

Міністерство освіти і науки України
Полтавський державний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра механічної та електричної інженерії

А.О. СЕМЕНОВ, С.В. ПОПОВ,
Т.В. САХНО, Д.С. ТАРАСЕНКО

**УЛЬТРАФІОЛЕТ: СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ ТА
ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Монографія

Полтава
2023

УДК 621.3
ББК 31.2
С30

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Полтавського державного аграрного університету
(протокол №4 від 29 листопада 2022 р.)*

Рецензенти:

С.В. Мягкота – д.ф.-м.н., проф., завідувач кафедри фізики та інженерної механіки Львівського національного університету природокористування;

О.М. Мороз – д.т.н., проф., професор кафедри механічної та електричної інженерії Полтавського державного аграрного університету;

О.Д. Іващенко – к.х.н., доц., завідувачка кафедри хімії Полтавського державного медичного університету.

Семенов А.О., Попов С.В., Сахно Т.В., Тарасенко Д.С. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання. Монографія. Полтава: ПП «Астрая», 2023. 190 с.

ISBN 978-617-7915-84-2

Монографія присвячена дослідженню ультрафіолетового випромінювання, а саме його характеристик, природі, впливу на довкілля, сфер застосування. Окрім цього, розглянуто джерела ультрафіолетових випромінювань у сучасних технологічних процесах. Приділено увагу вимірюванню бактерицидного потоку та енергетичної освітленості.

Рекомендується для наукових співробітників, інженерно-технічних працівників, які займаються питаннями бактерицидного знезараження, інактивації бактерій, стимуляції процесів під дією ультрафіолетового випромінювання з використанням ультрафіолетових джерел різного спектрального діапазону; здобувачів вищої освіти спеціальностей галузі знань «Електрична інженерія».

УДК 621.3
ББК 31.2
С30

ISBN 978-617-7915-84-2

© А.О. Семенов, С.В. Попов,
Т.В. Сахно, Д.С. Тарасенко, 2023

Зміст

Перелік умовних позначень.....	6
Вступ.....	8
Розділ 1 Сучасні уявлення про природу УФ-випромінювання.....	10
1.1. Природа та характеристика електромагнітного випромінювання...	10
1.2. Енергетичні величини випромінювання. Одиниці вимірювання....	12
Розділ 2 Дія УФ-випромінювання на речовини та живі організми.....	24
2.1 Фотофізична дія УФ-випромінювання.....	24
2.2 Фотохімічні ефекти.....	26
2.3 Фотобіологічна дія УФ-випромінювання.....	34
Розділ 3 Основні сфери використання УФ-випромінювання в фотобіологічних процесах.....	54
3.1 Бактерицидне знезараження питної води.....	54
3.2 Знезараження питної води комбінованими методами – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими технологіями.....	62
3.2.1 УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням.....	62
3.2.2 УФ-опромінення в поєднанні з ультразвуковими технологіями....	65
3.2.3 Комбіноване опромінення УФ та НВЧ-хвилями.....	67
3.2.4 УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням.....	68
3.3 Бактерицидне знезараження УФ-опроміненням стічних вод.....	70
3.4 Використання УФ-випромінювання в медицині.....	74
3.4.1 Бактерицидне знезараження приміщень (повітря та поверхонь)....	74
3.4.2 Бактерицидне знезараження апаратури та інструментів.....	76
3.4.3 Лікувально-профілактичне УФ-опромінення людей.....	78
3.4.4 Штучна засмага в фоторіях та соляріях.....	81
3.4.5 Лікування дерматитів, псоріазу та інших захворювань шкіри.....	85
3.4.6 УФ-опромінення крові.....	86
3.4.7 Застосування УФ-випромінення в діагностиці.....	88
3.4.8 Активація УФ-опроміненням штучних імплантатів.....	90

3.4.9 УФ-лікування туберкульозу легенів.....	92
3.4.10 Полімеризація матеріалів у стоматології.....	93
3.5 УФ-технології в агропромисловому комплексі.....	96
3.5.1 УФ-опромінення посівного матеріалу.....	97
3.5.2 УФ-опромінення овочів і фруктів.....	99
3.5.3 Бактерицидне знезараження зерна УФ-опроміненням.....	101
3.5.4 УФ-опромінення рослин в умовах закритого ґрунту.....	103
3.5.5 Ультрафіолетове опромінення тварин і птиці.....	105
3.5.6 Фототаксис.....	106
3.6 УФ-технології в переробній, харчовій промисловості та в торгівлі.....	107
Розділ 4 Джерела УФ-випромінювання, які застосовують в сучасних технологіях.....	112
4.1 Способи генерування УФ-випромінювання.....	112
4.1.1 Теплові джерела.....	113
4.1.2 Лазери.....	116
4.1.3 Напівпровідникові джерела.....	117
4.1.4 Люмінесцентні джерела УФ-випромінювання.....	124
4.2 Ртутні розрядні лампи низького тиску та їх класифікація.....	127
Розділ 5 Вимірювання параметрів УФ-випромінювання.....	155
5.1 Методики вимірювання енергетичної освітленості та дози УФ-випромінювання.....	155
5.2 Методика вимірювання бактерицидного потоку.....	163
Висновки.....	166
Список використаних джерел.....	168

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

ВУФ – вакуумний ультрафіолет

ГВС – галогеновмісні сполуки

ГДК – гранично допустима концентрація

ГЗЕ – граничні значення експозицій

ДНК - дезоксирибонуклеїнова кислота

ЕПРА – електронний пускорегулюючий апарат

ЗКБ – загальні коліформні бактерії

ЗМЧ – загальне мікробне число

ІЕС - International Electrotechnical Commission

ІЧВ – інфрачервоне випромінювання

ККД – коефіцієнт корисної дії

КУО - колонієутворюючі одиниці

ЛЕ – лампи еритемні

ЛУФ – лампи ультрафіолетові

МЕД – Мінімальна еритемна доза

МЕК – Міжнародна електротехнічна комісія

МКО – Міжнародна комісія з освітлення

НВЧ – надзвичайно високі частоти

ПРА – пускорегулюючий апарат

СВД – світловипромінювальні діоди

ТГМ – тригалогенметани

ТКБ – термотолерантні коліформні бактерії

УФ - ультрафіолет

УФ-А – ультрафіолетове випромінювання в області 315-400 нм

УФ-В – ультрафіолетове випромінювання в області 280-315 нм

УФ-С – ультрафіолетове випромінювання в області 280-100 нм

ФАР – фотосинтетична активна радіація

ВСТУП

Оптичне випромінювання є найбільш важливим фактором середовища проживання людини, так само як повітря і вода. Стан та екологічні параметри цього фізичного явища мають істотне значення для її життєдіяльності.

Наприкінці минулого століття для вирішення багатьох завдань у хімії, біології, медицині, матеріалознавстві і т. д., де хімічні методи виявилися безсилі, з різних причин, застосування УФ-випромінювання дало можливість вирішити ряд технологічних завдань, розуміючи при цьому природу багатьох хімічних, фізичних і біологічних процесів на атомно-молекулярному рівні.

У даний час УФ-технології динамічно розвиваються у промисловості, медицині, комунальному господарстві, енергетиці, сільському господарстві і т. д. Цей розвиток став можливим завдяки розробці і промисловому виробництву сучасних потужних вискоєфективних джерел УФ-випромінювання і пристроїв на їх основі, що дозволило розпочати їх широке використання для знезараження повітря, води, поверхонь і т. д.

З проблеми використання УФ-випромінювання в різних сферах діяльності людства існує велика кількість опублікованих робіт, в яких викладені головним чином результати експериментальних наукових досліджень. Однак використання цих результатів для практичних цілей є не завжди можливим через значну розбіжність отриманих даних, що пов'язано із застосуванням окремими авторами різних методик дослідження, використанням різної термінології, неоднаковим трактування основних понять і застосуванням різних одиниць вимірювань, а також із-за відсутності відомостей про деякі важливі параметри випромінювання й умови проведення експериментів. Слід відзначити, що більшість результатів дослідження цих публікацій присвячені якій-небудь проблемі і не носять комплексного характеру.

У роботі проаналізовано використання УФ-випромінювання в різних сферах діяльності людства, вибрані напрямки перспективних досліджень, зокрема для

бактерицидного знезараження повітря, води, поверхонь (приміщень, обладнання, пакувальних матеріалів і т.д.), харчових продуктів, продовольчої сировини та насіння сільськогосподарських культур та ін.

Для практичної реалізації технологій із використанням УФ-випромінення наведені основні параметри джерел УФ-випромінення та методики вимірювання параметрів УФ-випромінення. Зроблені висновки та пропозиції щодо подальшого розвитку цих напрямків досліджень.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПРИРОДУ УФ- ВИПРОМІНЮВАННЯ

1.1 Природа та характеристика електромагнітного випромінювання

Область оптичного випромінювання охоплює дуже близькі за своїми фізичними властивостями ультрафіолетове, видиме й інфрачервоне випромінювання. Рентгенівські промені і радіохвилі, які теж є електромагнітними коливаннями, не відносяться до оптичної області. За способом отримання і за застосуванням ці види променевої енергії істотно відрізняються від оптичного випромінювання [1].

Ультрафіолетове випромінювання, що входить в оптичну область, з ряду причин займає в ній особливе положення. Перш за все, у людини відсутній орган сприйняття, який міг би безпосередньо реагувати на ультрафіолетове випромінювання, подібно до того як око сприймає видиме випромінювання. Тому ультрафіолетове випромінювання було відкрито порівняно пізно (1801 р.) Далі, на відміну від інших областей оптичного спектру, ультрафіолетове випромінювання здатне, впливаючи на атоми і молекули речовини, змінювати його фізичні і хімічні властивості [2, 3].

Природа ультрафіолетового випромінювання – електромагнітне випромінювання, що представляє процес переносу електромагнітних коливань енергії від джерела випромінювання в оточуюче середовище і займає діапазон між видимим і рентгенівським випромінюванням (від 10 до 400 нм). За сучасних фізичних уявлень випромінювання володіє як хвильовими, так і корпускулярними властивостями.

УФ-випромінювання є частиною діапазону оптичного випромінювання (від 10 нм до 1мм), до якого разом з ним належать видиме (від 380 (400) до 760 (780) нм) та інфрачервоне (від 760 (780) нм до 1 мм). Діапазон поділяють на ближній УФ (400-200 нм) і дальній або вакуумний (200-10 нм) ультрафіолет,

який інтенсивно поглинається повітрям і досліджується тільки вакуумними приладами.

Відповідно до рекомендацій Міжнародної комісії з освітлення [4], оптичний діапазон з довжинами хвиль між 100 та 400 нм включає наступні області ультрафіолетового випромінювання (А, В, С), що мають різну природу і відповідно різну біологічну дію:

УФ – А (м'яке) від 315 до 400 нм;

УФ – В (середнє) від 280 до 315 нм;

УФ – С (жорстке) від 100 до 280 нм.

Межі між цими областями вибрано умовно в відповідності з переважним ефектом взаємодії випромінювання і біологічного об'єкту.

Діапазон УФ-А вважається м'яким УФ-випромінюванням, що добре проникає в шкіру людини і при взаємодії з нею призводить до утворення ефекту загару. Діапазон УФ-В викликає сонячні опіки і при довгому і систематичному опромінюванні може приводити до різних захворювань шкіри. УФ-С діапазон вважається жорстким УФ-випромінюванням, яке добре поглинається білковими молекулами, викликаючи при цьому загибель бактерій і вірусів або їх незворотні мутації, втрату можливості розмноження і т. д. Цей діапазон називають бактерицидним із-за його ефективності по відношенню до бактерій і вірусів. УФ-С – діапазон погано проникає в шкіру людини, проте за рахунок великої поглинаючої здатності може призводити до опіку, а при систематичному впливі - до пошкодження шкіри і навіть до онкологічних захворювань шкіри [1, 3].

Кванти УФ випромінювання мають більшу енергію ε завдяки більшій частоті ν електромагнітних коливань, ніж кванти видимого випромінювання ($\varepsilon = h\nu$, де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка), УФ випромінювання краще ніж видиме, проявляє себе в тих явищах, які мають квантовий характер – фотоелектричний ефект (зовнішній та внутрішній), фотохімічні та фотобіологічні процеси, при чому в останніх дія УФ випромінювання на організми людей та тварин може бути як корисною так і пагубною [1, 2].

З іншого боку УФ-випромінювання проявляє себе краще, ніж рентгенівське (через порівняно малу довжину хвилі останнього) в тих явищах, які мають суто хвильовий характер – дисперсія (залежність швидкості розповсюдження випромінювання від оптичної густини середовища, тобто – від її коефіцієнта заломлення) та дифракція (посилення або послаблення інтенсивності електромагнітних коливань (інтерференція) після проходження отворів або огинання перешкод малих розмірів, або проходження через систему чергування отворів – перешкод (дифракційна решітка)), що дозволяє розкласти УФ випромінювання в спектри за довжинами хвиль, і завдяки цьому, вимірювати інтенсивність (спектральну) на кожній окремій довжині хвилі, визначати так звані спектри дії УФ випромінювань та їхні спектральні ефективності в тих чи інших явищах (процесах).

При дослідженні дії УФ-випромінювання на різні біологічні об'єкти було відмічено їх вибіркковість і селективність до різних довжин хвиль [1, 3].

1.2 Енергетичні величини випромінювання. Одиниці вимірювання

Однією з основних характеристик випромінювання є його спектральний склад [3, 5]. Спектральний розподіл виражає залежність спектральної енергетичної величини в абсолютних або відносних одиницях, наприклад спектральної щільності потоку випромінювання $\Phi_{e,\lambda}$, Вт/нм, яка визначається як відношення потоку випромінювання Φ_e , Вт у вузькому інтервалі довжин хвиль до цього інтервалу $\delta\lambda$, нм. Наявність розподілу спектральної щільності потоку випромінювання $\Phi_{e,\lambda}$ джерела дозволяє визначити його інтегральний потік випромінювання Φ_e в будь-якій ділянці діапазону довжин хвиль за формулою [3]:

$$\Phi_e = \delta\lambda \sum_{i=1}^n \Phi_{e,\lambda,i}, \text{ Вт}, \quad (1.1)$$

де i – порядковий номер спектрального інтервалу.

Якщо значення спектральної щільності потоку наведені у відносних одиницях $\Phi_{\lambda,i(\text{відн})}$, то їх можна записати:

$$\Phi_{e,\lambda,i} = \Phi_{\lambda,i(\text{відн})} K_a, \text{ Вт/нм} \quad (1.2)$$

У цьому виразі множник K_a в спектральному діапазоні довжин хвиль $\lambda_1 - \lambda_n$ обчислюється за формулою:

$$K_a = \frac{\Phi_e}{\Delta\lambda \sum_{i=1}^m \Phi_{\lambda,i(\text{відн})}}, \text{ Вт/нм} \quad (1.3)$$

Важливою характеристикою джерела є розподіл його потоку випромінювання в просторі. Під просторовою щільністю потоку випромінювання в даному напрямку розуміють силу випромінювання, рівну відношенню потоку випромінювання Φ_e , що поширюється всередині тілесного кута до цього кута. Тілесний кут дорівнює відношенню площі поверхні ΔS , що вирізається на сфері одиничного розміру, яка оточує джерело випромінювання, конусом з вершиною в центрі сфери до квадрату її радіуса R . Зв'язок з плоским кутом кругового конуса γ (в градусах) і тілесним кутом виражається формулою:

$$\Delta\Omega = 2\pi(1 - \cos \gamma) \quad (1.4)$$

Тілесний кут вимірюють у стерadianах (ср). Один стерadian дорівнює відношенню $\Delta S = 1\text{м}^2$ до квадрату радіуса $R = 1\text{м}$, тобто $\Delta\Omega = \Delta S / R^2 = 1$ ср. Сила випромінювання має одиницю вимірювання Вт/ср:

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}, \text{ Вт/ср} \quad (1.5)$$

Для точкового, що умовно можна назвати кульовим ізотропним джерелом (однаково випромінює в усіх напрямках), розташованого в центрі сфери з радіусом R , потік випромінювання Φ_e поширюється в тілесному куті:

$$\Omega = \frac{S_{cf}}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi, \text{ ср.}, \quad (1.6)$$

а значення сили випромінювання в будь-якому напрямку рівне

$$I_{e,\kappa} = \frac{\Phi_e}{\Omega} = \frac{\Phi_e}{(4\pi)}, \text{ Вт/ср.} \quad (1.7)$$

Поверхнева щільність потоку випромінювання або опроміненість у будь-якій точці поверхні кулі визначається як

$$E_e = \frac{\Phi_e}{S_\kappa} = \frac{\Phi_e}{(4\pi R^2)}, \text{ Вт/м}^2 \quad (1.8)$$

Якщо врахувати вираз (1.5), то отримаємо формулу:

$$E_e = \frac{I_e}{R^2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (1.9)$$

яка відображатиме один з фундаментальних законів фізики – закон квадратів відстаней, згідно з яким опроміненість у точці обернено пропорційна квадрату відстані до цієї точки від джерела і прямо пропорційна силі випромінювання в даному напрямку.

Слід зауважити, що цей закон справедливий за умови, коли розміри джерела випромінювання суттєво менші відстаней до точки вимірювання (становлять не більше десятої частини відстані від нього до точки вимірювання опроміненості).

Основні радіометричні величини, які застосовують при оцінці параметрів УФ-випромінювання в табл.1.1.

Таблиця 1.1.

Основні УФ-величини та одиниці їх вимірювання

Величина	Визначення	Формула	Одиниця вимірювання
Енергія випромінювання	Енергія, що переноситься випромінюванням	W_e	Дж (Джоуль)
Потік випромінювання	Відношення енергії випромінювання до часу дії	$\Phi_e = \frac{W_e}{t}$	Вт (Ват)
Опромінюваність (поверхнева густина потоку випромінювання)	Відношення потоку випромінювання до площі, що опромінюється	$E_e = \frac{\Phi_e}{S}$	Вт/м ²
Поверхнева доза (флуєнс) ¹	Відношення енергії випромінювання до поверхні, що опромінюється	$H_s = \frac{W_e}{S}$	Дж/м ²
Об'ємна доза	Відношення енергії випромінювання до об'єму, що опромінюється	$H_v = \frac{W_e}{V}$	Дж/м ³

Поширення випромінювання в просторі пов'язане з перенесенням енергії від джерела до іншого матеріального тіла, яке зустрічається на його шляху.

¹ Кількість енергії випромінювання згідно з табл.1.1 на одиницю площі вимірюється в Дж/м² і називається «флуєнс». Проте термін «флуєнс» використовується в США та Канаді, а в Європі, Україні та Росії, згідно з рішенням Міжнародного комітету фітобіології допускається використання терміну «доза».

Енергія випромінювання W_e дорівнює добутку потоку випромінювання Φ_e (Вт) на час дії t (с), тобто

$$W_e = \Phi_e t, \text{ Дж} \quad (1.10)$$

Величина, що характеризує щільність енергії падаючого випромінювання на поверхню площею S , м^2 , називається поверхневою енергетичною експозицією і визначається співвідношенням:

$$H_{e,S} = \frac{W_e}{S} = \frac{\Phi_e t}{S} = E_e t, \text{ Дж/м}^2 \quad (1.11)$$

Якщо енергія випромінювання заповнює об'єм V , м^3 , то використовується величина «об'ємна енергетична експозиція», що характеризує об'ємну щільність енергії. Об'ємну енергетичну експозицію визначають співвідношенням:

$$H_{e,V} = \frac{W_e}{V} = \frac{\Phi_e t}{V}, \text{ Дж/м}^3 \quad (1.12)$$

Переважає більшість штучних джерел випромінювання ґрунтується на перетворенні електричної енергії в енергію випромінювання [6, 7, 8]. Оцінка ефективності перетворення витраченої електричної енергії в енергію випромінювання в заданому спектральному діапазоні довжин хвиль $\lambda_1 - \lambda_n$ визначається значенням так званого енергетичного ККД (коефіцієнту корисної дії) з урахуванням (1.1), що обчислюють:

$$K_E = \frac{\Delta\lambda \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{e,\lambda,i}}{P} = \Phi_{e,(\lambda_1-\lambda_n)} P < 1, \quad (1.13)$$

де P – електрична потужність джерела випромінювання, Вт.

Енергетичний ККД джерела K_E є безрозмірною величиною.

Оцінку внеску окремих спектральних ліній у сумарне випромінювання іноді здійснюють за допомогою спектрального ККД $K_{\lambda,\phi}$ або сили випромінювання $K_{\lambda,I}$, які мають такі одиниці вимірювання [9]:

$$K_{\lambda,\phi} = \frac{\Phi_{e,\lambda}}{P}, \text{ нм}^{-1} \quad (1.14)$$

$$K_{\lambda,I} = \frac{\Delta\Phi_{e,\lambda}}{\Delta\Omega \cdot P} = \frac{I_{e,\lambda}}{P}, \text{ нм}^{-1}\text{ср}^{-1}. \quad (1.15)$$

При проходженні потоку випромінювання через об'єкт воно або частково, або повністю поглинається в залежності від його оптичних властивостей. Для об'єктів, з неселективним поглинанням (не впливає на спектральний склад випромінювання) була знайдена експериментальна, а потім підтверджена теоретично, залежність між значеннями падаючого Φ_e і пройденого Φ_τ потоків випромінювання для плоского об'єкта товщиною x (м) – закон Бугера-Ламберта [10]:

$$\Phi_{e,\tau} = \Phi_e \exp(-kx), \quad (1.16)$$

де k – показник ослаблення, м^{-1} , звідки

$$\tau = \frac{\Phi_{e,\tau}}{\Phi_e} = \exp(-kx) \quad (1.17)$$

Значення k для даного виду об'єкта визначають експериментально, воно залежить від поглинаючої здатності об'єкта: чим більша прозорість об'єкта, тим менше значення k . При $k=0$ об'єкт має максимальну прозорість, тобто коефіцієнт пропускання такого об'єкта дорівнює одиниці, так як $\exp(0) = 1$.

Якщо об'єкт впливає на спектральний склад випромінювання, тобто є селективним, то в цьому випадку визначають значення спектрального коефіцієнта поглинання $k(\lambda)$ і відповідно спектральний коефіцієнт пропускання $\tau(\lambda)$. Значення потоку випромінювання, що поглинається можна визначити з рівняння:

$$\Phi_{e,\alpha} = \Phi_e - \Phi_{e,\tau} = \Phi_e - \Phi_e \exp(-kx) = \Phi_e (1 - \exp(-kx)) \quad (1.18)$$

Таким чином розглянуті енергетичні радіометричні величини випромінювання та їх одиниці вимірювання, які дають можливість оцінити власні фізичні параметри випромінювання без врахування його дії на те чи інше тіло.

Тіла, в яких відбувається перетворення енергії випромінювання в інші види енергії, наприклад в теплову, хімічну або електричну, прийнято називати приймачами [10].

При дослідженні впливу випромінювання на різні приймачі було виявлено, що переважна кількість приймачів, особливо біологічних, має вибірковість або селективність до різних довжин хвиль. Селективність приймача випромінювання означає, що при однакових значеннях поглинених потоків випромінювання з різним спектральним складом, вони викликають неоднакову ступінь реакції приймача [3].

Отже, при оцінці ефективності взаємодії випромінювання з селективним приймачем використання енергетичних величин може привести до значних помилок. Ефективні величини дозволяють виявити оптимальні параметри випромінювання і оцінити ступінь взаємодії випромінювання і селективного приймача. Це базується на тому, що не вся поглинена енергія випромінювання

може викликати той чи інший ефект: значна частина її перетворюється в тепло. Частка корисної поглиненої енергії визначається спектральною чутливістю приймача. Як правило, чутливість приймача зображують на графіку у вигляді кривої, що є функціональною залежністю відносної спектральної чутливості S_λ , що відкладається на осі ординат, від довжини хвилі випромінювання λ , що відкладається на осі абсцис. Зазвичай довжина хвилі $\lambda_{\max}$ відповідає максимальній спектральній чутливості приймача $S_{\lambda, \max}$.

Наявність експериментальної кривої спектральної чутливості приймача дозволяє визначити ефективність дії випромінювання як окремих спектральних ліній, так і їх сумарну дію.

Так, якщо відома спектральна щільність будь-якої радіометричної величини в енергетичних одиницях, наприклад потоку $\Phi_{e, \lambda}$, то для ефективного значення спектральної щільності потоку випромінювання $\Phi_{ef, \lambda}$ можна написати:

$$\Phi_{ef, \lambda} = \Phi_{e, \lambda} \cdot S_\lambda, \text{ Вт/нм} \quad (1.19)$$

а для складного випромінювання в діапазоні довжин хвиль $\lambda_1 - \lambda_n$, що складається з окремих спектральних ліній або суцільного спектра, розбитого на вузькі інтервали довжин хвиль $\Delta\lambda$ (нм), ефективний потік випромінювання визначають:

$$\Phi_{ef(\lambda_1 - \lambda_m)} = \Delta\lambda \Phi_{ef, \lambda_i} = \Delta\lambda \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{e, \lambda_i} \cdot S_\lambda, \text{ Вт} \quad (1.20)$$

Формули (1.19) і (1.20) дійсні для приймачів, що мають лінійну залежність рівня реакції від значення падаючого потоку випромінювання незалежно від його спектрального складу, якщо виконується умова адитивності [11], тобто сума рівнів реакції приймача від двох або більше

окремих спектральних потоків дорівнює рівню реакції від їх сумарного впливу. У цьому випадку можлива побудова системи ефективних радіометричних величин [3].

