ . Як показали дослідження, найбільшу бактерицидну ефективність має УФ - випромінювання з довжиною хвилі 254 – 258 нм.

За аналогією з методами кількісної оцінки еритемної дії випромінювання, для якої було створено систему еритемних величин, створено *систему бактерицидних величин* та одиниць. *Бактерицидний потік*, як основне поняття цієї системи, визначається як потік випромінювання за його бактерицидною дією, тобто здатність знищувати бактерії:

$$\Phi_{\text{бк}} = \int_{\lambda_2=200 \text{ нм}}^{\lambda_1=400 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) K_{\text{бк}}(\lambda) d\lambda,$$

де  $\varphi_e(\lambda)$  — спектральна густина потоку випромінювання;

$K_{\text{бк}}(\lambda)$  — функція бактерицидної ефективності випромінювання (бк, Вт<sup>-1</sup>).

Як відомо, на ефективність будь - якої дії УФ - випромінювання впливає тривалість дії — енергетична експозиція. Залежність знищених бактерій монохроматичними випромінюваннями різних довжин хвиль від величини енергетичної експозиції показано на рис. 6.

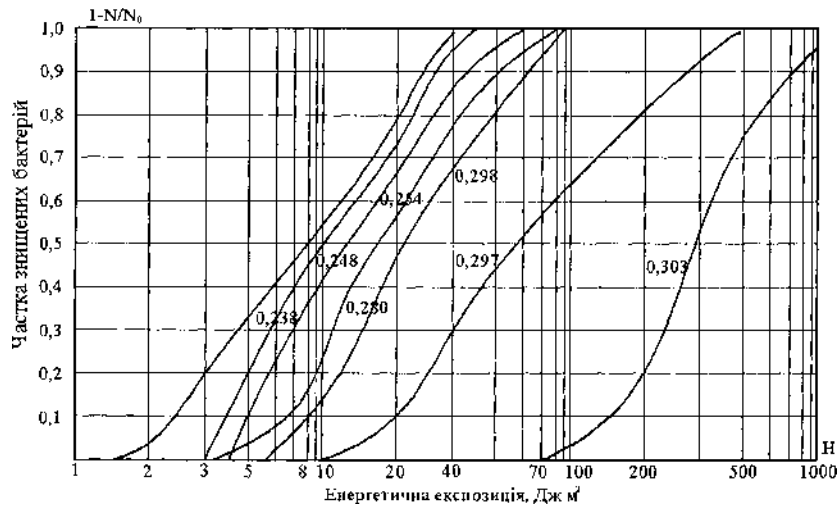


Рис.6. Спектр ефективної бактерицидної дії випромінювання

Аналіз графічних залежностей, приводить до висновків:

а) при зменшенні чи збільшенні довжини хвилі у порівнянні з довжинами хвиль оптимальної зони спектру (254 – 258 нм) трапляється різке зниження бактерицидної ефективності випромінювання;

б) приблизно однаковий нахил кривих числа знищених бактерій від енергетичної експозиції випромінювання свідчить про однакову швидкість ефективності процесу.

Джерелом бактерицидного випромінювання є будь-яка ртутна лампа низького та високого тиску з колбою зі кварцу чи увіолевого скла типу ДБ-15, ДБ-30, ДБ-60 (дугові бактерицидні лампи відповідної потужності).

В тих установках, де потрібна велика потужність кожного випромінювача, використовуються ртутні лампи високого тиску у кварцовій колбі ( лампи ДРТ-1000, ДРТ-2500).

Основна задача ультрафіолетової бактерицидної опромінювальної установки (БОУ) полягає у забезпеченні певного рівня бактеріологічної безпеки у поданому приміщенні за рахунок обеззараження повітряного середовища, а також обеззараження води і інших рідких речовин. Джерелами такого випромінювання є, в основному, лампи типу ДБ різної потужності (ДБ-30, ДБ-60) і лампи ДРТ. Ці лампи і є основними випромінювачами бактерицидних установок.