В табл.1.2 наведені еритемні величини та одиниці вимірювання [12, 13, 14], а в табл.1.3 бактерицидні величини та одиниці [3, 13].

Таблиця 1.2.

Еритемні величини і одиниці

Величина	Позначення	Визначення	Одиниця	Визначення
Еритемний потік	Φ_{ep}	Потужність еритемного випромінювання – ефективна величина, що характеризує УФ-випромінювання по його корисній (в малих дозах) дії на людину і тварин	ер	Еритемний потік, що відповідає потоку випромінювання з довжиною хвилі 297 нм потужністю 1 Вт
Еритемна енергія	Q_{ep}	Добуток еритемного потоку і тривалості дії випромінювання	ерт	Еритемна енергія, яка відповідає еритемному потоку 1 ер, що випромінюється або сприймається на протязі 1 год
Еритемна ефективність випромінювання	K_{ep}	Відношення еритемного потоку до відповідного потоку випромінювання	ер/Вт	Еритемна ефективність випромінювання, при якій еритемний потік в 1 ер створюється потоком випромінювання потужністю 1 Вт
Еритемна світність в точці поверхні	M_{ep}	Відношення еритемного потоку, що випускається елементом поверхні, яка містить дану точку, до площі цього елемента	ер/м ²	Еритемна світність поверхні площею 1м ² , що випромінює еритемний потік 1 ер
Еритемна освітленість (еритемна опроміненість) в точці поверхні	E_{ep}	Відношення еритемного потоку, що падає на елемент поверхні, який містить дану точку, до площі цього елемента	ер/м ²	Еритемна освітленість поверхні площею 1м ² при еритемному потоці падаючого на нього випромінювання 1 ер
Еритемна доза (еритемна	H_{ep}	Відношення еритемної енергії	ерт/м ²	Еритемна доза, що отримує поверхня

експозиція)		випромінювання, що падає на елемент поверхні до площі цього елемента		площею 1 м^2 , на яку падає випромінювання з еритемною енергією 1 ерг
Еритемна сила світла (сила еритемного випромінювання) джерела в деякому напрямленні	I_{ep}	Відношення випромінюючого джерелом еритемного потоку, що розповсюджується в деякому напрямку всередині елементарного тілесного кута до цього тілесного кута	ер/ср	Еритемна сила світла рівномірного точкового джерела, що випромінює в тілесному куті 1 ср еритемний потік 1 ер
Еритемна яскравість	L_{ep}	Відношення еритемної сили світла елемента поверхні (об'єму) в розглянутому напрямку площі його проекції на площину, що перпендикулярна цьому напрямку	ер/(ср·м ²)	Еритемна яскравість рівномірно випромінюючої плоскій поверхні площею 1 м^2 в перпендикулярному до неї напрямку при еритемній силі світла поверхні в тому ж напрямку 1 ер/ср
Еритемна віддача лампи	η_{ep}	Відношення еритемного потоку лампи до споживаної нею потужності	ер/Вт	Еритемна віддача лампи, що випромінює еритемний потік 1 ер при споживаній потужності 1 Вт
Еритемний коефіцієнт пропускання	τ_{ep}	-	%	-
Еритемний коефіцієнт відбивання	ρ_{ep}	-	%	-
Еритемний коефіцієнт поглинання	α_{ep}	-	%	-

Таблиця 1.3.

Бактерицидні величини і одиниці

Величина	Позначення	Визначення	Одиниця	Визначення
Бактерицидний потік	$\Phi_{бк}$	Потужність бактерицидного випромінювання – ефективна величина, що характеризує УФ-випромінювання по	бк	Бактерицидний потік, що відповідає потоку випромінювання з довжиною хвилі 254 нм потужністю 1 Вт

		його здатності вбивати бактерії		
Бактерицидна енергія	$Q_{\text{бк}}$	Добуток бактерицидного потoku і тривалості опромінення	бк·г	Бактерицидна енергія, яка відповідає бактерицидному потoku 1 бк, що випромінюється або сприймається на протязі 1 год
Бактерицидна ефективність випромінювання	$K_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидного потoku до відповідного потoku випромінювання	бк/Вт	Бактерицидна ефективність випромінювання, при якій бактерицидний потік в 1 бк створюється потоком випромінювання потужністю 1 Вт
Бактерицидна світність в точці поверхні	$M_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидного потoku, що випускається елементом поверхні, яка містить дану точку, до площі цього елемента	бк/м ²	Бактерицидна світність поверхні площею 1м ² , що випромінює бактерицидний потік 1 бк
Бактерицидна освітленість (бактерицидна опроміненість) в точці поверхні	$E_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидного потoku, що падає на елемент поверхні, який містить дану точку, до площі цього елемента	бк/м ²	Бактерицидна освітленість поверхні площею 1м ² при бактерицидному потoci падаючого на нього випромінювання 1 бк
Бактерицидна доза (бактерицидна експозиція)	$H_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидної енергії випромінювання, що падає на елемент поверхні до площі цього елемента	бк·г/м ²	Бактерицидна доза, що отримує поверхня площею 1м ² , на яку падає випромінювання з бактерицидною енергією 1 бк·г
Бактерицидна сила світла (сила бактерицидного випромінювання) джерела в деякому направленні	$I_{\text{бк}}$	Відношення випромінюючого джерелом бактерицидного потoku, що розповсюджується в деякому напрямку всередині елементарного тілесного кута до цього тілесного кута	бк/ср	Бактерицидна сила світла рівномірного точкового джерела, що випромінює в тілесному куті 1 ср еритемний потік 1 бк
Бактерицидна яскравість	$L_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидної сили	бк/(ср·м ²)	Бактерицидна яскравість рівномірно

		світла елементу поверхні (об'єму) в розглянутому напрямку площі його проекції на площину, що перпендикулярна цьому напрямку		випромінюючої плоскої поверхні площею 1 м^2 в перпендикулярному до неї напрямку при бактерицидній силі світла поверхні в тому ж напрямку 1 бк/ср
Бактерицидна віддача лампи	$\eta_{\text{бк}}$	Відношення бактерицидного потоку лампи до споживаної потужності	бк/Вт	Бактерицидна віддача лампи, що випромінює бактерицидний потік 1 бк при споживаній потужності 1 Вт
Бактерицидний коефіцієнт пропускання	$\tau_{\text{бк}}$	-	%	-
Бактерицидний коефіцієнт відбивання	$\rho_{\text{бк}}$	-	%	-
Бактерицидний коефіцієнт поглинання	$\alpha_{\text{бк}}$	-	%	-

Для деяких конкретних біологічних приймачів, у яких відхилення від нелінійності і адитивності не настільки значні, що ними можна фактично знехтувати. До такого виду біологічних приймачів можна віднести і мікроорганізми.

Це узгоджується з теоремою А. Я. Хінчіна, що відносять до теорії великих чисел. В одному з наслідків цієї теореми (нелінійність-адитивність) стверджується, що зі збільшенням кількості елементів системи, у тому числі і клітин, вона спрощується. У цьому випадку систему можна розглядати як лінійну й адитивну [15].

РОЗДІЛ 2 ДІЯ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РЕЧОВИНИ ТА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

Попадання випромінювання на поверхню розділу двох середовищ, проникнення в інше середовище та проходження через нього, випромінювання зазнає певних змін – зменшення інтенсивності, зміни напрямку поширення, швидкості поширення. В усіх цих явищах проявляється хвильова природа оптичних випромінювань, і ці явища добре пояснюються хвильовою та електромагнітною теоріями випромінювання.

В той же час при поглинанні речовиною або проходження через неї випромінювання за певних умов можуть відбуватися фізичні, хімічні або біологічні зміни, які спричиняються дією оптичного випромінювання [1, 2].

Згідно з [3] такі явища мають загальну назву «фотоефект», в них проявляється квантова природа оптичного випромінювання і вони добре пояснюються квантовою теорією. До таких ефектів належать фотофізичний, фотохімічний та фотобіологічний.

2.1 Фотофізична дія УФ-випромінювання

Під фотофізичною дією випромінювання слід розуміти будь-яке змінення фізичних параметрів або протікання будь-яких процесів під дією випромінювання. До числа найбільш відомих, що широко використовуються у науці та техніці належать фотоелектричний ефект та фотолюмінесценція [1, 4]. Розрізняють зовнішні та внутрішні фотоелектричні ефекти (фотоефекти).

При зовнішньому фотоефекті промениста енергія, що падає на поверхню металу, викликає вихід найдрібніших носіїв негативного електричного заряду – електронів. Необхідною умовою виходу кожного електрона є поглинання одного світлового кванта. При незмінному складі випромінювання число

електронів в одиницю часу пропорційно опроміненості. Тому зовнішній фотоефект часто використовують у спеціальних приладах – фотоелементах – для різного роду вимірювань, пов'язаних з випромінюванням [2, 5]. Зовнішній фотоелектричний ефект має чітко виражену залежність від довжини хвилі випромінювання. Процеси, пов'язані з зовнішнім фотоефектом, протікають в основному на поверхні, на противагу так званому внутрішньому фотоефекту, при якому звільнені електрони залишаються всередині опроміненої речовини. У разі внутрішнього фотоефекту, при деяких обставинах, можуть мати місце хімічні перетворення.

При поглинанні випромінювання може відбуватися інший процес, не пов'язаний зі зміною речовини, що опромінюється – флюоресценція [1]. Матеріали з флюоресцентними властивостями поглинають випромінювання і, через короткий проміжок часу, випромінюють його знову у вигляді випромінювання флюоресценції. Спектр цього випромінювання в більшості випадків не залежить від спектрального складу збудженого випромінювання і характерний для даної речовини, але для виникнення флюоресценції необхідно, щоб збуджене випромінювання мало меншу довжину хвилі, ніж випромінювання флюоресценції (закон Стокса). Деякі речовини не випромінюють відразу поглинену енергію, а накопичують її. Через певний час після початку збудження, ці речовини повільно випускають накопичену енергію у вигляді випромінювання з інтенсивністю, що поступово зменшується. Такі речовини називають фосфорами, а саме явище – фосфоресценції. Флюоресценція і фосфоресценція об'єднуються під загальним поняттям люмінесценції [4].

У найбільш сприятливому випадку на кожен поглинений світловий квант випромінюється один квант випромінювання люмінесценції. Спостереження люмінесценції, властивої даній речовині, найкраще всього робити при збудженні його невидимими ультрафіолетовими променями, так як у цьому випадку збуджене випромінювання не заважає візуальному спостереганню зазвичай слабкого світіння люмінесценції. На цьому принципі працює

аналітична лампа. Явище флюоресценції використовують у вимірювальній техніці, так як яскравість флюоресценції, речовини, що світиться, може служити мірою опроміненості поверхні ультрафіолетовими променями. В даний час люмінесценція отримала велике практичне застосування, оскільки з її допомогою вдається перетворити ультрафіолетове випромінювання у видиме світло і цим підвищити світлову віддачу ртутних ламп, що застосовують для освітлення (люмінесцентні лампи). Крім того, використовуючи різні люмінофори, можна змінювати колір випромінювання люмінесцентної лампи.

Поряд з цими явищами при взаємодії випромінювання з речовиною можливий ще один процес, який також не викликає змін в опромінюваній речовині. Мова йде про нагрівання тіл при опроміненні [1]. У більшості випадків нагрівання настільки не значне, що ним можна знехтувати, однак воно небажано, якщо досліджуваний процес залежить від температури.

2.2 Фотохімічні ефекти

Найбільш важливою властивістю ультрафіолетових променів, на якій головним чином і базується їх використання в біології і техніці є здатність викликати фотохімічні перетворення в опроміненій речовині [1, 2].

Сутність фотохімічних процесів (реакцій) полягає в активізації системи (молекул, атом) поглиненням квантом випромінювання. Тому згідно з [3] властивістю оптичних випромінювань, яка дає їм можливість викликати хімічні зміни в певних живих та неживих матеріалах, називається актинічністю, а випромінювання, які мають таку властивість і фотохімічні ефекти називають актинічними.

Прямим (непрямим) актинічним ефектом називається ефект, що відбувається у місці (поза місцем), де поглинається енергія, яка спричиняє ефект [2]. Різниця між прямим і непрямим актинічними ефектами зазвичай

спостерігається в разі біологічних змін. Наприклад, фотостимулювання ендокринних залоз є непрямим ефектом.

Легко зрозуміти, що актинічне випромінювання (в тому числі – світло) можуть спричинити такі перетворення речовин, які в звичайних умовах вимагали б високих температур.

Дійсно, кімнатній температурі 290 К відповідає енергія поступального руху молекул:

$$\frac{3}{2}kT \approx 0,04eV = 6,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}, \quad (2.1)$$

в той час як енергія фотона зеленого світла ($\nu = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$)

$$\varepsilon = h\nu \approx 2,5eV = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \quad (2.2)$$

Таким чином, поглинання фотона видимого випромінювання є еквівалентним збільшенню температури в 100 раз, тобто нагрівання до десятків тисяч градусів. Зрозуміло також, що чим меншою є довжина хвилі випромінювання, тим воно може бути хімічно більш активним [1, 6].

Процес фотохімічної дії випромінювання можна поділити на три стадії [2, 7]:

- 1) акт поглинання, під час якого виникають електрично-збуджені стани;
- 2) первинні фотохімічні процеси, в яких беруть участь системи в електронно-збуджених станах;
- 3) вторинні або темнові (термічні) реакції, в яких беруть участь продукти первинних процесів.

Особливості фотохімічної активації в порівнянні з термічною є її селективність (вибірність). Поглинений квант випромінювання збуджує або активує лише окремий зв'язок або групу зв'язків у певній молекулі. Використовуючи характерні для молекул речовини частоти збуджуючого

випромінювання, можна активувати їх, не затонувши інші молекули (наприклад, розчинника) або інших зв'язків у тій самій молекулі, в той час як термічна активація тих самих молекул і зв'язків може бути досягнута тільки завдяки збільшенню повної енергії оточуючих молекул.

Усі фотохімічні ефекти відбуваються через електронно-збуджені стани. Щоб зрозуміти сутність фотохімічного процесу, необхідно мати відомості щодо енергії, часу життя та структури електронно-збуджених станів. Для опису цього процесу застосовують складний математичний апарат квантової теорії, що не потрібний для практичного використання оптичних випромінювань. Для цього достатньо розглянути фотохімічні процеси на наступному рівні [2].

Отже, енергія збудження може витратитися в один з таких способів:

$A^* \rightarrow$ випромінювання (флюоресценція): $A^O + h\nu$;

$A^* \rightarrow$ безвипромінювальний процес: $A_O + \text{тепло}$;

$A^* \rightarrow$ хімічна реакція: продукти реакції, де A^* – молекула в електронно-збудженому стані; A_O – молекула в не збудженому стані.

Молекули живуть достатньо довго тільки на самих низьких коливальних рівнях найбільш низьких електронно-збуджених станів. Тим не менш, швидкість дезактивації (втрати) енергії і цих станів надзвичайно висока в порівнянні зі швидкостями звичайних «теплових» хімічних реакцій. Тому хімічні реакції збудженого стану мають відбуватися достатньо швидко, щоб успішно конкурувати з дезактиваційними процесами.

Молекули, що перебувають в одному зі збуджених станів, можуть піддаватися в подальшому одному з таких фотохімічних перетворень [8]:

а) фоторозпад (фоторозщеплення)



б) фотоприєднання:



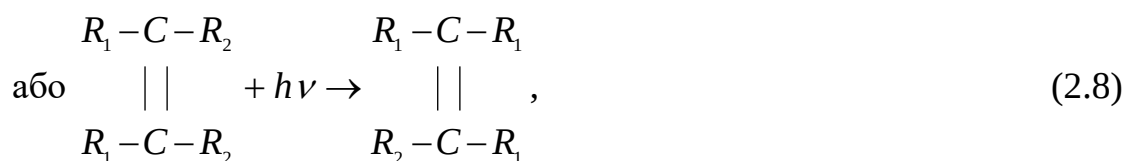
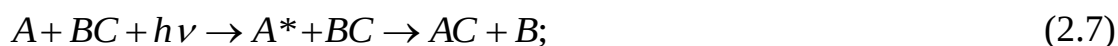
в) фотоперенесення електрону:



г) фотополімеризацію:



д) фотоперегрупування:



де A, B, C – атоми або молекули простих хімічних з'єднань; AB, BC, ABC – молекули, A^+, B^- – іони; R_1, R_2 – радикали; A^* – молекули або атоми в збудженому стані.

Кількісна залежність фотохімічної дії від умов опромінення визначається законом Бунзена-Роско, який пов'язує число N молекул, що вступили в реакцію, з поглиненим променевим потоком Φ_α і часом t опромінення, формулою:

$$N = \alpha \cdot \Phi_\alpha t \quad (2.9)$$

де α – стала швидкості фотохімічної реакції.

Слід зазначити, що більшість реальних процесів у випадках малих і великих густин промислових потоків характеризується відхиленням від цього закону.

Другий закон фотохімії – закон Штарка–Ейнштейна (закон квантової еквівалентності), згідно якого [8], кожна молекула бере участь у хімічній реакції, яка відбувається під дією випромінювання, поглинає один його квант, який спричиняє реакцію.

При цьому:

$$\eta_k = \frac{N}{n_\alpha} \leq 1 \quad (2.10)$$

де η_k – квантовий вихід реакції; N – число молекул, які вступають у реакцію; n_α – число поглинутих фотонів.

Пізніше було з'ясовано, що цей закон можна застосовувати лише до первинних процесів, оскільки вторинні реакції, що супроводжуються виділенням тепла (наприклад, ланцюгові реакції) можуть приводити до того, що повний квантовий вихід, визначений за наданою вище формулою, виходить більшим одиниці [8].

Важливішою кількісною характеристикою, будь-якою хімічного перетворення є швидкість процесу, яка вимірюється кількістю речовини, утвореної в одиниці об'єму V за одиницю часу, тобто:

$$g = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad (2.11)$$

Якщо процес протікає за сталого об'єму, то

$$g = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad (2.12)$$

де $c = \frac{M}{V}$ – масова концентрація речовини.

Швидкість хімічної реакції є функцією концентрації реагуючих речовин:

$$\mathcal{G} = [A_1]^{n_1} [A_2]^{n_2} \dots [A_i]^{n_i},$$

де $[A_i]$ – концентрація речовини A_i ; n_i – порядок реакції по речовині A_i .

Кількість утворених збуджених молекул визначається формулою законна Бунзена-Роско:

$$A^* = a\Phi_{\alpha}t \quad (2.13)$$

де A^* – молекула в електронно-збудженому стані.

Застосовуючи закон Бугера-Ламберта [5], отримаємо

$$A^* = a(1 - e^{-\mu l})\Phi_{\alpha}t \quad (2.14)$$

де μ – коефіцієнт послаблення випромінювання, l – товщина поглинаючого шару.

Для одиниці об'єму:

$$[A^*] = a(1 - e^{-\mu})Et, \quad (2.15)$$

Тому, що для одиниці об'єму $l=1$, і у виразі $\Phi_{\alpha} = ES$, також $S=1$.

де E – опроміненість, або

$$[A^*] = a(1 - e^{-\mu_c C_A})Et \quad (2.16)$$

де $\mu_c = \frac{\mu}{c}$ – молекулярний коефіцієнт послаблення променевого потоку;

C_A – концентрація молекул поглинаючої речовини.

Зміна концентрації молекул, що збуджуються за одиницю часу

$$\frac{\Delta c_{A^*}}{\Delta t} = \frac{[A^*]}{t} = aE(1 - e^{-\mu_c C_A}) \quad (2.17)$$

Якщо концентрація молекул і послаблення випромінювання є малими ($\mu_c C_A \leq 0,1$), то

$$(1 - e^{-\mu_c C_A}) \approx \mu_c C_A \quad (2.18)$$

і

$$\frac{\Delta c_{A^*}}{\Delta t} = a\mu_c C_A E \quad (2.19)$$

Позначимо через K_2 сталу швидкість різного роду дезактиваційних перетворень збуджених молекул, а через K_1 – сталу швидкість появи нового продукту хімічної реакції, наприклад, реакції фотоприєднання:



Тоді швидкість зникнення (дезактивації) збуджених молекул A^*

$$\frac{\Delta c_{A^*}}{\Delta t} = k_2 c_{A^*}, \quad (2.21)$$

а згідно з законом діючих мас, (швидкість елементарної реакції, тобто реакції в однорідній системі, прямо пропорційна добутку концентрації реагуючих речовин) швидкість появи молекул продукту АВ :

$$\frac{\Delta c_{AB}}{\Delta t} = k_1 c_{A^*} c_B \quad (2.22)$$

В стані рівноваги число утворювальних збуджених молекул дорівнює числу зникаючих(дезактивованих і тих, що прореагували), тобто

$$a\mu_c c_A E = k_2 c_{A^*} + k_1 c_{A^*} c_B \quad (2.23)$$

Розв'язуючи два останні рівняння сумісно (позбавляючись від c_{A^*}) визначаємо швидкості утворення молекул АВ

$$\frac{\Delta c_{AB}}{\Delta t} = k_1 \frac{a\mu_c c_A E}{k_2 + k_1 c_B} c_B \quad (2.24)$$

Вище розглянуто найпростіший випадок фотохімічної реакції, де вихідна речовина А витрачається лише внаслідок перетворень збуджених частинок A^* . Проте відомі складніші реакції, під час яких вихідна речовина витрачається внаслідок взаємодії з продуктами первинного хімічного перетворення.

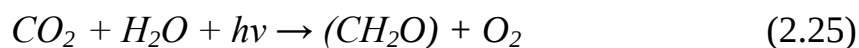
Класичним прикладом є використання фотохімічних перетворень у фотографуванні.

Зазначимо, що зір і сприймання кольору також пояснюється особливими фотохімічними реакціями, які відбуваються у світлочутливій оболонці ока – сітківці. Сітківка складається зі світлочутливих елементів, які містять пігменти, що реагують на світло, передають збудження зоровим нервам і забезпечують відповідні процеси денного та нічного зору.

2.3 Фотобіологічна дія УФ-випромінювання

Фотобіологічною дією називається дія актинічного випромінювання на людей, тварин, мікроорганізми та рослини [2]. Загальними для всіх процесів фотобіологічної дії випромінювання є фотоперетворення, які відбуваються в речовині живої клітини внаслідок поглинання нею випромінювання. Величезна кількість фотобіологічних процесів поділяється на власно фізіологічні та деструктивно-модифікаційні (руйнівально-видозмінюючі) [5, 7].

Найпоширенішою в природі та найважливішою для всього живого на землі фотобіологічною реакцією є фотосинтез [9, 10]. Під час фотосинтезу енергія актинічного випромінювання трансформується в хімічну енергію утворювальних молекул рослин і мікроорганізмів шляхом перетворення вуглекислого газу на вуглеводи, і в більшості випадків при цьому джерелом водню є вода:



Виділення кисню внаслідок фотолізу води є основним, якщо не єдиним чинником формоутворення земної атмосфери та підтримування в ній кисневого балансу.

Фотосинтез починається з поглинання кванта актинічного випромінювання спеціалізованими мікроутвореннями – хромофорами, які можна поділити на три основні групи: хлорофіли, каротиноїди та фікобіліни. Комбінації пігментів у різних рослинах і найпростіших мікроорганізмів вельми різноманітні. Проте, в усіх випадках обов'язковим є наявність хлорофілу (або бактеріофілу) – основного (зеленого) пігменту фотосинтезуючого організму, через який реалізується первинна фотохімічна дія випромінювання.

Актинічне випромінювання, яке поглинається фоторецепторами рослин і використовується в їх життєдіяльності називають фізіологічною радіацією, яка зазвичай обмежується діапазоном 300-800 нм. Діапазон випромінювання, яке

бере участь в енергетичному обміні (фотосинтезі), обмежено областю 400-700 нм (за іншими даними 380-710) називається фотосинтетичною активною радіацією (ФАР) [11].

Нижче перелічено основні процеси, які відбуваються в рослинах (з рослинами) під дією актинічного випромінювання [12].

Фотоморфогенез – змінення розміру і форм рослин під дією випромінювань різної інтенсивної та якості, яке починається з поглинання випромінювання фітохромом, який існує у двох формах: один з них поглинає червоне світло $\lambda=660$ нм, другий – далеке червоне світло з $\lambda=730$ нм. Під дією збудженого фітохрома стимулюється проростання насіння, розтягнення стеблин, утворення листя, формування кореневої системи.

Фототронізм – нерівномірне зростання внаслідок орієнтації рослини на джерело випромінювання, за участі таких пігментів як флавіни та каротиніди.

Розрізняються такі види фототронізму:

- фототаксис – фіксований рух як убік джерела, так і від нього (що спричиняє до вигинання стеблин);
- фотонастій – неспрямовані короточасні рухи.

Фотоперіодизм – реакція рослини на світло-темрявий ритм (тобто на періодичні чергування світла і темряви), яка з точки зору ідентифікації визначальних пігментів вивчена недостатньо. За сучасними уявленнями основою фотоперіодизму є фітохромна система.

Біосинтез хлорофілу, точніше, одна з останніх його стадій фотоперетворення [2], яке є незалежним від опромінення і грає найважливішу роль у житті рослини не лише на стадії озеленіння листя.

За наближеними оцінками окремі діапазони оптичного випромінювання спричиняють такі фізіологічні процеси щодо рослин:

- більше 1000 нм – сприятлива теплова дія;
- 700-1000 нм – ефект витягування стебла;
- 610-710 нм – фотосинтез (максимальний ефект), біосинтез хлорофілу, фотоперіодизм;

- 510-610 нм – фотосинтез;
- 400-510 нм – поглинання каротиноїдами, другий пік адсорбції хлорофілу, та фотосинтезу, зростальний та формативний ефекти;
- 315-400 нм – фотосинтез, регуляторний ефект;
- 280-315 нм – шкідлива дія для більшості рослин;
- менше 280 нм – згубна дія на рослини.

Як видно з цього переліку корисною для фізіологічних процесів є лише область УФ-А (315-400 нм), в той час як фотосинтетично активна радіація охоплює більш широку область спектру.

Дослідження останніх років показали, що, крім видимої частини спектра оптичного випромінювання, інтенсивність багатьох фізіологічних процесів, внутрішня структура рослинної клітини і, нарешті, формування всієї рослини значною мірою визначається довгохвильовим ультрафіолетовим (315-400 нм) випромінюванням. Довгохвильове (315-400 нм) в помірних дозах стимулює процеси обміну речовин і сприяє зростання рослин. Тому при додатковому опромінюванні рослинам необхідно давати невеликі дози довгохвильового УФ-випромінювання (315-400 нм).

Другим за значимістю (після фотосинтезу) біологічним фотопроцесом з впевненістю можна вважати фоторецепцію і, зокрема, один з її видів – зір. Зір відіграє величезну роль в життєдіяльності тварин: інформація на відстані, правильна орієнтація в просторі тощо. Ще більше значення зір має в життєдіяльності людини: близько 90 % всієї інформації людина набуває саме через зорові рецептори.

Не зупиняючись на функціюванні власне зорових рецепторів і підкресливши вже зазначені вище обставини про те, що на функціюванні цих приймачів випромінювання ґрунтується освітлювальна техніка, зазначимо, що необхідно ретельно враховувати шкідливий характер УФ-випромінювання на сітківку та інші компоненти органу зору [13, 14].

Справа ускладнюється тим, що УФ-випромінювання не сприймається сітчаткою ока в тому сенсі, як це відбувається з видимим випромінюванням

(світлом) через поглинання УФ-випромінення рештою частин ока – роговою оболонкою, водянистим середовищем ока, кристаликом та скловидним тілом. Тому око не може здійснити свої природні запобіжні реагування (зменшення діаметру зіниці тощо) стосовно УФ-випромінення так, як це відбувається, наприклад, у разі яскравого світла, і УФ-випромінення (навіть, м'яке – УФ-А) може призвести до серйозних пошкоджень зорового апарату, оскільки рецептори зору не відчують його наявності.

В зв'язку з тим, що УФ-випромінювання може негативно впливати на здоров'я людей розглянемо дві реакції, які спричиняють УФ-випромінення на зір – фотокератит та фотокон'юнктивіт, а також вимоги фотобіологічної безпеки до джерел випромінювання та опромінювальних установок.

Фотокератит – запалення рогової оболонки в результаті УФ-опромінення. Час опромінення до початку больових відчуттів складає від 30 хв до 24 год. Гранична доза для $\lambda=288$ нм дорівнює 100 Дж/м^2 [2].

Фотокон'юнктивіт – це запалення кон'юнктури, яке спричиняється УФ-опроміненням. Пороговою дозою вважається величина 50 Дж/м^2 при $\lambda=260$ нм. Відносна спектральна чутливість фотокератиту та фотокон'юнктивіту на рис. 2.1.

Фотобіологічному впливу світла на здоров'я людей присвячена велика кількість сучасних досліджень [15-29].

Стандартизовані методи оцінки і класифікації ризиків ультрафіолетового синього і інфрачервоного випромінювання були розроблені МКО і спільно з МЕК наведені в стандарті МКО S009, а потім прийняті МЕК у стандарті ІЕС 62471 Безпечність ламп і лампових систем фотобіологічна.

В Україні на основі стандарту МЕК набрав чинності ДСТУ ІЕС 62471:2009 [30].

У розвиток стандарту ІЕС 62471 МЕК розроблені стандарти ІЕС/TR 62471-2:2009 Безпека ламп і лампових систем фотобіологічна. Частина 2. Настанови щодо вимог до конструкцій щодо безпечності не лазерних оптичних випромінень та ІЕС TR 62778:2014 Застосування положень ІЕС 62471

до джерел світла та світильників щодо оцінювань небезпечності синього світла. На основі цих стандартів в Україні розроблені ідентичні стандарти [31, 32].

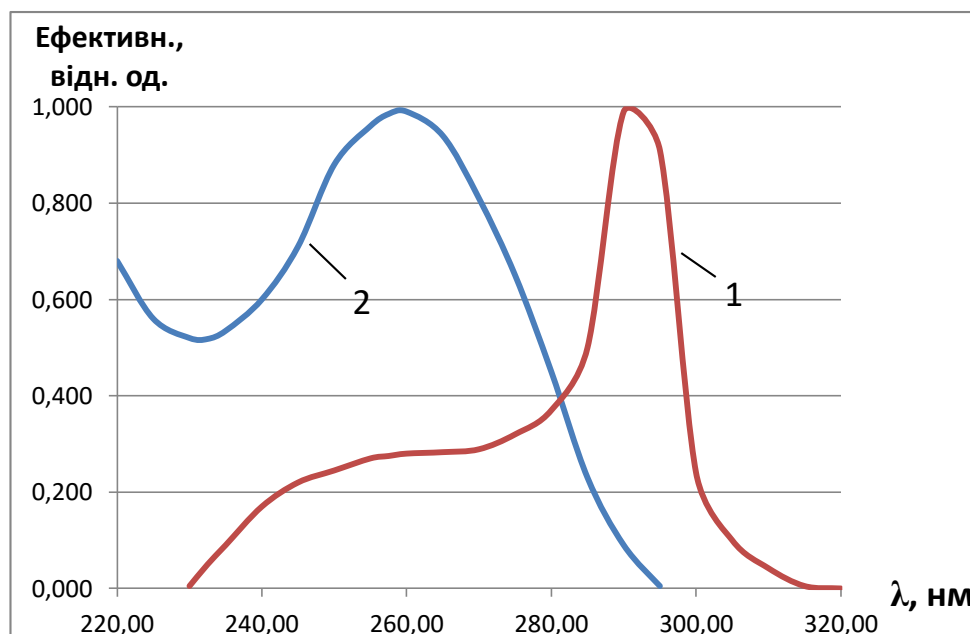


Рис. 2.1 Відносна спектральна чутливість для фотокератиту (1) та фотокон'юнктивіту (2).

У [30] встановлені граничні значення експозицій (ГЗЕ) опромінення, які при користуванні лампами та ламповими системати (світильниками) не повинні бути перевищеними. ГЗЕ взято з різних рекомендацій ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Міжнародна комісія з захисту від неіонізуючих випромінень), які в свою чергу ґрунтуються на інформації про експериментальні дослідження (звід публікацій в додатку А ДСТУ ІЕС 62471:2009).

ГЗЕ представляють собою умови, за яких вважається, що майже кожна людина може неодноразово піддаватися опроміненню без незворотних наслідків для здоров'я.

Для запобігання ураження очей та шкіри УФ-випроміненням ефективна сумарна опроміненість $E_{\text{ш}}$ від джерела не має бути більшою рівня, що визначають формулою:

$$E_{\text{ш}} \cdot t = \sum_{200}^{400} \cdot \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{\text{уф}}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}, \quad (2.26)$$

де:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ – спектральна опроміненість у $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{нм}^{-1}$; $S_{\text{уф}}(\lambda)$ – функція спектральної ефективності небезпечності актинічного УФ-випромінення; $\Delta \lambda$ – інтервал довжин хвиль у нанометрах; Δt – тривалість експозиції в секундах.

Функцію спектральної ефективності $S_{\text{уф}}(\lambda)$ графічно показано на рисунку 2.2. Оскільки функція охоплює багато порядків, величини значення $S_{\text{уф}}(\lambda)$ надають логарифмічно. Крім того, спектральні значення $S_{\text{уф}}(\lambda)$ зазначені в таблиці 2.1.

Допустимий час експозиції УФ-випромінення, що потрапляє на незахищену шкіру та в око, треба обчислювати за формулою

$$t_{\text{макс}} = \frac{30}{E_{\text{ш}}} \quad (2.27)$$

де: $t_{\text{макс}}$ – допустимий час експозиції в секундах; $E_{\text{ш}}$ – ефективна УФ-опроміненість у $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Загальна експозиція опроміненості в області спектра від 315 нм до 400 нм (УФ-А) для ока не має бути більшою ніж $10^4 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ для тривалостей експозицій, менших 1000 с. Для тривалостей експозицій, більших 1000 с (приблизно 16 хв), опроміненість незахищеного ока в області (УФ-А) не має бути більшою ніж $10 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$.

Ці умови може бути виражено таким чином:

$$E_{\text{уфА}} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^4 \quad \text{Дж} \cdot \text{м}^{-2} \quad (t < 1000 \text{ с}) \quad (2.28a)$$

$$E_{уфA} \leq 10 \quad \text{В} \cdot \text{м}^{-2} \quad (t > 1000 \text{ с}) \quad (2.28b)$$

де: $E_{\lambda}(\lambda, t)$ – спектральна опроміненість в $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{нм}^{-1}$; $\Delta\lambda$ – інтервал довжин хвиль у нанометрах; t – тривалість експозиції в секундах.

Таблиця 2.1

Функція спектральної ефективності для оцінювання УФ небезпек
для шкіри та ока

Довжина хвилі ¹⁾ λ , нм	Функція UV небезпеки $S_{уф}(\lambda)$	Довжина хвилі λ , нм	Функція UV небезпеки $S_{уф}(\lambda)$
200	0,030	313 ^{*)}	0,006
205	0,051	315	0,003
210	0,075	316	0,0024
215	0,095	317	0,0020
220	0,120	318	0,0016
225	0,150	319	0,0012
230	0,190	320	0,0010
235	0,240	322	0,00067
240	0,300	323	0,00054
245	0,360	325	0,00050
250	0,430	328	0,00044
254 ^{*)}	0,500	330	0,00041
255	0,520	333 ^{*)}	0,00037
260	0,650	335	0,00034
265	0,810	340	0,00028
270	1,000	345	0,00024
275	0,960	350	0,00020
280 ^{*)}	0,880	355	0,00016
285	0,770	360	0,00013
290	0,640	365 ^{*)}	0,00011
295	0,540	370	0,000093
297 ^{*)}	0,460	375	0,000077
300	0,300	380	0,000064
303 ^{*)}	0,120	385	0,000053
305	0,060	390	0,000044
308	0,026	395	0,000036

310	0,015	400	0,000030
¹⁾ Представлено вибрані довжини хвиль: інші значення мають бути одержані логарифмічною інтерполяцією на проміжкових значеннях довгих хвиль. ^{*)} Лінії випромінювання в спектрі ртутного розряду.			



Рисунок 2.2 Функція спектральної ефективності $S_{УФ}(\lambda)$ небезпечності актинічного УФ-випромінювання для шкіри та ока

Допустимий час експозиції УФ-випромінювання, що потрапляє в незахищене око, для тривалостей, менших 10^3 с, треба обчислювати за формулою:

$$t_{\text{макс}} \leq \frac{10^4}{E_{УФА}} \text{ с} \quad (2.29)$$

Ще одним фоторецептором є шкіра, поверхневий шар якої в різних ступенях пропускає випромінювання. Однією з ознак дії УФ-випромінювання на шкіру є актинічна еритема – почервоніння шкіри (з опіком або без нього), спричинена актинічним ефектом сонячного або штучного оптичного

випромінення [1]. Відповідно випромінення здатне спричинити еритему – еритемне випромінення [2].

Кількісною характеристикою дії випромінювання є актинічна доза – величина, яка визначається шляхом спектральної оцінки дози у відповідності до значень ефективної інтенсивності монохроматичних випромінювань спектра актинічної дії [3].

Актинічна доза, яка дає злегка помітну еритему на нормальній «білій» (до цього не підданій опроміненню шкірі), називається мінімальною еритемною дозою (МЕД). За міжнародними нормами ця величина відповідає променевій експозиції близько $100 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ за максимальної еритемної ефективності монохроматичного випромінювання з $\lambda=295 \text{ нм}$.

Слідом за утворенням еритеми розвивається пігментація шкіри, відбувається її потемніння (засмага). Потемніння шкіри в процесі та внаслідок актинічної дії є важливішим природним механізмом її захисту від її подальшого пошкодження УФ променями.

Випромінювання в діапазоні від 320 до 400 нм спричиняє незначну еритему у людей з нормальною шкірою, а випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 290 до 320 нм і менших спричиняє опік і подальше пігментоутворення [2].

Передозування, а також систематичне УФ-опромінення шкіри може призвести до небажаних наслідків [1].

Живі організми на Землі та людина, що розвивалися в умовах сонячного опромінення, виробили цілий комплекс фотобіологічних реакцій, які добродійно впливають на їхню життєдіяльність [7].

Оптичне, і зокрема УФ-випромінення, підвищують тонус симпатико-адреналінової системи², активізують захисні механізми, підвищують активність мітохондріальних і мікросомальних³ ферментів і рівень неспецифічного

² Система постачання адреналіну до нервових клітин.

³ Мітохондрія – нервові закінчення в клітинах; мікросоми – найменші частинки клітин.

(загального) імунітету, суттєво збільшує секрецію (виділення) низки гормонів, сприяє утворенню вітаміну D. Під дією УФ-випромінювання утворюються гістамін та подібні йому речовини, які мають судиннорозширюючу дію, підвищують проникненість шкіряних судин.

Систолічні та діастолічні кров'яні тиски зменшуються навіть в разі доз, що не спричиняють еритему. Кров'яний тиск поступово падає і може триматися зниженим протягом кількох діб. Крім того відмічаються зміни складу крові внаслідок опромінення – зокрема, гемоглобіну, лейкоцитів, нейтрофілів, а також цукру, холестерину, тирозину, кальцію тощо.

Під впливом УФ-випромінювання змінюються вуглеводневий та білковий обміни речовин в організмі. Дія випромінювання змінює легеневу вентиляцію – частоту та ритм дихання. Підвищується газообмін, споживання кисню. Активізується діяльність ендокринної системи, підвищується вміст адреналіну, що вказує на участь гормональної ланки у відповідь організму на дію випромінювання.

Опромінення суберитемними дозами 0,5-0,7 МЕД застосовують для профілактики гіповітамінозних станів у осіб, що тривалий час перебували в умовах «сонячного голодування». Внаслідок багаторазових експозицій у дозах, які зростають від суберитемних до таких, що перевищують МЕД відбувається розвиток пристосувальних механізмів організму до навколишніх умов – ефект загартування. Профілактичне УФ-опромінення, що передуює імунізації, знижує ризик алергічних наслідків вакцинації та сприяє підвищенню ефективності імунізації.

В країнах, великі групи населення яких живуть в арктичних умовах, загально признано, що тривала недостатність УФ-опромінення може мати несприятливі наслідки для людського організму. Численні дослідження вказують на те, що відсутність сонячного опромінення може призвести до розвитку патологічного стану, відомого як «недостатність УФ-випромінювання» або «світлове голодування». Те ж саме стосується робітничого персоналу, який в світлий період доби систематично перебуває у виробничих приміщеннях, які

забезпечені лише штучним освітленням і позбавлених природного (сонячного) освітлення, а також – шахтарів, працівників метрополітенів тощо.

Найчастішим проявом цього захворювання є порушення мінерального обміну речовин і розвиток недостатності вітаміну D (а також рахіту у дітей), що супроводжується різким зниженням опірності організму і робить його сприйнятливим до захворювань.

Незважаючи на широкі дослідження дії УФ-випромінювання, як потужного гігієнічного та терапевтичного чинника, систематичних досліджень сприятливого впливу монохроматичних випромінювань різної довжини хвилі до сих пір здійснено не було. В теперішній час існують лише спроби пов'язати різноманітність сприятливих дій УФ-випромінювання з однією, достатньо добре дослідженою функцією та приписати їй спричинення інтегральних сприятливих наслідків [33]. Іноді за функцію вибору доз УФ-випромінювання береться об'єктивно та достатньо визначена функція спектральної чутливості утворення вітаміну D, графік якої разом з графіком (МКО) функції спектральної чутливості утворення еритеми, показано на рис.2.3.

З урахуванням того, що спектральна крива фотоутворення вітаміну D розташовується у тій самій зоні спектру, що й довгохвильова гілка кривої еритемної дії, зазвичай спектральна ефективність тонізуючої та терапевтичної дії випромінювання оцінюється за значеннями еритемної ефективності УФ-випромінювання з довжиною хвилі $\lambda \geq 280$ нм (іноді ≥ 300 нм). Для випромінювань з $\lambda < 280$ нм ефективність добродійної загальнобіологічної дії приймається такою, що дорівнює нулю. З урахуванням того, що довгохвильове УФ-випромінювання аж до 400 нм безумовно грає суттєву роль у розвитку та нормальному існуванні живого організму, криву еритемної дії продовжено до 400 нм [2].

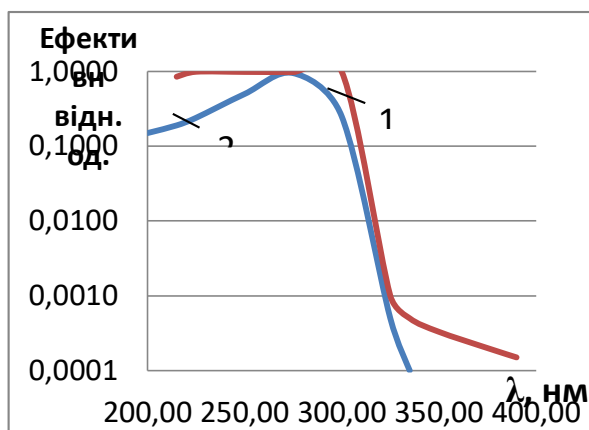


Рис. 2.3. Спектральна чутливість фотобіологічних реакцій

Разом з профілактичною (гігієнічною) дією УФ-випромінювання може використовуватися як потужний терапевтичний засіб [1, 34]. Численні дослідження підтверджують захисні можливості суберитемного випромінювання в разі дії канцерогенних речовин, можливість лікування (та профілактики) хронічних захворювань носоглотки, бронхолегеневих захворювань, затяжної та хронічної пневмонії, різноманітних захворювань шкіри (екзема, псоріаз, себорея тощо), ішемічної хвороби серця, глаукоми, ревматичних хвороб дитячого віку тощо.

На жаль, незважаючи на великий фактичний матеріал ні загальних, ні конкретних рекомендацій щодо спектрів дії та доз терапевтичного опромінення до сих пір не надано.

У дії короткохвильового випромінювання на живий організм найбільший інтерес представляє вплив ультрафіолетових променів на біополімери – білки і нуклеїнові кислоти. Молекули біополімерів містять кільцеві групи молекул, що містять вуглець і азот, які інтенсивно поглинають випромінювання з довжиною хвилі 260 ... 280 нм. Поглинена енергія може мігрувати по ланцюгу атомів у

межах молекули без істотної втрати, поки не досягне слабких зв'язків між атомами і не зруйнує зв'язок. Протягом такого процесу, що називається фотолізом, утворюються осколки молекул, які надають сильну дію на організм. Так, наприклад, з амінокислоти гістидину утворюється гістамін – речовина, що розширює кровоносні капіляри і збільшує їх проникність. Крім фотолізу під дією ультрафіолетових променів у біополімерах відбувається денатурація. При опроміненні світлом певної довжини хвилі електричний заряд молекул зменшується, вони злипаються і втрачають свою активність – ферментну, гормональну, антигенну та ін. Процеси фотолізу і денатурації білків йдуть паралельно і незалежно один від одного. Вони викликаються різними діапазонами випромінювання: промені 280...302 нм викликають головним чином фотоліз, а 250... 265 нм – переважно денатурацію. Поєднання цих процесів визначає картину дії на клітину ультрафіолетових променів.

Сама чутлива до дії ультрафіолетових променів функція клітини – поділ. Опромінення в дозі 10(-19) Дж/м² викликає зупинку поділу близько 90 % бактеріальних клітин. Але ріст і життєдіяльність клітин при цьому не припиняється. З часом відновлюється їх поділ. Щоб викликати загибель 90 % клітин, пригнічення синтезу нуклеїнових кислот і білків, утворення мутацій, необхідно довести дозу опромінення до 10(-18) Дж/м². Ультрафіолетові промені викликають в нуклеїнових кислотах зміни, які впливають на ріст, ділення, спадковість клітин, тобто на основні прояви життєдіяльності.

Значення механізму дії на нуклеїнову кислоту пояснюється тим, що кожна молекула ДНК (дезоксирибознуклеїнової кислоти) унікальна. ДНК – це спадкова пам'ять клітини. В її структурі зашифрована інформація про будову і властивості всіх клітинних білків. Якщо будь-який білок присутній у живій клітині у вигляді десятків і сотень однакових молекул, то ДНК зберігає інформацію про пристрій клітини в цілому, про характер і напрямок процесів обміну речовин у ній. Тому порушення в структурі ДНК можуть виявитися непоправними або привести до серйозного порушення життєдіяльності.

Короткохвильове УФ-випромінювання спричиняє деструктивну летальну дію на рослини та живі мікроорганізми, зокрема, на бактерії, віруси, мікроби тощо [1, 2, 6, 34].

За міжнародною термінологією, згідно з [3] випромінювання, здатне знищувати будь-які хроботворні мікроорганізми, називається герміцидним випромінюванням, а здатне знешкоджувати лише бактерії – бактерицидним випромінюванням. В деяких країнах, у тому числі в Україні перший термін не застосовується, а у всіх випадках щодо знешкодження хроботворних мікроорганізмів застосовується прикметник «бактерицидний». Ефект знешкодження хроботворних мікроорганізмів називається інактивуючою дією.

Летальний ефект у високоорганізованих багатоклітинних істотах при реальних значеннях дози, практично не спостерігається. У вірусів летальна дія проявляється у втраті здатності до внутрішньоклітинного розмноження, а в інших мікроорганізмів – в загибелі клітин до першого ділення або частіш за все в першому або в наступних генераціях (поколіннях) [34].

Ще в 1929 р. було показано, що спектр дії летальності мікроорганізмів (рис.2.4) співпадає не із спектром поглинання клітини в цілому, а з спектром поглинання нуклеїнових кислот. В подальшому цей факт було підтверджено численними експериментами.

Зазвичай спектри дії летального ефекта мають виражений максимум на 260-265 нм [1]. Проте для окремих організмів зазначаються «білкові» спектри з максимумом на 280 нм, так і змішані спектри летального ефекту з максимумами на 260 та 280 нм [2].

Слабка інактивуюча дія на клітини притаманна і близькому (м'якому) УФ-випромінненню ($\lambda > 320$ нм). Для досягнення летального ефекту в разі дії таким випромінюванням необхідні дози, в сотні тисяч разів більші, ніж в разі використання середнього ультрафіолету [2].

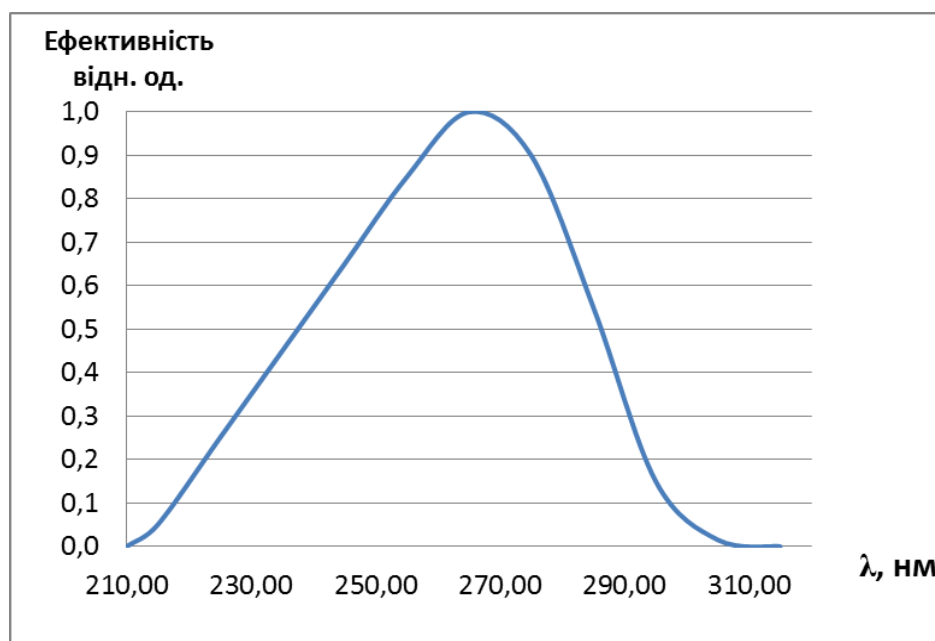


Рис. 2.4. Крива ефективності бактерицидної дії УФ-випромінювання.

Механізм дії близького ультрафіолету вивчено недостатньо. Є лише дані про те, що вона пов'язана з непрямым пошкодженням молекул ДНК [6, 34].

Далеке (жорстке) УФ-випромінювання ($\lambda < 200$ нм), навпаки, є дуже ефективним, що може бути зумовлено його іонізуючою дією [1].

Одиницею бактерицидного потоку Φ_b (тобто променевого потоку, оціненого за допомогою вищезазначеної функції) є бакт, що чисельно дорівнює променевому потоку з $\lambda=254$ нм потужністю 1 Вт.

Відомості щодо інших параметрів, які використовують для оцінювання бактерицидного випромінювання надано в табл.2.2.

Встановлено, що хід кривої відносної спектральної бактерицидної ефективності для різних видів мікроорганізмів практично однаковий. Більш чутливі до впливу ультрафіолетового випромінювання – віруси і бактерії (палички, коки) у вегетативній формі.