Прийнято слідуочу класифікацію бактерицидних установок (рис. 7):

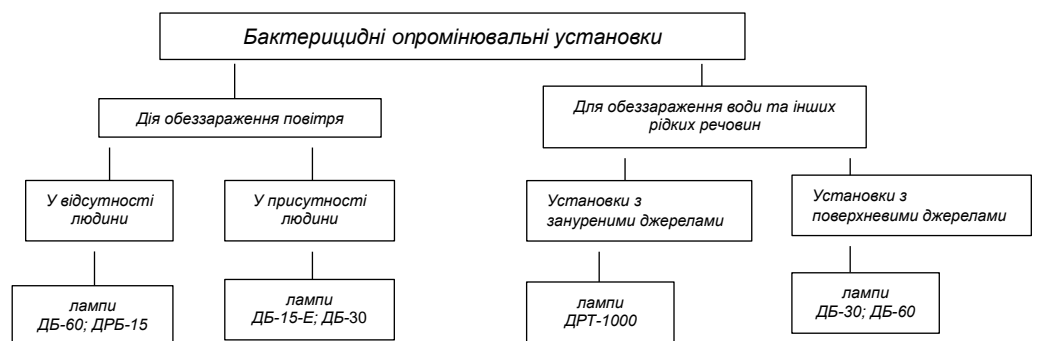


Рис.7. Класифікація бактерицидних опромінювальних установок



При роботі БОУ слід дотримуватися тих режимів тривалості опромінення, які закладені у нормативно - технічній документації. Крім того слід пам'ятати, що потужні опромінювальні установки з великою кількістю джерел випромінювання — ламп використовують у приміщеннях при відсутності людей. В цьому випадку рекомендується використовувати режим прямого ультрафіолетового опромінення, що забезпечує за короткий проміжок часу високоефективну дезінфекцію повітря.

Ефективно також працюють установки з бактерицидними лампами, вмонтовані в системи подачі кондиційованого повітря у приміщення. Ці установки достатньо великої потужності монтуються у трубах систем кондиціонування, повністю ізольовані від присутніх у кімнаті людей, можуть тривало працювати, забезпечуючи знищення 92-98% мікроорганізмів у чищенні повітря.

### Фотохімічні опромінювальні установки

Процес фотохімічної дії випромінювання при його взаємодії з речовиною можна розділити на три стадії:

- а) акт поглинання, за якого з'являються електронно - збудженні стани;
- б) первинні фотохімічні процеси, в яких приймають участь електронно - збудженні стани;
- в) вторинні (темнові) реакції, що протікають з продуктами первинних процесів.

Всі фотохімічні процеси проходять через електронно - збуджений стан. Розуміння сутності фотохімічного процесу зводиться до розуміння енергетичних процесів, що трапляються в атомній структурі речовини. Збуджений стан молекули з'являється через перехід електрона при поглинанні кванта випромінювання на більш високий енергетичний рівень. Фотохімічні реакції вже з участю збуджених молекул можуть проходити за поданими напрямками:

- 1) в результаті зіткнення збудженої молекули з іншими молекулами трапляється утворення нової складної молекули;
- 2) збуджені молекули можуть дисоціювати під дією квантів випромінювання, а потім вступати до реакції з іншими молекулами;
- 3) будь - який електронний перехід викликає дисоціацію молекули з одночасною іонізацією осколків молекули чи відривом електронів від іонів, що складають молекулу.

Збуджені молекули можуть проходити у подальшому через такі фотохімічні перетворення:

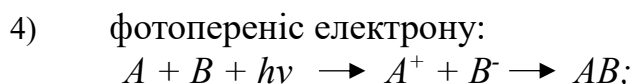
- 1) фоторозпад:  

$$AB + h\nu \rightarrow AB^* \rightarrow A + B;$$
- 2) фотоприсоединення:  

$$A + BC + h\nu \rightarrow A^* + BC \rightarrow ABC$$

$$A + A + h\nu \rightarrow A^* + A \rightarrow A_2;$$
- 3) фотополімеризація:  

$$A_n + A_n + h\nu \rightarrow A_n^* + A_n \rightarrow AB$$



де  $A, B, C$  — атоми чи молекули простих хімічних сполук;

$AB, BC, ABC$  — відносно складні молекули;

$A^+, B^-$  — іони;

$A^*, AB^*$  — молекули чи атоми у збудженому стані.

Кількісні залежності фотохімічної дії від умов опромінення визначаються законами фотохімії.