Менш чутливі – гриби та найпростіші мікроорганізми. Найбільшою стійкістю володіють спори бактерій.

При опроміненні мікроорганізмів спостерігається експоненціальна залежність між числом тих, що вижили мікроорганізмів N_B від початкового рівня N_0 і значенням дози N_s або N_v .

Таблиця 2.2.

Параметри бактерицидного випромінювання

Величина (параметр)	Формула визначення	Одиниця
Бактерицидна енергетична світність (випроміненість)	$M_{\delta} = \frac{d\Phi_{\delta}}{dS}$	$\text{бк}\cdot\text{м}^{-2}$
Бактерицидна сила випромінювання	$I_{\delta} = \frac{d\Phi_{\delta}}{d\Omega}$	$\text{бк}\cdot\text{ср}^{-1}$
Бактерицидна яскравість	$L_{\delta} = \frac{dI_{\delta}}{dS \cdot \cos \alpha}$	$\text{бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{ср}^{-1}$
Бактерицидна опроміненість	$E_{\delta} = \frac{d\Phi_{\delta}}{dS}$	$\text{бк}\cdot\text{м}^{-2}$
Бактерицидна енергія	$Q_{\delta} = \int_0^t \Phi_{\delta} dt$	$\text{бк}\cdot\text{с}$
Бактерицидна ефективність випромінювання	$H_{\delta} = \int_0^t E_{\delta} dt$	$\text{бк}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$
Бактерицидна ефективність випромінювання	$\eta_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\Phi_e}$	$\text{бк}\cdot\text{Вт}^{-1}$

Такий процес при опроміненні поверхні апроксимується виразом:

$$N_B = N_0 \exp(-\sigma_s H_s) \quad (2.30)$$

а при опроміненні об'ємів:

$$N_B = N_0 \exp(-\sigma_v H_v) \quad (2.31)$$

де: σ_s , σ_v – константи, що характеризують значення фоточутливості даного виду мікроорганізму відповідно при поверхневому або об'ємному ультрафіолетовому опроміненні.

Якщо позначити бактерицидну ефективність $J_{\bar{\sigma}}$, як відношення числа загинувших мікроорганізмів N_z до їх початкового значення N_0 , виражене у відсотках, і врахувати, що $N_z = N_0 - N_B$, то використовуючи формули (2.30) і (2.31), отримаємо вираз для бактерицидної ефективності при опроміненні поверхні:

$$J_{\bar{\sigma}} = (N_z / N_0) \cdot 100 = (1 - \exp(-\sigma_s H_s)) \cdot 100\% \quad (2.32)$$

і при об'ємному опроміненні:

$$J_{\bar{\sigma}} = (N_z / N_0) \cdot 100 = (1 - \exp(-\sigma_v H_v)) \cdot 100\% \quad (2.33)$$

З цих виразів випливає, що в граничних випадках, при відсутності загинувших мікроорганізмів після опромінення, бактерицидна ефективність дорівнює нулю, а при повному їх знищенні бактерицидна ефективність дорівнює 100 %. Очевидно, що σ як константа фоточутливості даного виду мікроорганізму (біоприймача УФВ), є основною характеристикою процесу впливу випромінювання.

У табл. 2.3 наведені значення констант для деяких мікроорганізмів при їх опроміненні на поверхні або в повітрі ультрафіолетовим випромінюванням з довжиною хвилі 253,7 нм.

Таблиця 2.3

Константи фоточутливості для деяких мікроорганізмів при опроміненні поверхні (σ_v , м³/Дж) та повітряних об'ємів (σ_s , м³/Дж)

Бактерії	σ_s	σ_v	Грибкові дріжджі	σ_s	σ_v
Bacillus anthracis	0,051	0,0195	Хлібопекарські дріжджі	0,060	

Bacillus megatherium (veg)	0,084	0,034	Пивні дріжджі	0,070	-
Bacillus megatherium (spores)	0,178	0,0743	Дріжджіподібні гриби	0,038	-
Bacillus paratyphosus	0,072	0,0274	Saccharomyces cerevisiae	0,038	-
Bacillus subtilis (veg)	0,032	0,0123	Saccharomyces ellipsoideus	0,038	-
Bacillus subtilis (spores)	0,019	0,0073	Saccharomyces sp.	0,029	-
Campylobacter jejuni	0,209	0,0768	Спори плісняви		
Clostridium tetani	0,019	0,0073			
Corynebacterium diphtheriae	0,069	0,026			
Бацили дизентерії	0,105	0,040	Aspergillus flavus	0,003	-
Eberthella typhosa	0,108	0,041	Aspergillus glaucus	0,004	-
Escherichia coli	0,077	0,029	Aspergillus niger	0,0014	-
Klebsiella terrifani	0,089	0,034	Mucor racemosus	0,013	-
Micrococcus Candidus	0,038	0,015	Oospora lactis	0,046	-
Phytomonas tumefaciens	0,023	0,0088	Рйnicillium expansum	0,018	-
Mycobacterium tuberculosis	0,038	0,015	Рйnicillium roqueforti	0,018	-
Nesseria catarrhalis	0,053	0,020	Rhizopus nigricans	0,002	-
Micrococcus sphaeroidcs	0,053	0,020	Віруси		
Pseudomonas aeruginosa	0,042	0,014			
Pseudomonas lluorcscens	0,065	0,025			
Proteus vulgaris	0,086	0,035	Гепатит А	0,032	0,011
Salmonella enteritidis	0,058	0,022	Вірус грипу	0,064	0,024
Salmonella paratyphi	0,072	0,068	MS-2 Coliphage	0,012	0,0043
Salmonella lyphimurium	0,029	0,011	Поліовірус	0,040	0,015
Sarcina lutea	0,012	0,0045	Ротавірус	0,028	0,0107
Scratia marcescens	0,095	0,037	Найпростіші		
Shigella paradysentcriae	0,141	0,051			
Shigella sonnei	0,077	0,029			
Staphylococcus aureus	0,047	0,0179	Cryptosporidium parvum	0,092	0,033
Staphylococcus faecalis	0,053	0,020	Giardia lamblia	0,209	0,0768
Staphylococcus hemolylicus	0,106	0,042	Водорості		
Streptococcus lactus	0,037	0,014			
Streptcoccus viridans	0,043	0,115			
Холерний вібріон (V.comma)	0,066	0,025	Холера звичайна	0,019	-

Дані, наведені в табл. 2.3, є довідковими, так як отримані різними авторами і не завжди збігаються. Крім того, необхідно враховувати, що ніякої функційної залежності між σ_s і σ_v не виявлено через різні умови процесу знезараження.

Перетворюючи формули (2.32) і (2.33) і використовуючи взяті з табл. 2.3 значення констант, можна визначити необхідне значення дози для мікроорганізму при заданій бактерицидній ефективності 90, 95, 99 або 99,9 % при поверхневому або об'ємному опроміненні:

$$H_s = -\ln(1 - J_{\text{ок}} 10^{-2}) / \sigma_s, \text{ Дж} / \text{м}^2 \quad (2.34)$$

$$H_v = -\ln(1 - J_{\text{ок}} 10^{-2}) / \sigma_v, \text{ Дж} / \text{м}^3 \quad (2.35)$$

Сухе і не запилене повітря є прозорим, незважаючи на наявність у ньому мікроорганізмів, і практично не поглинає бактерицидне УФВ у діапазоні довжин хвиль 205-315 нм. Навіть тонкий шар повітря не пропускає випромінення з довжиною хвилі менше 200 нм. Це пов'язано з тим, що таке випромінення взаємодіє з двохатомними молекулами кисню O_2 , в результаті чого утворюється озон – трьохатомні молекули кисню O_3 . Озон є ефективним бактерицидним знезаражувачем води і повітря.

Концентрація озону в повітряному середовищі приміщення $0,015 \text{ мг/м}^3$ спричиняє характерний запах, який відчувається людиною. За своїми фізико-хімічними властивостями озон є надзвичайно отруйним газом. Озон відноситься до першого класу небезпеки.

При концентрації озону в повітряному середовищі приміщення 2 мг/м^3 викликає у людини сильний кашель, нудоту, кровотечу з носа і навіть отруєння, що призводить до летального результату. Під впливом озону на деяких продуктах можуть утворюватися токсичні речовини. Використання озону при

зnezараженні води успішно використовується і до сьогоднішнього часу [35, 36], проте його кількість обмежується із-за появи токсичних речовин [37, 38].

Вологість і запиленість повітря впливають на його здатність пропускати УФВ, при цьому зменшується ефективність зnezараження. Це пояснюється тим, що на частинках пилу осідають краплі води, які надають екрануючу дію, в результаті чого знижується коефіцієнт пропускання [34].

РОЗДІЛ 3 ОСНОВНІ СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ УФ- ВИПРОМІНЮВАННЯ В ФОТОБІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

3.1 Бактерицидне знезараження питної води

Вода – це найбільш важливий компонент життя всіх живих організмів. Вона є невід’ємним показником для рослинного і тваринного світів, а також і для самої людини. Якість води визначається комплексом її хімічних, біологічних компонентів та фізичних властивостей, які зумовлюють придатність води для водокористування [1].

Основні вимоги щодо якості питної води в цілому були визначені ще у середині ХХ століття. До них відносяться наступні критерії: питна вода повинна бути безпечною в епідемічному відношенні, питна вода повинна бути нешкідливою за хімічним складом, питна вода повинна мати задовільні органолептичні властивості.

Ці критерії прийняті сьогодні у всьому світі. При оцінці ризику питної води для здоров’я населення найбільше значення мають мікробіологічні забруднення. Вважається, що небезпека захворювань від мікробіологічних забруднень води в кілька тисяч разів вища, ніж при забрудненні води хімічними сполуками різної природи. Надійне знезараження є однією з головних задач при виробництві питної води. У документах Всесвітньої організації охорони здоров’я (ВООЗ) зазначено: “Потенційні наслідки мікробного забруднення є такими, що контроль за ними повинен бути завжди”.

Враховуючи особливу важливість для здоров’я населення якості питної води Всесвітня організація охорони здоров’я (ВООЗ) розробляє базові нормативи якості води, які видаються у вигляді “Керівництва по контролю якості питної води”. Ці документи включають такі нормативи ВООЗ для питної води [2]: мікробіологічні показники; неорганічні компоненти; радіоактивність;

органічні показники; пестициди і компоненти, які застосовуються або утворюються при дезінфекції води.

Окрім міжнародних нормативів ВООЗ існує Директива з питної води Європейського союзу, де наведено перелік забруднювачів води, що є пріоритетними для контролю [3].

Досягти гарантованої якості за мікробіологічними показниками можливо тільки у випадку, коли система знезараження води відповідає цілому ряду вимог. Вимоги до системи знезараження питної води [2]: ефективність, безперервність, надійність, безпека для людини, екологічна безпека.

Оскільки питна вода є найважливішою речовиною споживання кожної людини, вона має бути об'єктом державного законодавства в кожній країні.

Зокрема в нашій державі чинним є Закон України [4], який включає правові, економічні та організаційні засади функціонування системи питного водопостачання, що спрямований на гарантоване забезпечення населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою.

Цей закон встановлює у сфері питної води та водопостачання:

- суб'єкти відносин (органи влади, підприємства водопостачання, споживачі) та об'єкти правового регулювання (суспільні відносини);
- гарантії прав споживачів;
- принципи державної політики та повноваження органів влади;
- положення стосовно господарської діяльності;
- права та обов'язки споживачів питної води;
- права та обов'язки підприємств питного водопостачання;
- заходи щодо забезпечення питною водою в разі надзвичайних ситуацій;
- положення стосовно стандартизації та нормування;
- економічні механізми;
- положення щодо санітарної охорони;
- положення щодо моніторингу, обліку та контролю;
- відповідальність за порушення законодавства;

- напрями міжнародних відносин.

До числа невідкладних заходів у реалізації цього законодавчого положення відноситься вдосконалення нормативної бази, що визначає якість питної води, відповідно до розвитку науки [5]. В основу гігієнічних вимог до якості питної води покладений принцип, що визначає безпосередньо характеристики якості води, від яких залежать здоров'я і умови життя людини. На основі цього принципу ще в середині ХХ ст. була сформульована тріада гігієнічних вимог до питної води: питна вода повинна бути безпечною в епідеміологічному і радіаційному відношенні, нешкідливою за хімічним складом і мати сприятливі органолептичні властивості. Ця тріада нині визнана у всьому світі і на її основі створюються національні нормативні документи в галузі контролю якості питної води.

У результаті вдосконалення санітарно-мікробіологічного контролю води, з метою підвищення надійності забезпечення епідемічної безпеки водокористування населення, крім показника *E.coli* в різних країнах використовуються ще й такі індикаторні показники, як ентерококи, загальне мікробне число (ЗМЧ), загальні коліформні бактерії (ЗКБ), термотолерантні коліформні бактерії (ТКБ). У нашій країні до 2010 року, як основні мікробіологічні показники питної води, нормувалися ЗМЧ (КУО Колонієутворюючі одиниці (мікроорганізми) не більше 100 в 1 см³) і колі-індекс (КУО <3 в 100 см³), показник, який забезпечував високу ступінь епідемічної безпеки водокористування, оскільки давав можливість визначення широкого спектру бактерій родини *Enterobacteriaceae*, що включає групу індикаторних кишкових паличок, велику групу умовно-патогенних і патогенних бактерій [6].

Проте дослідження, що проводять як у нашій країні, так і за кордоном, свідчили, що санітарно-показові бактерії не гарантують безпеку питного водокористування у відношенні до інфекцій [7], що викликані збудниками, стійкішими до дії традиційних режимів обробки та знезараження води

патогенними кишковими найпростішими [8, 9]: цисти лямблій, дизентарійних аміб, ооцисти криптоспоридій та інші.

Одним з основних, чинних в Україні нормативних документів, в якому систематизовані та викладені основні гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання є Державні санітарні норми та правила [10]. У цьому документі включені, крім санітарно-показових груп бактерій (ЗМЧ, загальні коліформні бактерії) також коліфаги – показники вірусного забруднення і цисти лямблій, ооцисти криптоспоридій, як представники паразитарних найпростіших і т.д.

Показники безпеки в епідемічному відношенні наведені в таблицях 3.1 та 3.2 (відповідно таблиці №1 і №2 в [2]).

Таблиця 3.1.

Мікробіологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води
1	Загальне мікробне число при t 37° С - 24 год*	КУО/см ³	≤ 100 (≤ 50)**
2	Загальні коліформи***	КУО/100 см ³	відсутність
3	E.coli****	КУО/100 см ³	відсутність
4	Ентерококи****	КУО/100 см ³	відсутність
5	Патогенні ентеробактерії	наявн. в 1 дм ³	відсутність
6	Коліфаги****	БУО/дм ³	відсутність
7	Ентеровіруси, аденовіруси, антигени ротавірусів, реовірусів, вірусу гепатиту А та інші	наявність в 10 дм ³	відсутність

* Для 95 % проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року.

** Через 10 років з часу набрання чинності Санітарними нормами.

*** Для 98 % проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року.

**** Визначають додатково у питній воді з поверхневих водних джерел у місцях її надходження з очисних споруд в розподільну мережу, а також в ґрунтових водах.

Питна вода (за визначенням [4]) – це вода, яка за органолептичними (смаковими) властивостями, хімічним і мікробіологічним складом та радіоактивними показниками відповідає державним стандартам і санітарному

законодавству. Тому в [2, 10] встановлені гігієнічні вимоги, які визначають придатність води для життєвих цілей і охоплюють:

- радіаційну безпеку і безпеку в епідемічному відношенні;
- нешкідливість хімічного складу;
- сприятливі органолептичні властивості.

Таблиця 3.2.

Паразитологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи для питної води
1	Патогенні кишкові найпростіші: ооцисти, криптоспорицій, ізоспор, цисти лямблій, дизентерійних амеб, балантидія кишкового та інші.	Клітини, цисти в 50 дм ³	відсутність
2	Кишкові гельмінти	Клітини, яйця, личинки в 50 дм ³	відсутність

Найбільш важливим компонентом води, як природної системи, з позицій впливу на здоров'я людини є біологічні живі об'єкти, що представлені бактеріями, вірусами і найпростішими боротьба з якими складає складну задачу, вирішенню якої приділяють увагу вчені різних країн.

Для бактерицидного знезараження води використовують хімічні та фізичні методи, зокрема такі як хлорування, озонування, мембранні технології, ультразвук, термічну обробку, ультрафіолетове та іонізуюче випромінювання та ін.

У цьому розділі будуть розглянуті технології бактерицидного знезараження води з використанням УФ-випромінювання, в тому числі і комбіновані, з використанням УФ-випромінювання та інших хімічних та фізичних методів.

Загальна характеристика хімічних та фізичних методів бактерицидного знезараження води (крім УФ-методу) наведена в додатках 3 А, 3 Б, 3 В.

Аналіз показує, що найбільш перспективним методом знезараження природних, а також стічних і промислових вод є технологія з використанням ультрафіолетового випромінювання, яка динамічно розвивається в останні десятиліття в порівнянні з іншими методами очищення води [14, 17, 47].

Тенденція до широкого застосування методу УФ-знезараження води замість традиційного хлорування та інших хімічних методів зумовлена введенням посилених вимог до якості води [2] і виявленням негативного впливу побічних продуктів [15], що утворюються при хімічних методах знезараження, так і досягненнями в галузі світлотехніки, які зробили метод УФ-обробки конкурентоспроможним [48].

Ультрафіолетове випромінювання (УФВ) з довжиною хвилі 250-260 нм має найбільшу антимікробну дію до бактерій, вірусів і спор. Чутливість мікроорганізмів до УФВ у цьому діапазоні добре вивчена і визначається за дозою випромінювання, що вимірюється в мДж/см^2 . Антимікробний ефект УФ-випромінювання по відношенню до різних видів мікроорганізмів знаходиться в діапазоні доз від 2,5 до 440 мДж/см^2 [49]. У практиці водопідготовки прийнято вважати, що для ефективного знезаражування води УФ-технологія повинна забезпечувати дозу опромінення не менш, ніж 16 мДж/см^2 [39].

УФ-випромінювання є ефективним засобом проти всіх мікроорганізмів, включаючи бактерії, віруси, грибки, плісень, дріжджі та водорості, що присутні у воді. Хоча всі бактерії можуть бути знешкоджені завдяки УФ-випромінювання, але деякі з них більш стійкі чим інші [50].

Під впливом УФ-випромінювання в клітинах мікроорганізмів відбуваються незворотні процеси, що викликають порушення молекулярних та міжмолекулярних зв'язків. Це призводить до денатурації (руйнування) білків клітин протоплазми, зокрема, до пошкодження ДНК, клітинних мембран, і як наслідок, до загибелі мікроорганізмів. Утворені під впливом УФ-випромінювання молекули озону, атомарний кисень, вільні радикали і гідроксильні групи додатково впливають на інактивацію мікроорганізмів у воді.

Крім того, дані отримані в останні десятиліття [48], показують, що не тільки короткохвильове, але й УФВ в області 280-400 нм здатне створювати фотодеструктивні реакції в ДНК [49].

Метод знезаражування води УФ-випромінюванням має ряд переваг перед іншими методами знезаражування:

- УФ-опромінення ефективно інактивує не тільки більшість бактерій, вірусів, але і паразитарних найпростіших, у тому числі стійких до дії хлору та інших окиснювачів. Воно знищує збудників таких інфекційних хвороб, як тиф, холера, дизентерія, вірусний гепатит, поліомієліт та ін.

- УФ-знезараження води не призводить до утворення в ній шкідливих побічних продуктів на відміну від окисних технологій навіть у разі багаторазового перевищення необхідної для знезараження дози. УФ-випромінювання не погіршує органолептичні властивості води (запах, присмак);

- УФ-випромінювання не змінює властивості оброблюваної води, а саме, немає змін з утримання спільного органічного вуглецю (ООУ), рН, корозійної активності.

- На процес УФ-знезараження не впливають рН та температура води, на відміну від окисних технологій знезараження.

- Час знезараження при УФ-опроміненні становить 1-10 с в проточному режимі, тому відсутня необхідність у створенні контактних резервуарів.

- Метод УФ-знезараження більш безпечний і екологічний порівняно з хімічними технологіями (відсутня необхідність створення та експлуатації складів токсичних хлорвмісних реагентів, які потребують дотримання спеціальних заходів технічної та екологічної безпеки.

- При застосуванні УФ-технології не виникає проблем, пов'язаних з корозією технологічного обладнання.

- УФ-обладнання компактне, вимагає мінімальних площ і зазвичай легко вбудовується у вже існуючі водоочисні споруди; його впровадження в діючі

технологічні процеси очищення можливе без їх зупинки, з мінімальними обсягами будівельно-монтажних робіт.

- Сучасні УФ-комплекси на основі дугових ламп низького тиску працюють на промисловому енергоживленні з напругою 110, 220, 380 В, тоді як комплекси на основі озону використовують напругу до 8-30 кВ, що призводить до забезпечення більш високих вимог з електробезпеки і кваліфікації обслуговуючого персоналу.

- Сучасні бактерицидні лампові системи та пускорегулююча апаратура мають високий експлуатаційний ресурс, забезпечують високий ступінь технологічної надійності УФ-комплексів дезінфекції, а автоматизація великих систем, що вимагає регулювання виключно електричних параметрів, істотно простіше і надійніше, ніж при хлоруванні й озонуванні.

- Для знезараження УФ-випромінюванням характерні нижчі, ніж при хлоруванні і тим більше озонуванні, експлуатаційні витрати. Це пов'язано з порівняно невеликими витратами електроенергії (10-30 Вт на 1 м³ оброблюваної води).

Негативними сторонами знезаражування води УФВ є:

- залежність бактерицидного ефекту від мутності і кольоровості оброблюваної води, виду мікроорганізмів, їхньої кількості, дози опромінення;

- до числа негативних особливостей УФ-способу відноситься і можливість осадження гумінових кислот, заліза і солей марганцю, що знаходяться у воді, на кварцовому чохлі ламп, що зменшує інтенсивність випромінювання;

- дана технологія не має ефекту післядії, що може бути причиною вторинного росту бактерій в оброблюваній воді. Реактивація [51] мікрофлори виникає в тих випадках, коли інтенсивність УФВ нижче необхідного рівня, оброблена вода піддається вторинному забрудненню або наступному опроміненню видимим світлом – фотореактивація [52].

Проте відзначені недоліки не зменшують ефективність використання УФ-технологій бактерицидного знезараження води, а тільки є приводом подальших

досліджень і пошуку альтернативного використання УФ-методів у поєднанні з озонуванням, ультразвуковим диспергуванням, хлоруванням та іншими фізичними і хімічними методами.

3.2 Знезараження питної води комбінованими методами – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими технологіями

Спільне використання різних методів знезараження доцільно у випадках, якщо один з методів не володіє необхідною властивістю (наприклад, УФ-опромінювання не забезпечує післядії, а хлор недостатньо ефективний відносно вірусів і найпростіших) або якщо спільне використання дозволяє інтенсифікувати процес впливу на об'єкт знезараження.

Інколи спільна взаємодія хімічних і фізичних технологій для знезараження води передбачає сумарну дію комплексу дезінфектантів, які значно перевищують ефект окремих методів, для цього введено поняття синергетичного ефекту [48].

3.2.1 УФ-опромінювання в поєднанні з хлоруванням

УФ-опромінювання в поєднанні з хлоруванням широко застосовується при очищенні та знезараженні природних і промислових вод [7, 70, 71]. Поєднання УФ-обробки з хлоруванням у різних комбінаціях дозволяє істотно знизити концентрацію хлорорганічних сполук, забезпечити (в тому числі і від вірусів і найпростіших) знезараження води і зберегти пролонговану дію дезінфектанту при її подальшому транспортуванні або використанні в замкнутому циклі, а також значно зменшити витрату дезінфектанту. До речі, при оцінці ефекту спільної дії хлору і УФ-випромінювання при різних дозах показано відсутність взаємопідсилення знезаражувальної здатності [7].

У деяких випадках цікавим напрямком УФ-обробки води є видалення з неї залишкового хлору. Використання УФ-опромінення для дехлорування води – це відносно нова сфера застосування УФ-технології, хоча для руйнування вільного хлору у воді потрібні досить високі дози опромінення, в кілька разів вище, ніж для дезінфекції, а для руйнування хлорамінів ще більші. Застосування УФ-опромінення для дехлорування води замість обробки її сорбентами має певні переваги: в першу чергу, одночасне знезаражування води, і, крім того, не потрібні витратні матеріали і т. п.

Обробка хлорованої води ультрафіолетовим опроміненням приводить до зниження концентрації сполук хлору за рахунок фотолізу. Зниження концентрації цих сполук залежить від УФ-спектру та дози опромінення. Процес фотолізу залишкового хлору залежить від типу сполук, які присутні у воді. Залишковий хлор у воді може знаходитися у вигляді гіпохлорит іона, хлорноватистої кислоти, моно-, ди-, три- хлорамінів, хлорорганічних сполук. Співвідношення цих сполук хлору залежить від типу хлорреагента, рН води і концентрації азотовмісних сполук. Кожен з цих типів сполук хлору має свій пік поглинання УФ-випромінювання [70, 71].

Пік поглинання енергії сполуками хлору становить: монохлораміна – 245 нм; діхлораміна – 297 нм; тріхлораміна – 340 нм; хлороформу і тригалометана – 400 нм. Обробка хлорованої води високими дозами УФ-опромінення може призводити до зниження вмісту вільного хлору на 10-45 %, зв'язаного хлору – до 10-15 %, побічних продуктів хлорування – до 10-20 %.

Типовими продуктами фотолізу є іони: Cl^- , H^+ , NO_3^- ; і NH_3 . У результаті фотолізу сполук хлору не фіксується утворення токсичних побічних продуктів. У загальному випадку лампи середнього тиску, що мають широкий спектр випромінювання, обумовлюють більш виражене зниження остаточного хлору, ніж лампи низького тиску. Для фотолізу використовують дози опромінення в кілька разів більші тих, які застосовуються для знезараження води, тому в діапазоні доз 25-40 мДж/см² вплив фотолізу на зниження концентрацій хлорвмісних речовин буде незначним.

У 2004 р. на водопровідній станції м. Санкт-Петербурга були проведені дослідження впливу УФ-опромінення з довжиною хвилі 254 нм на сполуки хлору [48]. Схема водопідготовки включає в себе: забір води з річки, амонізацію, хлорування гіпохлоритом натрію, коагуляцію, відстоювання, фільтрацію, УФ-зnezараження. Залишковий хлор перед подачею води в мережу підтримується на рівні 0,8-1,2 мг/л. Після введення в експлуатацію блоку УФ-зnezараження було відзначено збільшення витрати гіпохлориту натрію на 10 %. Оцінка впливу високих доз (58-105 мДж/см²) УФ-випромінювання на сполуки хлору здійснювалася порівнянням зміни контролюючих показників до і після УФ-установок. Результати досліджень показали, що:

- залишковий активний хлор, який утворює при введенні в попередньо амонізовану воду гіпохлориту, повністю представлений у вигляді хлорамінів;
- під впливом УФ-опромінення дозами від 58 до 105 мДж/см² відбувається зниження вмісту загального активного хлору в середньому на 8 %, максимальне зниження досягає 12 %; таким чином на етапі УФ-опромінення відбувається зниження загального залишкового хлору на 0,1 мг/л у середньому;
- одночасно зі зниженням вмісту загального залишкового хлору відмічено зниження шкідливих хлорорганічних сполук на 4-8 %.

Таким чином, дози УФ-опромінення для помітного зниження хлорвмісних речовин у кілька разів перевищують УФ-دوزи, необхідні для зnezараження. При обробці хлорованої води високими дозами УФ-опромінення 150-500 мДж/см² відбувається зниження концентрації залишкового хлору до 10-45 %. З'єднання зв'язаного хлору (хлораміни), як правило, більш стійкі до УФ-опромінення, ніж з'єднання вільного хлору. Фотоліз сполук хлору не супроводжується утворенням небажаних побічних продуктів. Більш того, поряд зі зниженням залишкового хлору, відбувається зниження шкідливих хлорорганічних сполук.

3.2.2 УФ-опромінення в поєднанні з ультразвуковими технологіями

Для підвищення ефективності знезараження, деякі дослідники пропонують використовувати ультразвук спільно з іншими методами.

Ультразвук – це пружні коливання і хвилі, частота яких вище 15-20 кГц [42]. При впливі ультразвуку на рідину виникають специфічні фізичні, хімічні та біологічні ефекти, такі як кавітація, капілярний ефект, диспергування, емульгування, дегазація, знезараження, локальний нагрів і багато інших [41, 42].

УЗ-обробка води підвищує ефективність хлорування [72], озонування [17, 24, 28] або використання хімічних речовин [55, 58], таких як перекис водню H_2O_2 або TiO_2 [73]. Ймовірними механізмами УЗ-впливу є інтенсифікація загального масообміну і руйнування зважених часток, за рахунок доставки нових порцій окислювача в частинки, перемішування води біля поверхні кристалів TiO_2 і пошкодження мікроорганізмів при виникненні кавітації, що зменшує їх опірність у відношенні до окислювача.

Спільне використання УФ- та УЗ-обробки не володіє синергетичним ефектом [74, 75]. Внесок УЗ в інактивацію мікроорганізмів у порівнянні з УФ-впливом незначний. Механізм впливу УЗ-обробки стічної води до стадії УФ-знезараження полягає в тому, що УЗ руйнує великі зважені частинки, і ефективність знезараження УФ-випромінюванням мікроорганізмів, які перебували всередині, зростає [74]. Цей ефект не є синергетичним, тому УЗ-обробку можна провести до обробки УФ-випромінюванням.

У стічній воді містяться зважені речовини в кількості 2-20 мг/л, причому, на відміну від питної води, частинки з розмірами більше 50 мкм можуть становити основну частину [74]. УЗ-обробка стічної води протягом 5 с зменшувала кількість зважених часток з розмірами більше 50 мкм на 60 % при 310 Вт/л. Це енергія 1550 Дж/л, що відповідає витратам 0,42 (кВт·год)/м³. Як випливає з цих досліджень, енергетичні витрати на додаткову УЗ-обробку в

багато разів перевищують витрати на використання УФ-зnezараження (0,05 кВтгод)/м³).

Тому, для сучасних станцій зnezараження стічної води, енергетичні витрати на додаткову УЗ-обробку економічно не виправдані. У разі необхідності дуже глибокого зnezараження простіше і дешевше застосувати традиційну доочистку з наступним УФ-зnezараженням, застосування УФ-технології в традиційних схемах очищення стічних вод зазвичай достатньо для досягнення нормативних показників.

Поєднання УФ-опромінення з УЗ-обробкою для приготування питної води в загальному випадку також недоцільно, оскільки традиційні фізико-хімічні методи очищення води набагато дешевшим чином забезпечують у ній високу УФ-прозорість, видаляючи при цьому частинки з великими розмірами.

При практичному виконанні, витрати електроенергії на додаткову ультразвукову обробку істотно перевищують витрати енергії на УФ-випромінювання. Німецька фірма «Grunbeck Wasseraufbereitung» розробила і виробляє систему «GRUNBECK GENO Break System IV» з ультразвуковим та ультрафіолетовим випромінюваннями, проте компанія чітко заявляє, що система призначається спеціально для знищення легіонел та їх проміжних хазяїв амеб у системах гарячої води. Додаткова обробка ультразвуком необхідна для руйнування часток накипу або окалин у воді і руйнування амеб, а зnezараження проводиться УФ-випромінюванням. Ці системи призначені на витрати води 4 і 8 м³/год. Витрата енергії становить на УФ-лампи 75 або 225 Вт, відповідно, і 500 Вт на ультразвукове джерело. Таким чином, витрата енергії на ультразвук істотно більша ніж витрата енергії на УФ-джерело. Оскільки це невеликі системи, то в них проблема енергозбереження не стоїть так гостро, як в системах підготовки води в промислових масштабах.

При використанні УЗ слід також враховувати процеси, що можуть вплинути на конструкцію установок, режим експлуатації, експлуатаційні витрати. Із можливих негативних процесів при використанні ультразвуку слід звернути увагу на підвищену ерозію під дією кавітації і можливістю

руйнування конструкційних матеріалів. Мала довжина хвилі (менше декількох сантиметрів) обумовлює променевий характер розповсюдження УЗ-хвиль, які при попаданні на неоднорідності ведуть себе так, як світлові пучки, що відбиваються, заломлюються, розсіюються. Крім того, відмітимо, що строк служби УФ-ламп низького тиску, що використовують у більшості систем УФ-знезараження, під дією ультразвуку можуть мати значно менший ресурс.

Великі енергетичні затрати, відсутність нормативних документів, що регламентують використання метода, роблять спосіб УЗ-знезараження неконкурентоспроможним для промислового використання.

3.2.3 Комбіноване опромінення УФ- та НВЧ-хвилями

Альтернативою для реагентних способів знезараження питної води можуть бути різні електрохімічні методи: оброблення води змінним електричним струмом, дія надзвичайно високих частот (НВЧ), високих частот (ВЧ) та низьких частот (НЧ) тощо.

Досі не існує достатніх доказів безпосереднього впливу НВЧ-поля на мікробну клітину [61, 62]. Бактерицидний ефект пояснюється безпосередньою взаємодією електромагнітного поля з життєво важливими елементами клітини. Результатом цього є загибель або пригнічення її життєдіяльності.

На основі численних досліджень було встановлено, що бактерії в слабких електролітах гинуть при частоті електромагнітного поля порядку 10-30 МГц, а особливо ефективно спостерігається ефект при 60 МГц. Було висунуто припущення, що летальний вплив НВЧ-енергії на мікроорганізми слід віднести до теплового фактору. Встановлено, що оброблення при низьких температурах не призводить до інактивації мікроорганізмів. Відомо, що тривалість оброблення залежить від потужності НВЧ-поля. На практиці швидкість НВЧ нагрівання характеризується або теплотою нагрівання, або тривалістю обробки. Аналізуючи вище сказане, слід зазначити перспективність застосування НВЧ, але значна вартість та складність обладнання, виникнення температурної

неоднорідності, необхідність створення рівномірності поля, а також підвищені вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу обмежують застосування способу НВЧ обробки води.

При використанні струмів високої частоти (ВЧ) середовище нагрівається і немає контакту з джерелом електроенергії. Основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову, при цьому має місце діелектричне нагрівання. Застосування цього методу виявилось дорожчим, ніж традиційні методи, тому він не знайшов широкого практичного застосування [62].

3.2.4 УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням

При УФ-опроміненні молекул розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням радикалів атомарного кисню і ОН [48]. Їх реакційна здатність (окислення) у багато разів вище, ніж у озону. Коефіцієнт екстинкції O_3 на довжині хвилі 254 нм дорівнює 3300 л / (моль · см), і він набагато вище, ніж у H_2O_2 [18,6 л / (моль см)]. Приблизно, швидкість розпаду озону в 1000 разів вище, ніж у H_2O_2 . Поглинання УФ-випромінювання призводить до фотолізу озону з утворенням високоактивного радикала синглетного кисню, потім до утворення пероксиду водню і його фото дисоціації на два гідроксильних радикала



Безсумнівно, ці радикали ефективно беруть участь у процесі знезараження, але насамперед витрачаються на окислення інших органічних і неорганічних домішок у воді.

У даний час доведено, що існує три шляхи реакції УФ/ O_3 , що призводять до генерації гідроксильних радикалів $\bullet OH$ через утворення збуджених атомів

кисню, перекису водню і пергідроксильних іонів. Насправді існує набагато більше шляхів генерації вільних радикалів, але складність хімічного процесу не дозволяє в деталях вивчити всі хімічні реакції, їх кінетику і процес напрацювання гідроксильних іонів.

Процес знезараження води комбінованим методом УФ-випромінювання в поєднанні з озоном застосовують при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок. Ці процеси ефективно йдуть при дуже високих УФ-дозах 500-600 мДж/см², що набагато більше, ніж необхідно для глибокого знезараження. Озонування, як потужна комплексна окислювальна технологія очищення води може застосовуватися разом з УФ-технологією [7, 63]. Попереднє озонування води, з наступним її очищенням, значно покращує прозорість води для УФ-випромінювання (природно, що при цьому також йде процес знезараження озоном), що робить застосування ультрафіолетового знезараження більш економічним.

Озонування води насамперед вирішує завдання фізико-хімічної очистки, дозволяє знизити витрати реагентів, забезпечує первинний бар'єр від мікробного забруднення. Озонування води перед УФ-знезараженням [48] вже багато років застосовується на двох великих станціях Фінляндії (Pitkakoski і Vanhakaupunki), що постачають питну воду м. Гельсінкі, на канадській станції Coquitlam, що входить у систему водопостачання.

Відомо [48], якщо водні розчини містять органічні сполуки, абсорбуючі УФ-світло, то УФ-випромінювання зазвичай не дає ніякого ефекту через екранування озону оптично активними сполуками. Використовуючи технологію УФ/О₃, можна досягти повної мінералізації органічних сполук з коротким молекулярним ланцюгом (щавлева кислота, мурашина кислота та інші).

3.3 Бактерицидне знезараження УФ-опроміненням стічних вод

Проблема охорони джерел водопостачання від забруднення, зокрема поверхневих водойм та підземних джерел, є найбільш актуальною проблемою, оскільки потреба населення в достатній кількості питної води високої якості завжди залишається життєво необхідною.

У воді поверхневих водойм разом з домішками природного походження містяться різного складу хімічні забруднення (феноли, пестициди, нафтопродукти тощо), що обумовлено надходженням у водоймища недостатньо очищених виробничих і побутових стічних вод. Технології та обладнання, які застосовують у даний час для обробки стічних вод, не завжди забезпечують необхідну ступінь її очищення та знезараження.

У воді в небезпечних концентраціях можуть міститися радіонукліди, нафтопродукти, феноли, поверхнево-активні речовини, солі важких металів, у паводковий період у воду потрапляють значні кількості пестицидів та мінеральних добрив, зокрема азотних [64]. Все це призвело до того, що сьогодні в Україні лише 15 % водних об'єктів відносяться до 1-3 категорії «практично чисті» [65].

Методи, які застосовуються для знезараження стічних вод (СВ), умовно можна розділити на такі групи:

- хімічні (застосування різних сполук хлору, озону, перекису водню, органічних полімерних біоцидів і ін.);
 - фізичні (термічні, електричні, електромагнітні);
 - фізико-хімічні (флотація, коагуляція, сорбція, електрофільтрування);
- знезараження в умовах штучних і природних біоценозів.

Характеристика методів знезараження стічних вод наведена в додатку 3 В.

В Україні найбільшого поширення одержав метод оброблення стічних вод хлором, але європейські країни все частіше відмовляються від нього,

надаючи перевагу обробленню ультрафіолетом, ультразвуком та комбінованим методам.

Одним із сучасних методів знезараження є ультрафіолетове випромінювання. У світі ультрафіолетові системи діють більше, ніж на 3000 очисних спорудах для стічних вод.

Метод ультрафіолетового знезараження стічних вод має ряд переваг у відношенні до хлорування [67]:

- на відміну від хлору, при УФ-випромінненні не утворюються побічні токсичні і мутагенні сполуки (хлороформ і інші хлорпохідні);
- одночасно покращуються органолептичні властивості водного середовища, руйнуються стійкі органічні сполуки;
- знезараження ультрафіолетом відбувається за рахунок фотохімічних реакцій всередині мікроорганізмів, тому на його ефективність зміна якості води впливає значно менше, ніж при знезараженні хімічними реагентами;
- у випадку передозування відсутні негативні ефекти, що дозволяє значно спростити контроль за процесом знезараження і не проводити аналізи на вміст у воді залишкової концентрації дезінфектанту;
- час знезараження при УФ-випромінненні складає 1-10 с в проточному режимі, тому відсутня необхідність у створенні контактних ємкостей;
- експлуатаційні витрати є значно меншими, що пов'язано з невеликими витратами електроенергії, відсутністю потреби у дорогих реагентах;
- відсутня необхідність для створення складів токсичних хлорвміщуючих реагентів, які потребують дотримання спеціальних заходів технічної й екологічної безпеки;
- УФ-обладнання є компактним, потребує мінімальних площ, його упровадження в діючі технологічні процеси очисних споруд можливо без їх зупинки, з мінімальним обсягом будівельно-монтажних робіт.

Як свідчать останні дані наукових досліджень, за останні 15-20 років стійкість патогенної мікрофлори до хлору підвищилася в 5 разів, до озону — в 2-3 рази, до УФ-випромінювання — в 4 рази [77]. Це означає, що з урахуванням подальшого підвищення стійкості мікроорганізмів, вірусів та найпростіших, при проектуванні систем знезаражування необхідно передбачати дозу опромінення з урахуванням динаміки зростання стійкості мікроорганізмів. Саме тому, зараз в економічно розвинених країнах мінімальна доза впливу УФ-випромінювання визначена в 40 мДж/см^2 , а на станціях зі знезараження питної води і стічних вод, що проектують, доза УФ-випромінювання закладається на рівні $70\text{-}100 \text{ мДж/см}^2$. У цьому випадку найбільш перспективними є методи комбінованого впливу на воду різних дезінфікуючих засобів і способів.

Одним із комбінованих методів для знезараження стічних вод є метод, який використовує одночасний вплив на воду ультразвуку і УФ-випромінювання. Але цей метод також не позбавлений певних недоліків: залежність від каламутності та кольоровості води, що знезаражується, виду мікроорганізмів, їх кількості, дози опромінення, відсутності надійного способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування тощо. Крім того, ефективна доза УФ-опромінення при усіх інших рівних умовах залежить від типу установки. На кварцовому чохлах УФ-ламп можливе осадження гумінових кислот, заліза та солей марганцю, що зменшує інтенсивність випромінювання. Технологія не має ефекту післядії, що обумовлює вторинний ріст бактерій в обробленій воді. Реактивація мікрофлори виникає у тих випадках, коли інтенсивність УФ-опромінення нижча необхідного рівня. Оброблена вода може повторно забруднюватися та опромінюватись видимим світлом (фотореактивація).

Альтернативою для реагентних способів знезараження стічних вод можуть бути різні електрохімічні методи: оброблення води змінним електричним струмом, дія ультразвуку та магнітна обробка тощо.

Протягом останніх 30 років ведуть розробки електроімпульсних методів знезараження рідин, заснованих на створенні високовольтного розряду в рідині.

Незважаючи на досить тривалу історію вивчення даного методу дезінфекції, його реалізація і нині не вийшла зі стадії лабораторних досліджень.

Інші фізичні методи знезараження, такі як обробка води прискореними електричними зарядами, електричними розрядами малої потужності, змінним електричним струмом, магнітна обробка, термообробка, обробка ультразвуком, мікрофільтрування, радіаційне знезараження використовують рідко внаслідок високої енергоємності або складності апаратури, а також не вивченості хімічних сполук, що утворюються у процесі оброблення води. Багато з цих методів перебувають на стадії наукових розробок.

Біологічний метод займає провідне місце в очищенні господарсько-побутових стічних вод, у процесі якого відбувається їх знезараження. Використання біологічного методу дозволяє паралельно з вилученням органічних забруднень проводити вилучення патогенних мікроорганізмів.

Дослідженнями вітчизняних і закордонних авторів доведена можливість доочищення стічних вод у біологічних ставках з вищими водяними рослинами. Це один із природних, надійних та рентабельних методів, який є альтернативою до фізико-хімічних методів доочищення стічних вод. Біоставки з вищими водяними рослинами виступають надійним бар'єром розповсюдження збудників інфекційних хвороб та заслуговують позитивної гігієнічної оцінки [78].

Аналіз існуючого практичного досвіду знезараження стічних вод показав, що на сьогодні інтенсивно розробляють екологічно чисті методи знезараження господарчо-побутових і промислових стічних вод, альтернативних хлоруванню та озонуванню. Багато методів ще знаходяться на стадії наукових розробок, лабораторних та виробничих випробувань.

3.4 Використання УФ-випромінювання в медицині

3.4.1. Бактерицидне знезараження приміщень (повітря та поверхонь)

Відомо, що більшість інфекційних захворювань поширюється зваженими в повітрі мікроорганізмами і їх зародками [79]. У приміщеннях, де буває велика кількість людей, наприклад, у школах, театрах, установах, виробничих цехах і т.д., міститься велика кількість таких мікроорганізмів.

Завдяки своїм незначним розмірам мікроорганізми протягом довгого часу можуть триматися у повітрі і з конвекційними повітряними потоками, за сприятливих обставин, проникати в усі приміщення даної будівлі. Концентрація мікроорганізмів у приміщенні зменшується при вентиляції, проте в деяких випадках однієї вентиляції вже недостатньо, особливо якщо мова йде про приміщення переповнені людьми [48, 80].

Дуже високі вимоги до стерилізації повітря висуваються до лікарняних приміщень, особливо до інфекційних відділень та операційних приміщень [81]. У харчовій промисловості наявність зародків у повітрі виробничих приміщень також призводить до шкідливих наслідків. У даному випадку шкоду можуть заподіяти не хвороботворні мікроби, для захисту від яких застосовуються спеціальні заходи, а різні дріжджові і цвілеві грибки, що впливають на стійкість виготовленої продукції. На жаль, виробничі приміщення містять, як правило, велику кількість мікроорганізмів, небезпечних для даного виду продукції (наприклад, випадково розсипані залишки продуктів є живильним середовищем для них). Таким чином, проблема стерилізації повітря має велике гігієнічне значення. При вирішенні цієї проблеми особливо важливу роль відіграє використання ультрафіолетового випромінювання [79].

Хвороботворні мікроорганізми, що знаходяться у сухому повітрі, в 20-50 разів чутливіші до ультрафіолетового випромінювання, ніж ті мікроорганізми, що знаходяться у вологому повітрі, в живильному середовищі.

Максимум бактерицидної ефективності спектральної залежності дії ультрафіолету лежить при 265 нм. Тому випромінювання резонансної лінії ртуті з довжиною хвилі 254 нм, збудження якої не вимагає великої витрати потужності, володіє сильною бактерицидною дією [79].

У всіх розглянутих раніше питаннях, пов'язаних із дією опромінення, величина дози визначалася як добуток величини опроміненості ($\text{Вт}\cdot\text{см}^2$) на час опромінення (с). Величина дози має розмірність $\text{Вт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$.

Розрахунки, пов'язані зі стерилізацією повітря, потребують вирішення просторової задачі, в якій потрібно визначити дозу випромінювання, необхідну для даного об'єму повітря. За одиничну просторову опроміненість приймається опроміненість, що створюється в одиничному об'ємі (1 см^3) пучком паралельних променів перерізом в 1 см^2 протягом 1 см шляху при потоці опромінення, рівному 1. Просторову опроміненість у розрахунках щодо стерилізації повітря іноді визначають як добуток величини опромінення на поверхні ($\text{Вт}/\text{см}^2$) на об'єм (см^3), так що добуток має розмірність $\text{Вт}\cdot\text{см}$. Перемножуючи цю величину на час опромінення, отримуємо величину дози, розмірність якої $\text{Вт}\cdot\text{с}\cdot\text{см}$.

Ефективність стерилізації повітря за допомогою ультрафіолетового випромінювання залежить від виду знищуваних мікроорганізмів [81], від характеру їх розподілу в повітрі, від вологості повітря, від розмірів стерилізованого приміщення, від типу і потужності джерела випромінювання і його розташування в приміщенні, від тривалості роботи джерела випромінювання, від рівномірності опромінення і, нарешті, від потоків руху повітря.

Щоб врахувати всі ці фактори, разом узяті, дію стерилізації даного джерела випромінювання вимірюють по зменшенню числа мікробів в одиниці об'єму, яку порівнюють із зменшенням їх числа при одноразовому обміні повітря (в санітарно-технічному сенсі) [79].

Більш численними є публікації про характер, ступінь і основні закономірності бактери-, вірулі- і фунгіцидної дії УФ-випромінювання в

модельованих умовах, при штучній мікробній контамінації повітря, різних поверхонь і об'єктів, при різній потужності джерел УФ-випромінювання, різної тривалості і умов опромінення. При всьому розмаїтті отриманих результатів таких досліджень, всі автори приходять до одного висновку: УФ-випромінювання є досить ефективним антимікробним фактором і раціональне, методично правильне його застосування може і повинно сприяти бактерицидному знезараженню та профілактиці інфекційних захворювань [48, 79, 80, 81].

3.4.2 Бактерицидне знезараження апаратури та інструментів

В теперішній час у більшості лікувально-профілактичних установ країн СНД зберігання стерильного матеріалу та інструментів проводять на стерильних столах згідно з наказом № 720 від 31.01.1978 р. Стерильний стіл складається з чотирьох шарів стерильної тканини, що покриває стерильний інструмент. Час зберігання обмежено шістьма годинами, після чого весь інструмент підлягає повторній стерилізації.

Сучасні роботи в галузі мікробіології, санітарії, дезінфектології дозволяють зробити висновок, що дана методика зберігання є недосконалою, застарілою і навіть небезпечною в плані вторинного інфікування інструменту в процесі зберігання на столах з тканинним покриттям. Ці висновки засновані на роботах і дослідженнях з питання перенесення патогенних збудників різних інфекцій повітряно-крапельним шляхом.

Відомо, що в повітрі приміщень лікувальних закладів присутня велика патогенна мікрофлора [81] *Staph. aureus*, *albus*, *Streptococcus pyogenes*, *Proteus vulgaris*, *Bact. tuberculosis*, різні види вірусних інфекцій, вегетативні та спороносні форми, що утворюють поняття внутрішньолікарняної інфекції. Змішуючись з мікрочастинками пилу, вони утворюють аерозольну суспензію в повітрі, так званий «патогенний аеропланктон» [82], здатний тривалий час перебувати в підвішеному стані, створюючи загрозу інфікування стерильного

інструменту в процесі його розміщення, забору та зберігання на стерильних столах.

Кількість «патогенного аеропланктону» в повітрі медичних установ залежить від числа медперсоналу та хворих, що знаходяться в приміщенні, де зберігається стерильний інструмент [83]. З кожною годиною йде накопичення числа мікроорганізмів, що може досягати від 2000 до 18 тис. в 1 м³. У цих умовах створюється реальна загроза для зберігання стерильного інструменту.

Роботи В. Г. Юзбашева, Т. В. Васильєва [84] наочно демонструють, що при обсіменінні повітря приміщень площею 2х3 м (тест мікроорганізмом - золотистим стафілококом, штам 209) з концентрацією, що дорівнює 1500 колоній на 1 м³, при використанні стерильного столу з тканинним покриттям за період від 5 сек. до 5 хв. кількість колоній, що висіваються *in vitro* на чашках Петрі, склало від 2 до 38 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Динаміки зміни обсіменіння тест-об'єктів на стерильних столах

Обсіменіння повітря приміщення, КУО/м ³	Середнє число КУО, які осіли на чашці Петрі протягом терміну спостереження					
	секунди			хвилини		
1500±70	5	10	30	1	3	5
колонії	2	4	8	14	22	38

Зрозуміло, що робоча багатогодинна зміна з періодом 6 годин неминуче призведе до накопичення патогенних збудників на інструментах, і при застосуванні його за призначенням, може викликати різні післяопераційні ускладнення з досить жалюгідними наслідками.