*Перший закон фотохімії (закон Бунзена - Роско).* Закон визначає залежність маси речовини, яка прореагувала, від поглинутого потоку випромінювання:

$$M_e = a \cdot \Phi_{ea} \cdot t,$$

де  $M_e$  — число молекул, що вступили до реакції;

$a$  — стала швидкості фотохімічної реакції;

$\Phi_{ea}$  — потік фотовипромінювання, який поглинуто;

$t$  — час випромінювання.

Закон Бунзена - Роско, як показали дослідження, має граничний характер і в цілому ряді випадків при малих та великих густинах опромінення має відхилення від вище приведеної закономірності.

*Другий закон фотохімії (закон квантової еквівалентності).* Закон формулюється наступним чином: кожна молекула, що брала участь у хімічній реакції, яка проходить під дією випромінювання, поглинає один квант світла, який викликає цю реакцію:

$$\eta_k = \frac{M_e}{n_\alpha} \leq 1,$$

де  $\eta_k$  — квантовий вихід реакції;

$M_e$  — число молекул, що вступили до реакції;

$n_\alpha$  — число квантів випромінювання, які поглинуто.

Опромінювальні світлотехнічні установки для поверхневих процесів містять зовнішнє одностороннє чи напівсферичне опромінення тонких шарів світлочутливих речовин, нанесених на певну підкладку (папір, дерево, метал і ін.), в яких під дією опромінення трапляються хімічні перетворення. Спектральна чутливість більшості поверхневих фотохімічних процесів лежить в області ультрафіолетового чи короткохвильового видимого випромінювання.

Для вибору кількісної характеристики чутливості фотоматеріалів використовується поняття оптичної густини проявленого зображення. Вибір цієї міри фотографічної дії світла визначається тим, що збільшення концентрації молекул металевого срібла в емульсії після проявлення прихованого зображення призводить до збільшення оптичної густини, зв'язаної з коефіцієнтом пропускання ( $D = \frac{1}{\lg \tau}$ )

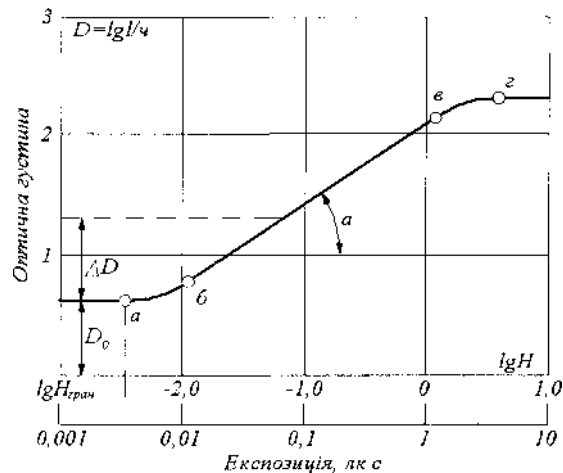


Рис.8. Графік характеристичної кривої фотографічного матеріалу

Залежність оптичної густини від експозиції (кількості освітлення), приведена на рис.4, має назву *характеристична крива фотографічного матеріалу*. Тангенс кута нахилу центральної прямолінійної частини кривої прийнято називати *коефіцієнтом контрастності* фотоемульсії  $\gamma = \operatorname{tg} \alpha$ . В залежності від значення коефіцієнта контрастності розрізняють емульсії: контрастні ( $\gamma = 1,5 \dots 2,0$ ), нормальні ( $\gamma = 1,0 \dots 1,5$ ) і м'які ( $\gamma < 1,0$ ).

### Фотобіологічні опромінювальні установки

Медичні опромінювальні установки, що застосовуються для опромінення людини, можна розділити на дві великі групи: опромінювальні установки *терапевтичної дії* і опромінювальні установки *профілактичної дії*.

Опромінювальні установки терапевтичної дії для лікування і діагностики захворювання людини у медичній практиці отримали велике розповсюдження на рівні з установками профілактичної дії. При цьому для лікувального і профілактичного опромінення використовуються, як правило, одні і ті ж самі опромінювані. Так ультрафіолетові опромінювані на базі ртутних ламп ДРТ-400, ДРТ-1000 широко використовуються у фізіотерапевтичних кабінетах лікувальних установ, у фотаріях для лікування і зміцнення організму.