У цих умовах, на сьогоднішній день, актуальним стає спосіб зберігання стерильного інструменту і матеріалів у камерах, боксах під впливом безперервного УФ-випромінювання [83].

Бактерицидний ефект УФ-випромінювання почав широко досліджуватися в 20-х роках ХХ століття. Найбільшим успіхом на сьогоднішній день

користуються опромінювачі - газорозрядні УФ-лампи низького тиску з довжиною хвилі = 253,7 нм. При УФ-опроміненні повітря відбувається швидка загибель мікроорганізмів за рахунок пошкодження ДНК-структур ядра клітини, загибель РНК білків протоплазми і мембран клітин [81].

Бактерицидність УФ-випромінювання обернено пропорційна квадрату відстані до об'єкта опромінення, залежить від прозорості середовища, температури повітря, тривалості опромінення. Опірність різних мікроорганізмів УФ-випромінювання коливається від малих доз опромінення (4,2 МДж/см²) – для бактерій і вірусів, до дуже великих доз опромінення (16,5 МДж/см²) для спор і найпростіших [48, 81]. Так, вегетативні форми гинуть при прямому попаданні УФ-випромінювання (бактерицидний ефект), а спороносні форми тільки припиняють свій ріст («бактеріостатичний ефект») і гинуть тільки при прямому контакті з поверхнею УФ-джерела. Утворений при роботі УФ-джерел озон володіє також слабким бактерицидним ефектом і антагоністичною дією до УФ-випромінювання.

На сьогоднішній день промисловістю країн СНД освоєно кілька типів камер для зберігання стерильних інструментів з використанням бактерицидного УФ-джерела лампи «Philips» (Голландія) потужності від 15 до 36 Вт (ресурс 8000 годин). Принципи роботи камер однакові і розрізняються використанням матеріалу для корпусу (залізо, нержавіюча сталь, пластмаса), пристроєм розташування кришки, решіток, УФ-джерел [80].

3.4.3 Лікувально-профілактичне УФ-опромінення людей

Дія ультрафіолетового опромінення є необхідною для нормальної життєдіяльності людського організму. Відсутність або тривала нестача такого випромінювання може мати несприятливі наслідки для людського організму [80, 85], внаслідок чого слабнуть захисні функції.

Ультрафіолетове випромінювання постачає енергію для фотохімічних реакцій в організмі. В нормальних умовах сонячне світло викликає утворення

невеликої кількості активних продуктів фотолізу, які створюють на організм сприятливу дію [86].

Відсутність сонячної радіації може призвести до розвитку патологічного стану, відомого як «ультрафіолетове (сонячне) голодування» [79]. Сонячне голодування проявляється в дратівливості, безсонні, швидкій стомлюваності людини. У великих містах, де повітря забруднене пилом, ультрафіолетові промені, що викликають еритему, майже не досягають поверхні Землі.

Світловому голодуванню сприяє звичайне силікатне скло, що поглинає 90-95 ультрафіолетових променів і не пропускає промені в діапазоні 310-340 нм, і вже з цієї причини всі штучні джерела світла, що мають колби з такого скла, майже не мають у своїх спектрах УФ-випромінювання [79]. Частка УФ-випромінювання в спектрах мініатюрних кварцових галогенних ламп, що використовують для місцевого освітлення є досить малою [80]. Природно, що явище світлового голодування спостерігається у жителів Півночі і Заполяр'я, а також поширене і в середніх широтах у людей, які частково або повністю позбавлені в денні години природного світла. У багатьох жителів великих промислових міст, через забруднення атмосферного повітря, через великі втрати сонячної радіації (переважно короткохвильового діапазону) також може спостерігатися явище світлового голодування.

Найбільш частим проявом цього захворювання є порушення мінерального обміну речовин і розвиток нестачі вітаміну D і рахіту у дітей, що супроводжується різким зниженням опірності організму, що робить його сприйнятливим до несприятливих умов навколишнього середовища.

Під дією ультрафіолетового випромінювання в шкірі людини зі стероїдних речовин утворюється вітамін D [48, 80]. На відміну від інших вітамінів він може надходити в організм не тільки з їжею, але й утворюватися в ньому із провітамінів. Надмірна кількість сонячного світла не викликає інтоксикації організму вітаміном D, в той час як інтоксикація можлива при вживанні надмірної кількості вітаміну D з їжею.

Слід відзначити роль вітаміну D у зміцненні здоров'я, оскільки він володіє сильним біологічним впливом на людський організм. Фізіологічна роль вітаміну D полягає в тому, що він сприяє засвоєнню кальцію. Кальцій входить до складу кісток, бере участь у згортанні крові, ущільнює клітинні й тканинні мембрани, регулює активність ферментів.

Вітамін D є ефективним модулятором імунної системи, а також регулює утворення в нирках гормону реніну, який контролює кров'яний тиск. З нестачею вітаміну D в організмі також пов'язують розвиток серцево-судинних захворювань і гіпертонії. Отримані останнім часом дані підтвердили припущення про те, що рівень вмісту вітаміну D в крові прямо асоціюється з щільністю мінералізації кісткової тканини у чоловіків і жінок будь-якої раси [87].

Відзначимо також необхідність профілактичного УФ-опромінення як превентивний захід тим особам, які направляються у невласливі для них умови з підвищеною сонячною радіацією (у тому числі УФ). Такий захід в будь-якому випадку більш природний і корисний в порівнянні з широко рекламованими кремами, оскільки застосування останніх позбавляє організм природних захисних реакцій, включаючи такі специфічні, як імунні [86].

Важливість оптимізації опромінення ближнім і середнім ультрафіолетом слід підкреслити ще й тому, що в даний час різко зросла кількість любителів засмагати при штучному опроміненні. У соляріях повинно використовуватися в основному випромінювання з $\lambda > 315$ нм, при цьому обмежується як максимальна інтенсивність випромінювання, так і отримана доза. Це випромінювання не призводить до утворення вітаміну D, але сприяє швидкій зміні пігментації шкіри, підйому настрою, зняття стресу і т. п.

У даний час у якості визначальної функції благотворної дії УФВ взята крива спектральної чутливості фотореакції утворення вітаміну D. Крива ефективності еритемного випромінювання згідно з даними МКО має два максимуми на довжинах хвиль 250 та 297 нм [86]. Корисною признана (в разі правильного дозування) і використовується в опромінювальних установках

лише права гілка кривої ефективності еритемного випромінювання в межах від 280 до 320 нм [88]. Для одержання опромінення в цій області спектру використовуються еритемні люмінесцентні лампи ЛЕ потужністю 15 та 30 Вт (з еритемною віддачею близько 20 мер/Вт) або лампи ЛЕР (рефлекторні) потужністю 30 та 40 Вт (з еритемною віддачею близько 40 мер/Вт).

З метою компенсації дефіциту природного світла та попередження світлового голодування рекомендується профілактичне УФ-опромінення з використанням штучних УФ-джерел різного типу [86]. При використанні штучних джерел ультрафіолетового випромінювання варто пам'ятати, що промені при довжинах хвиль менше 270 нм руйнують вітамін D. Тому за допомогою фільтрів перекривається короткохвильова частина спектра ультрафіолетових ламп.

Заповнити недолік ультрафіолетових променів дозволяють лампи, які поряд з видимим світлом випромінюють ультрафіолетові промені в діапазоні довжин хвиль 300-340 нм [80].

3.4.4 Штучна засмага в фотаріях та соляріях

Виникнення засмаги у вигляді приємного золотисто-коричневого «бронзового» кольору шкіри пов'язано з прийомом сонячних ванн, які широко використовувалися в Європі практично протягом усього XX століття.

Слід зазначити, що використання сонячних ванн можливо лише в певні сезони року [48]. Крім того, в санаторіях, пансіонатах та інших курортних установах, а також під час відпочинку в літній період часу прийом сонячних ванн найчастіше надано самим «курортникам» або відпочиваючим, що призводить до недозованого використання УФ-випромінювання. Це пов'язано з простотою процедури отримання засмаги, що не вимагає втручання фахівців. Не останнє значення має можливість отримання «швидкої» засмаги при самотійній інсоляції. У зазначених умовах нерідко виникають небажані реакції

у вигляді опіків, загальної інтоксикації організму, появи мутацій у клітинах епідермісу, що може призводити до більш важких захворювань шкіри.

Найбільш доцільним і сприятливим для організму способом отримання засмаги є використання штучних джерел УФ-випромінювання, що застосовують у соляріях [81]. На противагу екологічному УФ-випромінюванню, яке не відрізняється постійністю фізичних параметрів через появу в певний період часу спалахів на сонці (сонячні протуберанці), УФ-випромінювання соляріїв характеризується високою стабільністю спектрального складу та потужності.

За конструкцією солярії поділяють на горизонтальні, вертикальні і сидячі. Поряд з різною конструкцією соляріїв, враховують їх основне призначення. У зв'язку з цим виділяють особисті, або так звані домашні, моделі, а також професійні студійні солярії.

Відомо, що максимальну виражену дію надає опромінення в діапазоні хвиль 340-365 нм, що проявляється пігментацією шкіри «бронзового» кольору. УФ-випромінювання цього діапазону є найбільш м'яким, не викликає значних деструктивних змін в шкірі [80]. Проте спостереження останніх років довели, що в процесі утворення засмаги важливу роль відіграє також УФ-випромінювання області «В» (переважно діапазону 295 нм), яке є каталізатором загарної дії. Тому лампи загарної дії дають комбіноване УФ-випромінювання в областях «А» і «В». Частка останнього УФВ щодо загальної потужності УФ-випромінювання «загарних» ламп становить різні величини – від 0,7 до 3,3 %. При цьому в «домашніх» соляріях УФ-випромінювання в області «В» коливається в межах 0,7-1,0 %, у студійних – 1,4-3,0 %. Відносно малий вміст УФ-випромінювання в «домашніх» соляріях компенсується більш тривалим опроміненням осіб при їх використанні.

Наявність УФ-випромінювання області «В» при загальному УФ-опроміненні в соляріях, крім загарної дії, дає певний лікувальний ефект [48]. Воно призводить до утворення вітаміну D, покращує кінетику вітамінів С і А,

стимулює загальні обмінні процеси в організмі, надає зміцнювальну і тонізуючу дію, посилює імунітет, підвищує регенерацію червоної крові.

Крім того, для короткочасного УФ-опромінення людей облаштовуються спеціальні секції, які називаються фотаріями. За способом облаштування фотарії поділяються на [80]: фотарії – коридори, фотарії – лабіринти, фотарії – кабінки, фотарії – маяки.

Особливим видом фотаріїв є фотарії - пляжі, або солярії (від лат. sol – сонце, solaris – сонячний), призначені для одержання штучної засмаги.

Фотарії – коридори облаштовують переважно на промислових підприємствах (в системах освітлення яких немає оздоровчого опромінення), на шахтах і рудниках для короткочасного опромінення працівників, зазвичай до або після робочої зміни. Такий фотарій є коридором шириною 1,2-1,4 м, по якому опромінювані особи повільно рухаються між опромінювачами (лампами), встановленими на стінках з обох боків. У фотаріях профілактичної дії використовуються переважно еритемні лампи або УФ-лампи високого тиску з колбами, що мають захисні (від жорсткого ультрафіолету) покриття. Їх комбінують з лампами розжарювання для покращення мікроклімату в коридорі та для наближення спектра опромінення до сонячного. В таких фотаріях лампи можуть розташовуватись рівномірними вертикальними або горизонтальними рядами.

Якщо використовують лампи ЛЕ30, які мають довжину 0,9 м і силу випромінювання, віднесену до одиниці світлої довжини 90 мер/(ср·м), то у фотаріях їх монтують на стінках чотирма горизонтальними лініями на висотах 1,5; 1,0; 0,5 та 0,2 м. Середня опромінюваність у вертикальній площині становить близько 700 мер/м².

Для збільшення коефіцієнта використання променевого потоку на стінках фотарію встановлюються алюмінієві плоскі відбивачі. Це дає можливість збільшити опромінюваність на 30-40% і зменшити кількість рядів ламп.

Фотарії-кабінки відрізняються від вище розглянутих тим, що той, хто приймає процедуру перебуває в оточенні еритемних ламп, стоячи на одному

місці. Кожна кабіна розрахована на одну особу, але фотарій може складатися з кількох суміжних кабін.

Фотарій-маяк – сукупність ламп, які розташовані в центрі приміщення і випромінюють в усі сторони. Ті, що приймають процедуру опромінення розташовуються за колом, на якому забезпечують потрібний рівень опроміненості.

Слід зазначити, що під час розрахунків профілактичних установок не вводиться коефіцієнт запасу. Спад потоків у процесі горіння ламп може досягати 2, і внесення коефіцієнту в розрахунок разом із рекомендованою нормою опроміненості призведе до значного її перебільшення на початковій стадії використання нових ламп. Замість цього, під час розрахунків фотарію задають значення опроміненості, середні між рекомендованими та максимально допустимими, а підтримання в процедурах потрібної експозиції регулюється проміжком часу опромінення (швидкість пересування людей у коридорах та лабіринтах, проміжком часу перебування в кабінах і під дією маяків).

Фотарії-пляжі (солярії) можуть бути як індивідуальними, так і груповими. У першому випадку солярій – довга арка, на внутрішній поверхні якої розташовують еритемні лампи вздовж об'єкта (особи), що приймає процедури. Груповий солярій – це горизонтальна площадка у формі многокутника або круга діаметром 4-4,5 м над якою на висоті 2,0-2,5 м розташовують лампи. Опромінення проводять зазвичай за системою зростаючих доз, починаючи з 0,25-0,35 МЕД і доводять до 2-4 МЕД. Для концентрації випромінювання на пляжі за порівняно більшої висоти підвісу ламп економічніше використовувати рефлекторні еритемні лампи ЛЕР.

Будь-які оздоровчі опромінення людей потрібно проводити лише за призначенням та під контролем лікарів-фізіотерапевтів. Особливо це стосується людей з підвищеною чутливістю шкіри до УФ-випромінювання.

3.4.5 Лікування дерматитів, псоріазу та інших захворювань шкіри

Метод вузькоспектральної фототерапії «світлолікування» був відомий ще з давніх часів і передбачає використання ультрафіолету певного спектру для лікування дерматологічних захворювань, таких як: псоріаз, atopічний дерматит, нейродерміт, парапсоріаз, екзема, свербіж шкіри, вогнищева алопеція.

Люди з давніх часів звертали увагу на цілющу дію сонячного випромінювання на шкіру [79]. Спектр сонячного світла складається на 10 % з ультрафіолетового випромінювання, з променів видимого спектру на 40 % і з інфрачервоних променів на 50 %. Ці види електромагнітних випромінювань отримали широке застосування в медицині. На сьогоднішній день, вузькоспектральна фототерапія – найновіший, максимально ефективний метод лікування за допомогою ультрафіолетового випромінювання [89, 90].

У 1950 роках був розроблений метод світлолікування – кварц (штучний ультрафіолетовий випромінювач) [79]. Через наявність великої кількості побічних реакцій на шкірі – пошуки науковців продовжувались. В 70-х роках був запропонований новий метод – ПУВА-терапія. Суть методу: пацієнт змушений приймати препарати псоралени (володіють гепатотоксичною і нефротоксичною дією) та ультрафіолетове випромінювання спектру А, без прийому препаратів ефект від лікування не настував. В 80-х роках винайшли так звану широкосмугову фототерапію (Broadband Phototherapy), але через певні побічні реакції так і не набула досить великого поширення.

Сьогодні усі сучасні клініки світу застосовують найбільш ефективний та популярний метод (розроблений в 90-х роках) – фототерапія вузького спектру світла (Narrow band UVB 311 nm) [91]. Із широкого спектру ультрафіолету «вирізано» один вузький спектр, який і володіє лікувальною дією.

Ультрафіолетове випромінювання стимулює ряд обмінних процесів, має місцеву імуномодулюючу дію: протизапальну і загальнозміцнюючу, а також гальмує прискорений поділ клітин рогового шару епідермісу.

Спектр ультрафіолетового випромінювання (пік – 311 нм) не має побічних дій [91], а лікування не є протипоказаним як для вагітних жінок, так і для дітей від 5 років, що чітко свідчить про безпеку даного методу. УФВ 311 нм – фототерапія при деяких захворюваннях шкіри (псоріаз, парапсоріаз, atopічний дерматит) дозволяє усунути шкірні прояви даних захворювань.

Основною перевагою світлолікування є загальна тривалість процедури, яка триває від 5 хв (на початку лікування) до 30 хв (з часом збільшується), що дозволяє зекономити багато часу для себе, та повністю виключає необхідність проводити лікування в стаціонарному відділенні.

Згідно зі світовими рекомендаціями, залежно від стану пацієнта та стадії захворювання, метод вузькоспектральної фототерапії рекомендується всього 2-3 рази на тиждень. При псоріазі оптимальна кількість процедур – 20-30 за курс; при парапсоріазі – 5-7; при atopічному дерматиті, нейродерміті та екземі – 10-15. Не потрібно забувати про важливість інших методів лікування, які можна вдало поєднувати із фототерапією, що дозволяє досягнути швидшого ефекту при лікуванні.

3.4.6 УФ-опромінення крові

Особливий інтерес в ультрафіолетовій терапії викликають методики лікування низки хвороб шляхом опромінення крові. Ультрафіолетове опромінення (УФО) крові – один із методів квантової терапії крові використовується медициною протягом останніх 30 років [92, 93]. В основі методу – опромінення невеликої кількості крові [94], що протікає через трубку з кварцового (увіолевого) скла, рівного за інтенсивністю в області ультрафіолетового спектра інтенсивності сонячного світла.

УФО крові викликає загибель мікроорганізмів [95], підвищує опірність, імунітет організму, активізує обмін речовин, окислювальні процеси в клітинах і тканинах. Клітини починають швидше оновлюватися, омолоджуватися.

У результаті УФО впливу збуджується певна група молекул, високочутлива до даного спектру світла. За допомогою складних біохімічних реакцій розвивається загальна реакція всього організму, що включає цілий ряд позитивних ефектів, часто перевищує фармакологічну терапію. Найважливішим із них є імунностимулюючий ефект. Сучасній медицині не відомий більш ефективний метод активізації імунітету організму.

Застосування УФО крові викликає активну агресію організму проти чужорідних мікроорганізмів незалежно від їх природи (віруси, найпростіші, бактерії і т. д.). Цей метод можна використовувати самотійно або в поєднанні з антимікробними засобами, особливо при значних розмірах інфекційного захворювання. Метод високоефективний при гострих і хронічних захворюваннях [95].

Відмітимо, що метод УФ аутокрові здійснює на організм терапевтичну дію, а саме:

- антибактеріальну і антивірусну;
- протизапальну та дезінтоксикаційну;
- десенсибілізуючу і метаболічну;
- нормалізує реологічні властивості та згортання крові, периферичний кровотік;
- поліпшує стан судинної стінки внаслідок зниження рівня холестерину і жирних кислот і активації фібринолізу;
- стимулюючі окисно-відновлювальні реакції, що підсилюють оксигенації та енергетичні процеси в мішечній зоні, зниження тканинної гіпоксії;
- підвищує резистентність організму до інфекцій.

Застосування методу УФ аутокрові обумовлено його неспецифічним впливом на загальну резистентність організму. Реінфузія малих обсягів крові, опроміненої ультрафіолетовими променями, стимулює обмінні процеси в клітинах організму, підвищує енергетичний рівень природних механізмів регуляції і самозахисту.

Слід відмітити, що метод УФО крові за даними [92, 93], не має протипоказань при злоякісних захворюваннях, а є одночасно профілактичним методом. Відомо, що злоякісні клітини постійно утворюються в будь-якому здоровому організмі, проте імунна система організму за допомогою спеціальних речовин знаходить і вбиває злоякісні клітини. Тільки здорова імунна система організму здатна впоратися з цим завданням, а метод УФО крові є надійним методом її зміцнення [95].

3.4.7 Застосування УФ-випромінювання в діагностиці

У медицині УФВ використовують як для діагностики, так і для лікування [80, 85, 86]. У дерматології для діагностики шкіри, зокрема при виявленні грибкових уражень. Спеціальна лупа з ультрафіолетовим підсвічуванням дозволяє визначити стан шкіри за її світінням. При люмінесцентних аналізах намагаються застосовувати довгохвильове УФ-випромінювання із області А, оскільки воно надає більш слабкий вплив на об'єкти і на людей. При лікуванні захворювань шкіри і ран використовують і більш жорстке УФ випромінювання.

Ультрафіолетове опромінення підвищує активність захисних механізмів, надає десенсибілізуючу дію, нормалізує процеси згортання крові, покращує показники ліпідного (жирового) обміну. Під впливом ультрафіолетових променів поліпшуються функції дихання, збільшується активність кори надниркових залоз, посилюється постачання міокарда киснем, підвищується його скорочувальна здатність. Застосування ультрафіолетових променів в лікувальних цілях при добре підібраній індивідуальній дозі і чіткому контролі дає високий терапевтичний ефект при багатьох захворюваннях. Він складається із знеболюючої, протизапальної, десенсибілізуючої, імуностимулюючої, загальнозміцнюючої дії. Їх використання сприяє епітелізації поверхні рани, а також регенерації нервової та кісткової тканини. Показаннями до використання ультрафіолетового випромінювання є гострі та хронічні захворювання суглобів, органів дихання, шкіри, периферичної нервової системи, рани (місцеве

опромінення), а також компенсація ультрафіолетової недостатності з метою підвищення опірності організму різним інфекціям, загартування, профілактики рахіту, при туберкульозному ураженні кісток. Надзвичайно ефективним є сучасний спосіб лікування важких форм туберкульозу легенів, при якому УФВ вводять безпосередньо в уражену частину легенів через світловод і спеціальну голку.

Одним із важливих застосувань УФ у медицині є активація поверхні штучних імплантатів для того, щоб вони не відторгалися організмом, і щоб на них наростала нова біологічна тканина – кісткова, з'єднувальна та ін. [48].

Незважаючи на численні дослідження дії УФ-випромінювання, як потужного профілактичного терапевтичного чинника, систематичних досліджень цілющих дій монохроматичних випромінювань різних довжин хвиль до теперішнього часу здійснено не було. Існують лише спроби зв'язати різноманіття благотворних дій УФ-випромінювання однією, достатньо дослідженою функцією і приписати їй дієвість стосовно інтегральної цілющої дії.

Так, наприклад, з урахуванням того, що спектральна крива фотоутворення вітаміну Д розташовується у тій самій зоні спектра, що й довгохвильова гілка кривої еритемної дії, запропоновано оцінювати спектральну ефективність тонізуючої та терапевтичної дії випромінювання за значеннями еритемної ефективності довгохвильового УФ-випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 280$ нм. Стосовно випромінювання з $\lambda < 280$ нм ефективність (корисної) загально біологічної дії приймається такою, що дорівнює нулю. А з урахуванням того, що довгохвильове випромінювання аж до $\lambda = 400$ нм безумовно грає суттєву роль в розвитку та нормальному існуванні живого організму, криву еритемної дії продовжено до цього значення довжини хвилі.

За такої ситуації будь-яке застосування УФ-випромінювання в терапевтичних цілях (як і в цілях профілактичних) може здійснюватись лише за приписом і контролем лікаря лише по відношенню до конкретного пацієнта, і

має проводитися лише з опрацьованою та перевіреною (узгодженою) методикою. Тому використання УФ-випромінювання в медицині може бути об'єктом докладнішого дослідження.

3.4.8 Активація УФ-опроміненням штучних імплантатів

В останні роки полімерні матеріали знаходять все більший попит в різних областях сучасної медицини [96]. Очевидною вимогою до всіх біоматеріалів є поєднання їх цільових фізико-хімічних і фізико-механічних характеристик з біосумісністю [97].

Біосумісність може включати в себе різноманітні, іноді суперечливі вимоги, залежно від конкретного застосування полімеру. Так, у разі штучних судин, штучних кришталіків ока, біосенсорів або катетерів необхідно мінімізувати взаємодію полімеру з біологічним середовищем для надійного функціонування відповідного виробу після імплантації. Навпаки, у випадку більшості ортопедичних застосувань, для успішного функціонування потрібна активна взаємодія і зрощення імплантату з тканиною. Загальними вимогами для всіх медичних полімерів є: відсутність токсичності, стабільність, простота виготовлення і прийнятна вартість виробу [98].

Реакцію організму на полімерний імплантат визначають в основному його поверхневими властивостями [97]: хімічним складом, структурою та морфологією. Для регулювання біологічних властивостей полімерних матеріалів необхідні фізичні методи, які дозволяли б у широких межах змінювати фізико-хімічні, структурні та функціональні властивості поверхні матеріалу, не зачіпаючи при цьому його об'ємних характеристик, таких як міцність, еластичність, коефіцієнт пропускання, показник заломлення, електрофізичні параметри і т.д. Таким універсальним і багатofункціональним методом, що використовують для модифікування поверхневих характеристик полімерів, є обробка в низькотемпературній плазмі газового розряду [96]. Останнім часом багатообіцяючі результати були отримані також при

модифікуванні медичних полімерів вакуумним ультрафіолетовим ВУФ-випромінюванням [99]. Можна виділити наступні актуальні напрямки ВУФ-опромінювання для модифікування медичних полімерів:

- стерилізації та очищення поверхні виробу;
- модифікування поверхневих фізико-механічних властивостей (мікротвердість, зносостійкість, щільність поверхневого шару);
- спрямована зміна морфології поверхні (згладжування рельєфу, створення регулярних структур);
- функціоналізація і регулювання біологічних характеристик поверхні полімеру.