Широке розповсюдження у лікувальних установах отримала ультрафіолетова опромінювальна установка УФО-1500, яка має три опромінювача, розташовані на вертикальній стійці один під одним. Установка дозволяє проводити опромінення пацієнтів у повний зріст чи окремих частин тіла. Вона широко використовується для лікування шкірних захворювань, а також у цілях профілактики у осінньо - зимовий період. Опромінювач має дугову ртутно - кварцову лампу типу ДРТ-400 з

спеціальним покриттям, яке поглинає короткохвильове УФ - випромінювання області УФ - С.

Велику групу медичних опромінювальних установок складають установки профілактичної неперервної дії, опромінювані розташовано, як правило, на одній висоті зі звичайними світильниками, розташовують рівномірно чи локалізовано, але включаються самостійно. Висоту підвісу опромінювачей рекомендовано не менше 3 і не більше 5,5 м від підлоги. В опромінювальних установках цього типу використовуються ртутні лампи низького тиску — еритемні лампи ЛЕ-15, ЛЕ-30, ЛЕР-30, ЛЕР-40. Ці лампи встановлюють в опромінювачах типу ШЕЛ-1, ШЕП-1 і інших, що мають емаліровані відбивачі і екрануючі решітки з необхідними захисними кутами. Вищезгадана група так званих *еритемних установок*, частіше за все використовується у режимі неперервної дії, особливо у північних районах, який відрізняється особливостями “світлового голоданиа”.

Останнім часом для опромінювальних установок профілактичної дії розробляються спеціальні багатофункціональні люмінесцентні лампи зі спектром випромінювання, близьким до усередненого сонячного спектру. Ці лампи при освітленості 500 лк забезпечують таку опроміненість, яка при неперервній експлуатації опромінювала на протязі 8 годин (робочий день) забезпечує  $\frac{1}{4}$  еритемної зони.

### Установки для опромінення тварин

При створенні установок фотобіологічної дії для їх використання у різних тваринницькі і рибальських приміщеннях, а також при розробці режимів експлуатації цих установок слід враховувати групу біологічних реакцій, які будуть протікати при дії опромінення на організм тварини.

Опромінювальні світлотехнічні установки, створені для застосування у цих господарствах, використовують практично весь діапазон оптичного випромінювання: ІЧ - випромінювання — для обігріву і профілактичної дії, видиме випромінювання — для створення природного середовища проживання при промисловому їх утриманні, УФ - випромінювання — у якості компенсації ультрафіолетової недостачі і як засіб обеззараження повітря і води (бактерицидна дія). Таким чином, установки для тваринницьких і птахівницьких приміщень представляють собою складний комбінований опромінювальний комплекс.

Особливо слід зупинитися на роботі опромінювально - освітлювальних комплексів, що обслуговують птахівницькі господарства. При розведенні птахів світло є важливим елементом мікроклімату. Освітленість у птахівниках, як правило, повинна підтримуватися у рамках 2ч-40.те. При більш високих рівнях освітленості інтенсивність процесів у птахів спостерігається лише у початковий період, потім спостерігається стан хронічного стресу, що призводить до зменшення біологічної активності тварини.

Розглядаючи біологічний вплив ультрафіолетового випромінювання на тварин слід відмітити комплексний характер реакцій живого організму на опромінення.

При опроміненні тварини, в його шкірі, слизових оболонках, в очах і у ряді інших внутрішніх органів протікають складні фотохімічні реакції, в цілому оказуючи профілактичну лікувально - оздоровчу дію. Найбільший вплив на протікання фотохімічних реакцій в організмі тварини має УФ - В спектральна область випромінювання, найменше — УФ - А область. Комплексний характер впливу можна представити у вигляді такої схеми (рис.9):

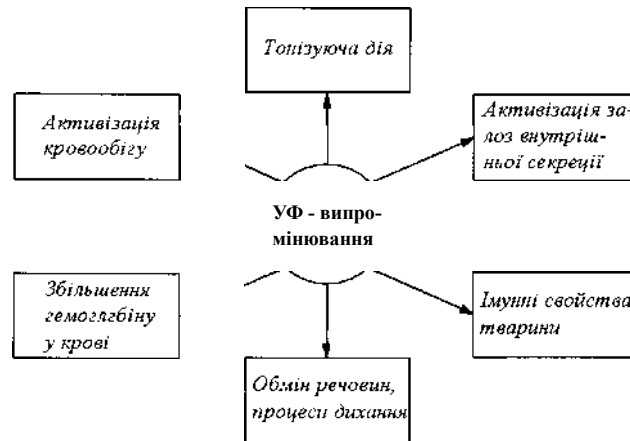
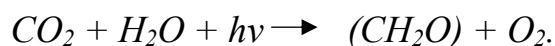