Одним з перших застосувань плазми в медицині стало використання плазмохімічної обробки для очищення і стерилізації поверхні [100]. У цілому ряді випадків полімерні вироби, що використовують у медицині, не допускають застосування високих температур, іонізуючого випромінювання (рентген, гамма-випромінювання) або хімічно активних реагентів так як їх вплив призводить до деструкції матеріалу чи спотворення його форми. У такій ситуації використання плазми газового розряду, яка впливає тільки на поверхню матеріалу і не впливає на його об'ємні характеристики, є досить ефективним. Основним стерилізуючим фактором низькотемпературної плазми є ультрафіолетове випромінювання [79], яке глибоко проникає в бактерії та інші мікроорганізми.

Під дією плазми інертних газів (Аг, Не, Ne), як правило, поряд з травленням і очищенням, відбувається утворення міжмолекулярних зшивок у поверхневому шарі полімеру. Вихід зшивок і гранична концентрація їх у поверхневому шарі залежать як від умов обробки так і, більшою мірою, від структури полімеру [98]. Зшивання призводить до створення бар'єрного шару, що знижує дифузії токсичних низькомолекулярних продуктів на поверхню виробу, а також підвищує мікротвердість і поверхневу зносостійкість полімеру. Як і у випадку гамма-опромінення полімери при обробці в плазмі поділяють на зшивальні (ПЕВП, ПВХ, ПДМС) і деструктивні (ПТФЕ, ФЕП). Зшивання

змінює мобільність полімерних ланцюгів, що впливає на процеси адгезії і росту клітин на поверхні. ВУФ-обробка призводить до істотного зниження процесів активації тромбоцитів на поверхні (утворення псевдоподібних, агрегація) але й до значного зменшення загального числа адгезуючих клітин [99].

Створення багатофункціональних синтетичних біоматеріалів нового покоління, очевидно, передбачає розвиток і застосування в цій галузі новітніх фізичних методів дослідження і модифікування поверхні. ВУФ-модифікування дозволяє цілеспрямовано і в широких межах змінювати хімічний склад, структуру і морфологію полімерів. Подальший розвиток цієї технології у поєднанні з топографічними методами модифікування, такими як атомно-силова мікроскопія, електронна та фото- літографія відкриває нові можливості створення багатошарових, багатокомпонентних і морфологічно заданих біоматеріалів, застосування яких дозволить піднятися на новий щабель, як в біотехнології, так і в медичній практиці.

3.4.9 УФ-лікування туберкульозу легенів

Туберкульоз відноситься до числа так званих соціальних хвороб [101], виникнення яких пов'язане з умовами життя населення.

Серйозною проблемою в лікуванні туберкульозу є розвиток стійкості збудника даного захворювання до антимікробних засобів – резистентність. У ряді випадків резистентність розвивається відразу до двох і більше антимікробних препаратів (множинна стійкість), що значною мірою ускладнює лікування. З цієї причини в Україні до 20 % пацієнтів з вперше виявленим туберкульозом легень не виліковуються і переходять у категорію хронічних хворих.

Тривала антибактеріальна терапія при лікуванні туберкульозу веде до зростання побічних явищ – дисбактеріозу, алергічних реакцій, грибкового ураження [102]. Для вирішення даних проблем, а також з метою підвищення ефективності комплексної терапії хворих на туберкульоз активно розробляють

немедикоментозні патогенетичні способи лікування, зокрема методики застосування низькоінтенсивних лазерів.

Отримано експериментальні та клінічні дані про високу ефективність УФ-випромінювання в лікуванні хронічних запальних процесів внутрішніх органів, у тому числі специфічної етіології [102]. Відзначено, що УФ-випромінювання має виражену бактерицидну і бактеріостатичну дію на мікобактерію туберкульозу і на широкий спектр інших мікроорганізмів.

У ході проведених досліджень [79] було встановлено, що спектральний пік бактерицидної дії УФ-випромінювання знаходиться в області 260 нм. УФ-випромінювання здійснюється по оптоволокну, яке проводиться через інструментальний канал бронхоскоп. Важливою перевагою такого методу є можливість візуального контролю виконуваної процедури, прицільний вибір зон для опромінення, можливість динамічного спостереження.

Аналіз клінічних, ендоскопічних і бактеріологічних досліджень показав, що ендобронхіальне ультрафіолетове опромінення в поєднанні з антибактеріальною терапією туберкульозу, дозволяє достовірно скоротити терміни лікування і знизити частоту висівання бронхопатогенів. При цьому передбачається можливість використовувати як окремі довжини хвиль, так і їх комбінації, що дозволяє вибирати найбільш оптимальний режим опромінення для кожного конкретного виду захворювань.

Вплив комбінованого випромінювання на вогнище гнійно-запального процесу в м'яких тканинах викликає пригнічення росту патогенної мікрофлори і одночасну стимуляцію репаративних процесів тканин, що актуально для ендокавітарного лікування деструктивних форм туберкульозу легенів [103].

3.4.10 Полімеризація матеріалів у стоматології

Полімеризація – взаємодія молекул мономерів з утворенням високомолекулярних полімерних молекул, не супроводжується виділенням побічних низькомолекулярних продуктів.

Полімеризація композитних матеріалів може ініціюватися наступними способами:

- тепловою реакцією (нагріванням);
- хімічною реакцією;
- фотохімічною реакцією.

Ініціацію нагріванням у даний час у терапевтичній стоматології практично не застосовують через незручності і наявність інших, більш простих методик [104]. Виняток становлять випадки, коли проводять відновлення зубів, що виготовлені вкладками або винирами (адгезивне облицювання), які додатково піддаються впливу температури для збільшення ступеня полімеризації композиту, що сприяє підвищенню його міцності.

Хімічно активні композити – двокомпонентні системи («паста-паста»; «порошок-рідина») [105]. Один компонент містить хімічний активатор, інший – хімічний ініціатор полімеризації. При змішуванні цих компонентів утворюються вільні радикали, що сприяють реакції полімеризації. Недоліком композитів хімічного затвердіння є те, що полімеризація починається відразу після змішування компонентів, у результаті змінюється в'язкість матеріалу в процесі пломбування.

Незважаючи на доступність і простоту застосування композитів хімічного затвердіння, останнім часом більшість стоматологів відмовляються від використання цих матеріалів, віддаючи перевагу фотополімерним композитам [104].

Композити (фотополімери) – важливий і суттєвий успіх стоматології, що представляють однорідні системи. Механізм полімеризації їх такий, як і матеріалів хімічного затвердіння, тільки активація полімеризації здійснюється не хімічним активатором, а фотонною (світловою) енергією. У 1970 році були впроваджені матеріали, що активуються ультрафіолетовими променями (УФП), а в 1977 році – видимим світлом галогенної лампи (блакитна частина спектра).

Технологічна революція, яка відбувається у вітчизняній стоматології в останні 10 років, після зняття економічних та інформаційних бар'єрів, дала

можливість придбання та використання будь-яких матеріалів, приладів, пристроїв та обладнання, що випускаються в світі.

Динамічно впроваджують фотополімерні матеріали, що відкривають величезні можливості в пломбуванні, естетичної реставрації та реконструкції, герметизації фісур зубів.

Фотополімерні матеріали у вигляді пасти, яка готова для заповнення порожнин і формування контурів зубів, зручні в роботі, при цьому в наборі декілька кольорних відтінків різної прозорості [104].

До складу пасти входить ініціатор затвердіння – камфарохінон, який під впливом потужного потоку променів синьої частини спектра в діапазоні 400-500 нм розпадається на радикали, які ініціюють процес полімеризації і затвердіння матеріалу.

В якості джерел синього світла застосовують спеціальні прилади – фотополімерні лампи, або фотополімеризатори (ФП), основними вузлами яких є низьковольтне джерело електроживлення, спеціальна електрична лампочка розжарювання з рефлектором, оптичний смуговий фільтр, система охолодження і світловод.

У спектрі випромінювання лампочки розжарювання ФП, також присутнє невидиме короткохвильове ультрафіолетове випромінювання (з довжиною хвилі менше ніж 400 нм) і довгохвильове інфрачервоне випромінювання (з довжиною хвилі більше ніж 760 нм), що несе теплову енергію [80].

Успішна робота ФП залежить від якості смугового світлофільтру, головне призначення якого – пропустити в світловод тільки синю частину спектру в діапазоні 400-500 нм, і відсікти ультрафіолетове випромінювання [79].

Аналіз спектрів випромінювання ФП найбільших світових виробників показує, що для забезпечення максимальної потужності світла в діапазоні 400-500 нм спектри розширені і захоплюють область ультрафіолетового випромінювання від 360 до 400 нм. Поряд зі шкідливим синім, в спектрі випромінювання ФП присутнє небезпечне для зору ультрафіолетове випромінювання.

Саме короткохвильова частина видимого світла і ближня до неї ультрафіолетова область, володіють найбільшим ефектом ушкодження, у той час, як зелене світло практично не викликає фотопошкодження очей. Так, ймовірність фотохімічних пошкоджень сітківки синім світлом з довжиною хвилі 440 нм в 10 разів вище, ніж голубим з довжиною хвилі 500 нм, і в 100 разів вище, ніж помаранчевим світлом з довжиною хвилі 600 нм, при однаковій інтенсивності дії. У зарубіжній літературі це явище отримало найменування «синя небезпека» (Blue light hazard) [106].

3.5 УФ-технології в агропромисловому комплексі

Застосування УФ-технологій у рослинництві останнім часом привертає велику увагу як практичних працівників сільського господарства, так і численних дослідників [48, 107-109]. Найбільший інтерес викликають застосування УФ-технологій для знезараження продуктів рослинництва – зерна, плодів і овочів з метою скорочення втрат при їх зберіганні, а так само стимулювання зростання та підвищення стійкості рослин до зовнішніх чинників для збільшення врожайності сільськогосподарських культур.

Різні довжини хвиль і різні дози можуть викликати різний вплив, відповідно. УФ-випромінювання з довжиною хвилі 330-340 нм з діапазону УФ-А не має яскраво вираженої радикальної дії на нуклеїнові кислоти. УФ-В (280-315 нм) радіація є одним з сильних стресових факторів навколишнього середовища [107, 109]. Під її впливом відбуваються значні зміни в морфо-фізіологічних характеристиках рослин. Наприклад, у пшениці сповільнювався лінійний ріст стебла, зменшувалося число колосonosних пагонів [108], а у паростків картоплі – знижувалася висота стебла і площа листя.

З іншого боку, УФ-випромінювання з довжиною хвилі 220-280 нм в області С, як правило, робить позитивний вплив, що в першу чергу пов'язано з його бактерицидними властивостями, впливом на властивості мембран і на

протікання біохімічних реакцій. Тому УФ-випромінювання в області С намагаються застосувати для обробки зерна та іншої продукції перед зберіганням. Обробка насіння і рослин бактерицидним УФ-випромінюванням може знезаразити їх і підвищити стресостійкість [107] внаслідок збільшення концентрації антиоксидантів.

3.5.1 УФ-опромінення посівного матеріалу

Застосування бактерицидного УФ-випромінювання для обробки зерна і насіння останнім часом привертає все більшу увагу дослідників і фахівців [48]. Найбільший інтерес викликає використання УФ-технологій для знезараження продуктів рослинництва – зерна і насіння пшениці, ячменю, рису, кукурудзи та ін. злаків.

У світі, незважаючи на збільшення обсягів застосування хімічних пестицидів, при вирощуванні та зберіганні зернових від хвороб і шкідників втрачається до 50 % врожаю. Аналіз причин втрат врожаю показує, що на врожайність пшениці значно впливають фітопатогенні бактерії, поширення яких на зернові та їх посіви досягло загрозливих масштабів і доходить до 100 %.

І хоча основні шкідники комор запасів – комахи і грибні хвороби досить добре вивчені й описані в літературі, відомо багато способів боротьби з ними, але при зберіганні, наприклад, дезінфекція зерносховищ, фумігація зерна і сховищ фосфіном, хімічні приманки та ін., боротьба за зменшення втрат зерна при зберіганні ведеться з перемінним успіхом. Вплив бактеріозів на збереження і зміну якості зерна при зберіганні мало вивчена. Незважаючи на те, що пшениця уражається фітопатогенними бактеріями в багатьох країнах світу, інформація про них мізерна. У той же час виявлено чимало фактів зниження якості зерна, ураженого фітопатогенними бактеріями, вираженого в зменшенні вмісту клейковини, крохмалю, активізації гідролітичних ферментів. Вихід в число домінуючих хвороб, збудниками яких є види грибів і фітопатогенних

бактерій, що успішно розвиваються на вегетативних рослинах, так і впливають на якість зберігання зерна, роблять хімічну боротьбу з ними малоефективною і витратною. Однак, досі не запропоновано високоефективних і економічно вигідних способів боротьби з бактеріальними хворобами зерна, як в агробіоценозах, так і в процесі його зберігання та переробки.

Методи дезінфекції, засновані на застосуванні хімічних дезінфікуючих реагентів (сильних окислювачів – гіпохлориту натрію, озону та ін.), і радіаційні методи стерилізації, що використовують різні іонізуючі випромінювання (рентгенівське, гамма-випромінювання), стосовно зерна (продукт харчування) не можуть розглядатися як повністю задовільні, оскільки небезпечні в екологічному відношенні і, крім того, можуть призводити до істотної і небажаної зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей оброблюваних об'єктів.

Ефективним напрямком вирішення даної проблеми може бути використання бактерицидного УФ-випромінювання. УФ-випромінювання добре поглинається практично всіма твердими речовинами – характерні пробіги УФ-фотонів у твердих конденсованих середовищах становлять від часток мікрона до декількох мікрон. Тому при УФ-опроміненні твердої частинки опромінюється тільки її найтонший поверхневий шар, основна ж маса речовини не піддається ніякому впливу і, відповідно, не змінює свої біохімічні властивості.

При обробці УФ-випромінюванням зерна і насіння потрібно перемішування [48], щоб поверхня кожної зернини була доступною для УФ-променів, що досягається застосуванням сучасних вібраційних або ротаційних апаратів, сепараторів та ін. За даними японських дослідників, при УФ-зnezараженні зерна пшениці в ротаційному апараті при дозі 84 мДж/см² відбувається його зnezараження на 90 % від цвілі і бактерій [110], що співпадає з відомими дозами для зnezараження такої плісені як *Aspergillus* – 88 мДж/см², і Пеницилл золотистий – 56 мДж/см².

У патенті США [111] запропоновано пристрій для УФ-зnezараження зерна (конвеєр з металевої сітки, що проходить через УФ-тунель, в якому відбувається УФ-зnezараження). Дози, які забезпечує цей пристрій, складають від 50 до 150 мДж/см², при цьому досягається більш ніж 90 % зnezараження зерна. Всі автори відзначають відсутність впливу УФ-зnezараження зерна на його споживчі властивості, включаючи схожість.

Однак, незважаючи на позитивні результати досліджень, промислового застосування технології УФ-зnezараження зерна при його зберіганні на сьогодні не знайшли, хоча дослідження в цій області продовжують [48].

3.5.2 УФ-опромінення овочів і фруктів

Існує велика кількість мікроорганізмів, що викликають гниття врожаю овочів і фруктів. Деякі з них присутні на здорових плодах у процесі росту, а проявляють себе після збору врожаю (*lato* infection*). Інші найбільш активно розвиваються на пошкодженнях плодів, що утворюються в результаті збору, зберігання і транспортування врожаю. На прикладах яблук і слив наведено характерні хвороби, що призводять до втрат в 5-25 % урожаю в процесі зберігання [48].

У більшості робіт УФ-С застосовують для обробки свіжозібраного врожаю, і досліджують властивості плодів у процесі подальшого зберігання в період від декількох діб до місяця при кімнатній або зниженій температурі. На підставі різниці в термінах зберігання опромінених і неопромінених плодів і овочів робився висновок про ефективність застосування УФ-опромінення.

Прямих вимірювань впливу УФ-випромінення на забрудненість плодів і овочів на відміну від зерна не проводили. Як правило, дози опромінення плодів і овочів були набагато вищі ніж дози для зnezараження від всіх бактерій і вірусів і відповідали величинам доз інактивації на 99,9 % таких стійких до дії УФ-випромінювання мікроорганізмів, як вірус тютюнової мозаїки (400 мДж/см²) і *Aspergillus Nigер* (330 мДж/см²).

За результатами більшості досліджень можна зробити висновок, що основним ефектом позитивної дії УФ-С на продукти є не дезінфекція, а посилення опірності організму (плода або ягоди). Ще один нетривіальний висновок, який можна зробити з цих результатів – всі досліджені плоди витримують дуже великі дози без видимого погіршення властивостей. Зокрема, стверджується [48], що випромінювання в УФ-С діапазоні викликає стрес, який стимулює утворення фенілаланін амоній-ліази, ензиму, що грає важливу роль у синтезі фітоалексинів, фенольних сполук, що підсилюють опірність овочів і фруктів до мікроорганізмів. Крім того виявлено, що при опроміненні УФ-С падає активність полігалактуранази, ензиму, що руйнує міжклітинний простір тканин і приводить до їх розм'якшення. Проте, розібратися в детальному механізмі впливу УФ-С випромінювання поки складно.

Вплив УФ-випромінювання на картоплю було досліджено співробітниками Всеросійського науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіології та агроєкології (м. Обнінськ) в насінницькому картопляному господарстві ТОВ «Клон-Агро» Жуковського району Калузької області [112]. Проводили УФ-опромінення бульб картоплі різних сортів перед посадкою і закладанням на зимове зберігання. Результати польових випробувань УФ-установки і технології показали, що надбавка врожаю за всіма вивченими сортами (11 сортів) склала від 10 до 40 %. Установлено також зниження (до 25 %) ступеня ураження бульб картоплі вірусними і грибковими захворюваннями. У випробуваннях повністю виключали присутність хімічних реагентів для обробки бульб. Інтенсивність опромінення картоплі в такій установці дорівнювала 10-15 мВт/см². При заявленому часі опромінення 145 с УФ-доза, за оцінками, складала 1,5-2 Дж/см². За оцінками авторів [112], технологія УФ-обробки картоплі є економічно ефективною.

3.5.3 Бактерицидне знезараження зерна УФ-опроміненням

Знезараження насіння перед посівом, так зване протруювання, є обов'язковою технологічною стадією підготовки насіння. Це пов'язано з досить великою ймовірністю зараженості насіннєвого зерна різними грибами [48].

Крім знезараження ще одним важливим фактором збільшення врожайності зернових культур є підвищення їх стресостійкості з використанням хімічних, фізичних і генетичних методів. Слід відмітити, що тривала обробка насіння сильними окислювачами, такими як озон у великих концентраціях (більше 1 г/м³ і тривалістю обробки 30 хв і більше), перекис водню (водний розчин пероксиду водню з концентрацією порядку 1 % протягом 20 годин), призводить до суттєвого збільшення врожайності – 10-20 %. Застосування цих технологій представляє складну і економічно затратну задачу. Взагалі, важко або неможливо розділити знезаражувальний вплив і стресостійкість [107].

Обробка насіння і рослин УФ-випромінюванням в області С також не тільки знезаражує насіння, а й підвищує стресостійкість, а отже і середньорічну врожайність [107, 112]. Обробка передпосівного матеріалу бактерицидним УФ-випромінюванням дозволяє отримати знезараження насіння, а також підвищити продуктивність культур, скоротити втрати при зберіганні, звести до мінімуму використання пестицидів. Результати лабораторних досліджень схожості насіння пшениці після обробки ультрафіолетовим випромінюванням із різним спектральним складом [113]. В якості джерела випромінювання використовували ксенонові лампи ДКсТВ 6000 в поєднанні зі змінними фільтрами для виділення випромінювання з довжиною хвиль 248, 280, 302, 313, 334 і 365 нм. Насіння озимої пшениці «Зерноградка-9» по 100 шт. обробляли випромінюванням з довжиною хвилі 248, 280, 302, 313, 334 і 365 нм при наступних значеннях дози: 24; 48; 72; 96; 120 Дж/м². Були виявлені оптимальний діапазон довжин хвиль, а також відносний рівень експозиції, при яких максимально стимулюються процеси росту озимої пшениці. Після обробки зерна і насіння УФ-випромінюванням зростає енергія проростання і

польова схожість насіння [113], а також підвищується врожайність [112, 114, 115] і стресостійкість [107, 112].

В Інституті лісу НАН Білорусії (м. Гомель) розроблена система передпосівної обробки сільськогосподарського і лісового насіння УФ-випромінюванням і композиційним полімерним складом «Полігумін». Стверджується, що обробка насіння ультрафіолетовим випромінюванням стимулює фізіологічну активність зародка, підвищуючи його енергію, і не надає негативної дії на спадкову систему. У насіння, що опромінене УФ-випромінюванням, енергія проростання вище на 20-30 %, а схожість на 15-25 % порівняно з неопроміненим.

Передпосівна обробка УФ- та ІЧ-випромінюванням підвищує врожайність пшениці, а також дозволяє зменшити споживання електроенергії при обробці насіння [114, 115].

Компанія «СТС» (Україна, м. Біла Церква) спеціалізується на випуску установок термопроменевої обробки зернових і бобових культур «СОЯР-0,3». В установці використовують джерела інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання, тому відбувається як нагрів, так і обробка УФ-випромінюванням. Стверджують, що насіння досить чутливе до дози УФ- або ІЧ-опромінення, при малій дозі можна не отримати стимулюючого ефекту, при надмірній – спостерігається пригнічення рослини. При правильному виборі дози та режиму УФ- і ІЧ-опромінення врожайність зернових підвищується на 10 % і більше. УФ-, ІЧ-опромінення насіння забезпечує більш ранні на 2-3 дні сходи.

Передпосівне опромінення насіння УФ-випромінюванням може підвищити стресостійкість, оскільки відбувається вплив на рівень пероксидази [116]. Попереднє УФ-опромінення насіння пшениці провокує в них протікання вільно-радикальних процесів, що призводить до зростання вмісту антиоксидантів в 2-3 рази, особливо це проявляється після 1-5 хв УФ-опромінення. Для підвищення схожості насіння можна запропонувати метод використання УФ-опромінення і низьких концентрацій антиоксидантів, у

передпосівній обробці насіння пшениці. При обробці насіння високими концентраціями антиоксидантів спостерігається зниження схожості насіння, за рахунок, ймовірно, інгібування перекисного окислення ліпідів, що проявляється у поглибленні їх спокою. Тоді, як при дії малих доз УФ-випромінювання і низьких концентрацій антиоксидантів, спостерігали ефекти активування процесів вільно радикального окислення в насінні, яке проростає.

УФ-випромінювання може активувати зерно і при несприятливих зовнішніх впливах. Наприклад, зерно часто обробляють етанолом. Встановлено, що високі концентрації етанолу знижують схожість пшениці [116], тоді як малі дози УФ-опромінення можуть підвищувати їх схожість. УФ-опромінення зернових після замочування в різних розчинах етанолу підвищує їх схожість, причому це особливо проявляється при тривалому, протягом 60 хв УФ-опроміненні.

Практично у всіх країнах з розвиненим сільським господарством проводять дослідження щодо застосування УФ-випромінювання для обробки зерна і насіння з метою зменшення втрат при зберіганні, підвищенні якості зерна та збільшенні врожайності при скороченні хімічного впливу на зерно і насіння. Слід зазначити, що ці дослідження знаходяться на початковому етапі.

3.5.4 УФ-опромінення рослин в умовах закритого ґрунту (в теплицях)

У ряді робіт стверджують про наявність позитивного ефекту при УФ-опроміненні рослин в процесі їх росту [117, 118]. УФ-опромінення ярої пшениці протягом вегетації збільшує врожайність у порівнянні з неопроміненою не менше, ніж на 20 %. У пшениці другого покоління відзначена така ж надбавка до урожаю, як і у материнських рослин, але без УФ-опромінення [118].

Прикладом комерційного застосування УФ-С опромінення рослин у процесі росту як в теплицях (помідори, огірки, перець та ін.), так і на відкритих полях (картопля, пшениця, цибуля та ін.) з метою дезінфекції бактерій і грибків

на поверхні листя є роботи компанії «Clean light» [48]. Опромінення рослин у теплицях проводять за допомогою візків з лампами, що пересуваються вздовж теплиці по нагрівальним трубах як по рейках. Візки виготовляють у ручному та автоматичному виконанні. Ручний візок складається з 4 ламп по 75 Вт, акумуляторної батареї і контрольного боксу. При включенні він рухається уздовж нагрівальних труб зі швидкістю 5-10 м/хв до кінця і назад. Стверджується, що така обробка надає тільки дезінфікуючу дію, тому її потрібно повторювати з частотою 2-3 рази на тиждень. За один прохід візки листя рослин отримують дозу 5-10 мДж/см².

Компанія «Swiss Food Tech Management, Inc.» [48], просуває технологію «Phyt03» як альтернативу пестицидам. В основі технології «Phyt03» лежить розпорошення над посадками озонованої води з одночасним опроміненням аерозолі інтенсивним УФ-С. Опис технології і результати випробувань в Іспанії в 2003-2005 рр. наведені в статті [119], викладеній на сайті компанії. В патенті [120] з описом обладнання та технології, стверджують, що рослини здатні виробляти «систематичну придбану опірність».