Рис.9. Комплексний вплив УФ - випромінювання на організм тварини

Впровадження комп'ютерного програмного управління опромінювальними установками у великих тваринницьких і птахівницьких підприємствах перевищують ефективність і економічність їх роботи. Не останню роль при цьому повинно відігравати створення нових опромінювально - освітлювальних комплексів промислового масштабу.

### Установки для опромінення рослин

Як відомо із повсякденної практики, найбільш розповсюдженою у природі фотобіологічною реакцією, що спостерігається при випромінюванні рослинного світу, є *фотосинтез*. При фотосинтезі світлова енергія трансформується у хімічну реакцію органічних молекул рослин шляхом відтворення вуглекислого газу до вуглеводів за схемою:



Реакція проходить обов'язково у присутності хлорофілу — основного пігменту фото синтезуючих органічних клітин.

Фотосинтез — найважливіший процес у життєдіяльності рослин. Діапазон випромінювання, приймаючий участь у енергетичному фотосинтезі, обмежено областю 380...760 нм, яка має назву фотосинтетична активна реакція (ФАР).

Найбільш розповсюдженими у наш час є опромінювальні світлотехнічні установки (ОСУ) теплиць, що призначені для зимового вирощування розсади.

Масовими тепличними культурами є огірки та помідори (томати). При вирощуванні розсади цих культур потрібні відносно високі значення опроміненості

(до 50 Вт/м<sup>2</sup>). Тому доцільно було застосування опромінювачей з ртутними лампами високого тиску потужністю 250 - 400 Вт.

В останній час отримали розвиток технології *інтенсивної повної світлокультури*, під якою розуміється вирощування рослин (отримання сільськогосподарських продуктів) у спектральних умовах при штучному освітленні без застосування природного світла. Як показують розрахунки і практична технологія вирощування рослин у світлонепроникних теплицях, ця технологія є вигідною. В умовах інтенсивної світло культури можливі врожаї великої якості, що перевищують за об'ємом у декілька разів (5-7 раз) сьогodenний врожай на природних ґрунтах у природних умовах.

## Література

### Базова література

1. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р.В. Кушлик, В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко, М. П. Кунденко, Ю. М. Федюшко, – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. - 332 с.

2. Червінський Л.С. Електричне освітлення та опромінення: Посібник / Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук,. – К.: Вид-во ТОВ «Аграр медіа Груп», 2021. – 214с.

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

4. Технологія в галузях рослинництва: Навчальний посібник / Л.Ю. Бадьорна, О.П. Бадьорний, О.Ф. Стасів.– К.: Аграрна освіта, 2009.- 599 с.

5. Червінський Л.С. Електротехнології та електроосвітлення: навч. посібник / Л.С. Червінський, А.І. Чміль, Л.О. Сторожук та ін. – К.: ЦП «Компрінт», 2019. – 684 с.

6. Кашенко П.С. Електричне освітлення та опромінення (навчально – методичний посібник). НМЦ, 2003. – 172с.

### Допоміжна література

7. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). Міненерговугілля України, 2017 – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

8. Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5-28-2018. Мінрегіон України, 2018 – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 133 с.

9. Електротехнічні системи електроспоживання. Навчальний посібник / Чміль А.І., Червінський Л.С, Сторожук Л.О., Усенко С.М. Книжка Т.С. – К.: В-во ФОП Кожуховський І.І., 2018–670 с.

10. Повстень В.О. Джерела світла: Навч. посібник. – К.: НАУ, 2001. – 296 с.

11. Говоров П.П., Пилипчук Р.В., Токмань А.І. та ін. Освітлення промислових об'єктів: Навч. посібник. – Х.: Джура, 2008. – 388 с.

12. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок: Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 84 с.

13. Яковлев В.Ф. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Системи електричного освітлення. / За заг. ред. проф. В.Ф.Яковлева. // В.Ф.Яковлев, Р.В.Кушлик, О.С.Квітка, Ю.М.Куценко. - Мелітополь, 2010.-106 с.