Пропонована в цих апаратах технологія обробки рослин представляє досить складну задачу (зарядка водного аерозолі електричними розрядами, насичення його озоном, розпорошення на рослини з наступним УФ-опроміненням). За даними авторів, в Іспанії в 2003-2005 рр. урожай різних культур з ділянок, оброблених «Phyt03», був значно кращої якості, ніж з контрольних площ, і не мав пошкоджень від інфекцій і комах.

Застосування УФ-випромінювання в сільському господарстві та біології рослин, дійсно свідчить про позитивний вплив бактерицидного УФ-випромінювання на проростання, схожість, стресостійкість за певних умов обробки при визначенні УФ-доз.

Однак, на наш погляд, потрібні серйозні комплексні біологічні дослідження для конкретного технологічного процесу, перш за все в аспекті безпеки продуктів, що одержані з використанням УФ-технологій. Слід визнати, що в даний час використання інших технологій обробки насіння і рослин

(хімічні методи: фумігація, озонування, протруювання і т.п.) не відрізняється високими екологічними властивостями.

3.5.5 Ультрафіолетове опромінення тварин і птиці

Про позитивний вплив сонячного світла на живий організм було відомо дуже давно [79]. Ультрафіолетове опромінення нині широко застосовують в медицині як для лікування, так і з метою профілактики багатьох хвороб [81]. У тваринництві цей метод використовують з метою прискорення росту і розвитку молодняка сільськогосподарських тварин і птиці, зміцнення їх здоров'я і зниження загибелі під час вирощування. Дуже корисне ультрафіолетове опромінення для дорослих тварин і птиці в осінньо-зимовий період та при різних захворюваннях із порушенням мінерального обміну.

За останні роки ультрафіолетове опромінення почали застосовувати не лише для лікування сільськогосподарських тварин і птиці, але й з метою профілактики захворювань [121].

При профілактичному опроміненні тварин посилюється діяльність кровотворних органів, зростає кількість еритроцитів і вміст гемоглобіну у крові та підвищуються її імунобіологічні властивості [80].

Особливого значення при опроміненні набуває фотохімічне утворення у шкірі вітаміну D, який необхідний як молодняку, так і дорослим тваринам для нормалізації кальцієвого, фосфорного і білкового обміну [121]. При цьому посилюється виділення травних соків, поліпшується апетит, підвищується моторика шлунково-кишкового тракту.

УФ-випромінювання, що досягає поверхні землі, займає частину сонячного спектра з довжиною хвилі від 290 до 380 нм. Природне випромінювання значно більше навесні та влітку, а взимку навіть вдень ультрафіолетове випромінювання майже цілком поглинається атмосферою [79].

Недостатність природного ультрафіолетового випромінювання для тварин до деякої міри може бути компенсована кормовими джерелами вітаміну

D (риб'ячий жир, опромінені дріжджі та препарат вітаміну D). Ультрафіолетове ж опромінення не тільки дає можливість повністю забезпечити потреби організму тварин у вітаміні D, але й виявляє стимулюючий вплив на ріст молодняка і продуктивність дорослих тварин, а також сприяє прискоренню видужання хворих тварин і птиці [48].

3.5.6 Фототаксис

Фототаксис – рух біологічних об'єктів до джерела світла (фототаксис позитивний) або від нього (фототаксис негативний). Явище фототаксису притаманне різноманітним представникам тваринного та рослинного світу: найпростішим, бактеріям, водоростям, комахам, грибам [80].

Найбільш збуджуючу дію на комах має УФ-випромінення в діапазоні довжини хвиль 290-380 нм та видиме – в діапазоні 465-515 [80]. Найбільш приваблюючий ефект для більшості видів риб спричиняє синьо-зелена область спектру (з максимум близько 500 нм). Остання за допомогою потужних металогалогенних ламп, у розряді яких містяться добавки йодидів талія та індію, широко застосовують в океанських і морських рибних промислах, та з не меншим успіхом можна використовувати під час планових виловів риби в озерах, ставках та водосховищах.

Фототаксис використовують для знищення таких комах, як мухи, мошка, оси, оводи тощо, яких приваблює атмосфера тваринницьких приміщень і які докучають тваринам, кусають їх, п'ють із них кров, тобто заважають нормальному існуванню та розвитку тварин, а також є переносниками хвороб.

«Комахоловки» для тваринницьких приміщень мають таку конструкцію: по осі пристрою закріплюється УФ-лампа [80]. На стійці з ізоляційного матеріалу, навколо лампи, на однаковій відстані (5-6 мм) розташовують витки двох спіралей, тобто так, що сусіднім кожного витка спіралі є виток другої спіралі. Зовні пристрій оточено решіткою, яка забезпечує захист людини від

випадкового доторкання до спіралей, на які подається напруга, але через яку вільно можуть пролітати найбільші з очікуваних комах.

У нижній частині пристрою розміщують баласт і стартер для живлення лампи, а також конденсаторне коло дворазового подвоєння напруги або підвищуючий трансформатор (з коефіцієнтом 4:1), завдяки чому під час функціонування «комахоловки» між сусідніми витками спіралей підтримується напруга більша, ніж 800 В.

Приваблені випроміненим світлом комахи прямують до його джерела крізь витки спіралей, торкнувшись яких гинуть, падають униз і потрапляють до посудини для збирання мертвих комах, розташованої під блоком живлення пристрою.

Слід зазначити, що подібні «комахоловки», але у вишуканому зовнішньому дизайні, з лампою меншої потужності і з меншими відстанями між витками спіралей, використовують для зменшення кількості комах в місцях масового перебування людей у вечірній та нічний час.

3.6 УФ-технології в переробній, харчовій промисловості та в торгівлі

Ультрафіолетове бактерицидне випромінювання широко використовують за кордоном на підприємствах харчової промисловості (цехах м'ясної, рибної, молочної, хлібопекарської, пивоварної, плодоовочевої та інших видів продукції, продовольчих базах, складах, сховищах і т.п.) для знезараження повітря [122] і поверхонь [123] з метою забезпечення виконання гігієнічних вимог до якості та безпеки продовольчої сировини і харчових продуктів.

1. Продукти харчування й напої

Основний напрямок використання УФ-випромінювання в харчовій промисловості і галузі напоїв – це дезінфекція повітря [124] на виробничих площах для запобігання забруднення продукції повітряно-крапельними мікроорганізмами. У деяких випадках може опромінюватись безпосередньо

продукція, наприклад, деякі рідини, упаковка і деякі продовольчі товари. Але в більшості випадків, пряме опромінення вторинне по відношенню до повітряної дезінфекції.

Харчова промисловість і галузі виробництва алкогольних напоїв представляють собою одну з найбільших областей застосування бактерицидного УФ-випромінювання в даний час. Наприклад, на хлібозаводі УФ-лампи використовують для опромінення хлібобулочних виробів з максимальною інтенсивністю, що запобігає утворенню цвілі, яка інакше могла б потрапляти з повітряного середовища до упаковки або під час охолодження після випічки. Ризик забруднення виникає не тільки в процесі виробництва харчових продуктів, а й на різних стадіях їх послідовної упаковки, зберігання і реалізації. Бактерицидне УФ-випромінювання здатне захистити від забруднення поверхневими і повітряно-крапельними мікроорганізмами, які неможливо знищити іншим способом. Цей захист може бути забезпечений на всіх етапах обробки продуктів на шляху до споживача при відносно малих витратах. Результати використання УФ-дезінфекції можуть створити враження, що вона може повністю замінити інші гігієнічні заходи і дозволити знехтувати звичайними заходами захисту. Це не так. Істинне призначення УФ-джерел – забезпечення додаткової чистоти у тих випадках, де існуючі методи не забезпечують повний захист.

2. Зберігання м'яса і м'ясопродуктів

З усіх продовольчих товарів м'ясо – найбільш важкий продукт для зберігання в безбактеріальному середовищі. Охолодження м'яса тільки сповільнює ріст бактерій, у той час як УФ-випромінювання руйнує мікроорганізми. Число необхідних ламп визначають різними факторами, такими, як число годин використання ламп у день, розмір приміщення і т.д. Стандартом у даній сфері є використання УФ-ламп, типу TUV потужністю 15 і 30 Вт. Невеликий розмір цих ламп дозволяє випромінюванню розподілятися більш рівномірно, ніж при використанні ламп з більш високою споживаною потужністю. Крім того, використання більшої кількості менших за розміром

ламп дозволяє забезпечити більш рівномірний рівень бактерицидного опромінення в приміщенні.

3. Пекарні

Головне джерело забруднення у виробництві хліба та подібних продуктів – присутність цвілі грибків [125] на ранніх етапах виробництва або в процесі зберігання [126, 127], що потребує додаткових затрат на інактивацію бактерій [128].

Автоматичні лінії – звичайна проблема для пекарень, де тісто знаходиться у контакті з поверхнями конвеєрної стрічки, і стикається з конвеєром, забезпечуючи відповідне середовище для росту спор цвілі грибків.

Повітря в пекарнях зазвичай містить велику концентрацію мікроорганізмів, які не шкідливі для персоналу, але можуть призвести до псування продукції. Таким чином, коли хліб, зазвичай на стелажах, залишається у вентильованому приміщенні для охолодження, створюються сприятливі умови для розмноження цвілі грибків.

4. Пивоварні заводи, виноробство і інші галузі виробництва спиртних напоїв.

У процесі дозрівання сусло (рідина, з якої робиться пиво, і т. д., продукт ферментації з дріжджами) є чудовим середовищем для зростання багатьох інших організмів, крім дріжджів, які використовує пивовар. Бактерії, цвіль грибки й інші різновиди дріжджів («дикі» дріжджі) здатні вільно розмножуватися в суслі. Надалі вони будуть взаємодіяти з нормальним типом ферментів, якщо їм дозволити розвиватися. Лампи, типу TUV можуть забезпечити безперервну дезактивацію будь-яких повітряно-крапельних мікроорганізмів. Постійне опромінення стін приміщень ефективно запобігає зростанню цвілі грибків, і т.д., які могли б розростатися в умовах вологості.

УФ-випромінювання не впливає на дріжджі, які викликають необхідну ферментацію, оскільки суміш захищена товстим шаром піни, що виникає під час ферментації.

Пляшки, кришки і обладнання для закрутки можна зробити фактично стерильними, піддаючи пляшки, і т.д. УФ-опроміненню високої інтенсивності до і під час процесу герметизації та заповнення. Це, звичайно, досягається УФ-лампами безпосередньої дії над конвеєром. Лампи звичайно охоплюють машини мийки, заповнення та нанесення кришок, таким чином, захищаючи продукцію. Кришки також можуть бути захищені від забруднення.

Баки зберігання і чани, сиропи, цукор, харчові масла, ароматизовані екстракти та фруктові соки псуються при зберіганні під впливом бактерій, цвілі, грибків і дріжджів. Це викликає піну, небажану ферментацію, яка виникає на поверхні шаром у кілька сантиметрів і на внутрішній поверхні бака. Засобом захисту є опромінення повітряного простору та поверхні рідини за допомогою TUV ламп, встановлених всередині ємностей. Одна TUV лампа потужністю 15 Вт зазвичай розрахована на 2,5 м² бака. Лампи встановлюють не вище, ніж 2 метри від поверхні рідини. Лампи зазвичай встановлюють на внутрішню поверхню кришки і підключають таким чином, щоб вони автоматично вимикалися при її відкритті. Для цього використовують вологонепроникні лампові патрони, але повне занурення ламп у рідину все ж неприпустимо.

5. Молокозаводи

Варіанти застосування дезінфекції УФ-лампами в молочній промисловості численні [128], але багато в чому схожі з принципами та методами, вже описаними для пивоварної промисловості. Вони пов'язані з проблемами зберігання продукції в пляшках, процесом упаковки та дезінфекції обладнання, що знаходяться в контакті з молоком, а також дезінфекції пляшок і картонних коробок перед їх заповненням.

У виробництві морозива та сиру використовують приміщення з високими стелями і УФ-лампи повинні бути розміщені на них, безпосередньо опромінюючи приміщення рефлекторами. Якщо ж стелі низькі, опромінювальні рефлектори розміщують на стінах. Таке розташування дозволяє звести число бактерій до мінімуму. Також, в даному випадку, лампи встановлюють навколо

або над конвеєрними стрічками, або безпосередньо над областю заповнення та упаковки продукції. Пряме опромінення молока, вершків або сиру повинно зводитися до мінімуму, так як це може вплинути на смак продукції.

«Дозрівання» сиру відбувається під впливом бактерій, що містяться в сирі. Цей процес можна регулювати, змінюючи температуру навколишнього повітря і вологість. У свіжих сирах і під час зберігання створюють сприятливі умови для розмноження цих бактерій. Таким чином, необхідно утримувати зростання цвілі грибків на сирах під час зберігання. Це може бути досягнуто використанням УФ-ламп. УФ-випромінювання з низькою інтенсивністю застосовують протягом тривалого часу, і воно має такий же ефект щодо зниження чисельності мікроорганізмів, як і випромінювання з високою інтенсивністю протягом короткого періоду. Отже, при використанні безперервного випромінювання потрібна низька інтенсивність УФВ для зниження зростання цвілі грибків, що одночасно дозволяє не впливати на смакові якості продукції.

6. Кухні

Бактерицидні УФ-лампи розміщують на кухнях для забезпечення високого ступеня гігієни. Цей спосіб застосування використовують зазвичай для опромінення верхніх шарів повітря, але пряме опромінення також можливе, включаючи використання ультрафіолету в холодильниках. Зелені овочі, також як і фрукти, не повинні піддаватися прямому УФ-випромінюванню, вони повинні бути закриті, щоб уникнути зміни кольору. Захистом для них може послужити навіть прозоре скло. Якщо піддати продукти, що містять масло або жир опроміненню високої інтенсивності, то це може пошкодити їх смакові якості. Для невеликих продовольчих магазинів і холодильників бажано використовувати лампи потужністю 6 Вт. У разі необхідності слід використовувати екрани для захисту ламп від роботи при дуже низьких температурах, так як це призводить до зниження їх ефективності та терміну служби.

РОЗДІЛ 4. ДЖЕРЕЛА УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬ У СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

4.1. Способи генерування УФ-випромінювання

Ультрафіолетове випромінювання (випромінення) займає діапазон між видимим та рентгенівським випромінюваннями, тобто між 1 та 400 нм. УФ-випромінювання є частиною діапазону так званого оптичного випромінювання [1], до якого разом з ним належать видиме від 380 (400) до 760 (780) нм та інфрачервоне від 760 (780) нм до 1 мм.

Кванти УФ-випромінення мають більшу енергію ε завдяки більшій частоті ν електромагнітних коливань, ніж кванти видимого випромінювання ($\varepsilon = h\nu$, де $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка), УФ-випромінення краще ніж видиме, проявляє себе в тих явищах, які мають квантовий характер – фотоелектричний ефект (зовнішній та внутрішній), фотохімічні та фотобіологічні процеси [2], при чому в останніх дія УФ-випромінення на організми людей та тварин може бути як корисною так і пагубною [3].

З іншого боку УФ-випромінення проявляє себе краще, ніж рентгенівське (через порівняно малу довжину хвилі останнього) в тих явищах, які мають суто хвильовий характер – дисперсія (залежність швидкості розповсюдження випромінення від оптичної густини середовища, тобто – від її коефіцієнта заломлення) та дифракція (посилення або послаблення інтенсивності електромагнітних коливань (інтерференція) після проходження отворів або огинання перешкод малих розмірів, або проходження через систему чергування отворів – перешкод (дифракційна решітка), що дозволяє розкласти УФ-випромінення в спектри за довжинами хвиль, і завдяки цьому, вимірювати інтенсивність (спектральну) на кожній окремій довжині хвилі, визначати так звані спектри дії УФ-випромінень та їхні спектральні ефективності в тих чи інших явищах (процесах).

Завдяки хвильовим властивостям УФ-випромінень існує (і реалізується) можливість створення спеціальних приладів – УФ-спектрорадіометрів, у яких випромінення розкладаються в спектри за допомогою призми з кварцового скла (яке достатньо добре пропускає УФ-випромінення) або штучних дифракційних решіток у той час, як дифракцію рентгенівських променів можна спостерігати лише на природних «дифракційних решітках», а саме на кристалічних решітках певних твердих речовин [4].

За своєю природою, тобто за способом (принципом) генерації випромінювання джерела УФ-випромінювань, так само, як і джерела видимого випромінювання (світла) за хронологією розвитку та впровадження поділяють на [2, 5]: теплові; люмінесцентні; лазерні; напівпровідникові (діоди, що випромінюють).

Розглянемо принципи генерації УФ-випромінювань, а також аспекти, пов'язані зі створенням та використанням джерел цих випромінювань.

4.1.1. Теплові джерела

Згідно з висновками класичної термодинаміки будь-яке фізичне тіло, температура, якого відрізняється від абсолютного нуля (тобто нуля за шкалою Кельвіна), випромінює в оптичному діапазоні. Теплове випромінювання генерується всередині атомів речовин спонтанно (незалежно від теплового руху атомів та молекул, інтенсивність якого також залежить від температури), але збудження атомів відбувається завдяки саме обміну енергіями атомів в разі взаємодії під час теплового руху. Згідно з законом Стефана-Больцмана інтенсивність такого випромінювання пропорційна четвертій степені абсолютної температури T [2].

Інтенсивність випромінювань у цьому законі характеризується повною випромінювальною здатністю E_T тіла, яка вимірюється енергією, що випромінюється за одиницю часу з одиниці поверхні тіла в усьому оптичному діапазоні довжин хвиль. Тому величина E_T має назву «повна» на відміну від

спектральної густини випромінювальної здатності $E_{\lambda T}$, яка характеризує інтенсивність випромінювання на окремому інтервалі $d\lambda$ довжин хвиль.

Формула закону Стефана-Больцмана [6]:

$$E_T = \alpha \sigma T^4, \quad (4.1)$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$; α – коефіцієнт сірості тіла, який показує, наскільки тіло, що розглядається відрізняється від абсолютно чорного тіла (АЧТ).

Спектральні розподіли випромінювання АЧТ за різних значень температури на рис. 4.1.

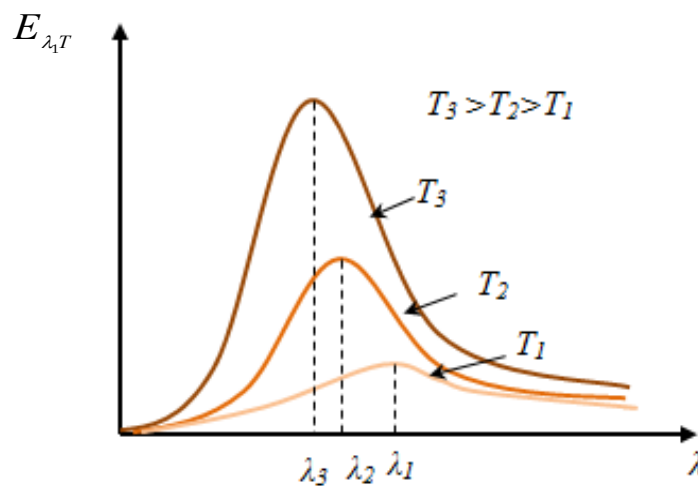


Рис. 4.1. Спектральні розподіли випромінювань АЧТ
($T_3 > 6000 \text{ К}$, $T_2 = 4000 \text{ К}$, $T_1 = 1000 \text{ К}$)

Як видно з рис. 4.1, із збільшенням температури площа під кривою спектрального розподілу збільшується (що свідчить про зростання повної випромінювальної здатності АЧТ), а положення довжини хвилі $\lambda_{\max}$, яка відповідає максимуму випромінювання в спектрі АЧТ зміщується у бік менших значень, тобто в бік ультрафіолетової області [3].

Згідно з законом (зміщення) Віна [6]:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \text{ або } \lambda_{\max} \cdot T = b \quad (4.2)$$

де $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – стала Віна.

На жаль, у рамках класичної термодинаміки не вдалося теоретично встановити числові значення ні сталої Віна, ні сталої Стефана-Больцмана; вони були визначені дослідним шляхом. Більш того, класична термодинаміка, як і електромагнітна теорія випромінювання Максвелла виявилися не здатними щодо пояснення розподілу енергії в спектрі АЧТ. Це вдалося зробити в 1900 р. Планку за допущення того, що атоми речовин випромінюють не безперервно, а стрибкоподібно, завдяки тому, що саме так атоми переходять зі збудженого стану в основний, тобто електрони в них «перескакують» з більш високого енергетичного рівня на нижчий і під час цього випромінюється квант енергії $\varepsilon = h\nu$.

Формула Планка для густини спектральної випромінювальної здатності:

$$E_{\lambda, T} = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}}, \quad (4.3)$$

де $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ – швидкість світла у вакуумі; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ – стала Больцмана; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – стала Планка.

За графіками (функцій) розподілів Планка можна визначити УФ-ефективність (коефіцієнт корисної дії) теплових джерел. Легко зрозуміти, що коефіцієнт корисної дії (ККД) щодо УФ-випромінювання вимірюється відношенням площі, обмеженої кривою розподілу, віссю абсцис, та короткохвильовою (на рис. 4.1 – лівою) межею видимої області випромінювання до площі під усією кривою розподілу за даної температури тіла розжарення теплового джерела.

Як видно на рис. 4.1, відношення цих площ під другою знизу кривою, тобто за температури 3500 К (близької до температури плавлення вольфраму –

найтугоплавкішого металу в світі взагалі та зокрема серед тих, з яких виготовляють тіла розжарення теплових джерел), ККД теплового джерела за УФ-випромінюванням є незначним. На рис. 4.1 видно також, що навіть за таких температур основна частка випромінювання припадає на інфрачервону (ІЧ) область спектрального діапазону, не кажучи вже про реальні значення температур тіл розжарення, які для звичайних вольфрамових ламп розжарювання становлять від 2400 до 2600 К, а для найбільш яскравих вольфрамово-галогенних – від 3000 до 3200 К.

Для споживача джерел УФ-випромінювання це означає великі витрати електроенергії для одержання потрібних променевих потоків УФ-випромінювання.

Отже, будь-які лампи розжарювання не є такими, що їх варто використовувати як джерела УФ-випромінювання [5].

4.1.2. Лазери

Головними особливостями цих пристроїв є те, що, по-перше, перехід атомів у речовинах робочих тіл цих пристроїв зі збудженого стану в основний (і разом з цим генерація випромінювання) відбувається не спонтанно, як у разі теплового випромінювання, а вимушено ініційовано [7], а, по-друге, випромінювання, проходячи через речовину не тільки не послаблюється, а навпаки посилюється [8].

Принцип функціонування лазера полягає в наступному [9]: індукційоване випромінювання вводиться в робочий проміжок речовини (резонатор), на краях (торцях) якого розташовано відбивачі (дзеркала). Цей процес називається «накачка лазера». Кожна частина випромінювання (фотон), завдяки послідовним відбиванням проходить проміжок кілька разів, взаємодіючи на своєму шляху з атомами речовини, ініціює випромінювання, тобто появу нових фотонів, які в свою чергу долучаються до вищеописаного процесу. Таким чином, на першій стадії процесу відбувається бурне (лавиноподібне) посилення випромінювання

до настання рівноваги між кількістю збуджених і не збуджених атомів. Одне з дзеркал є напівпрозорим, що дозволяє фотонам частково виходити крізь нього, і мати джерело випромінення [7].

Слово «лазер» походить від англійської аббревіатури «laser», що означає: light amplification by stimulated emission of radiation, тобто «посилення світла індукційним випроміненням». Але за допомогою таких пристроїв можна посилювати електромагнітні випромінення інших видів від короткохвильового (microwave) радіовипромінення до γ -випромінення (gamma). Тоді такі пристрої називаються відповідно «мазер» і «газер». А оскільки УФ- та ІЧ-випромінення належать до однієї з видимих випромінень області – до оптичного випромінення [7], то відповідні пристрої називають у нас відповідно «УФ лазер» і «ІЧ лазер».

Позитивними якостями лазерів є те, що за допомогою звичайних лінз інтенсивність сконцентрованих пучків (діаметром 10^{-3} см) майже ідеально паралельних променів може сягати 10^{15} Вт/см², а амплітуда коливань електромагнітного поля хвилі – 10^9 В/см. Тиск випромінення (світла) в такому потоці може сягати мільйона атмосфер, що дозволяє прошивати калібровані отвори в надтвердих матеріалах [8].

Лазери мають ще багато позитивних якостей, але їх низький (близько 1 %) ККД та висока вартість цих пристроїв (разом з системами їх живлення) роблять використання УФ-лазерів недоцільним в широко застосованих технологічних процесах, які можуть реалізуватися більш ефективними та більш простими засобами.

4.1.3 Напівпровідникові джерела

Одним із проявів квантової природи випромінення (світла) є внутрішній фотоелектричний ефект – виникнення електрорушійної сили (е.р.с.) на межі дірково-електричного р–п-переходу між напівпровідниками або на межі дотику металу з напівпровідником під час опромінення їх потоком фотонів.

Починаючи з 1907 р., дослідниками різних країн спостерігалось світіння на межі металу та напівпровідника (карбіду кремнію SiC) під час протікання струму через них, тобто явище зворотне до внутрішнього фотоефекту [10]. Світіння було голубувато-зеленого кольору з дуже малою яскравістю, про практичне використання якого на той час не могло бути й мови.

Але перш, ніж розглядати, яких успіхів було досягнуто в цьому напрямку за 100 років, варто згадати деякі відомості з електронної теорії напівпровідників [11].

Отже, напівпровідники – це речовини, що мають значення питомого електричного опору ($10^{-2} - 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), проміжне між металами ($10^{-8} - 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) та діелектрика ($10^8 - 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Розглянемо механізми утворення електропровідності напівпровідників [12].

а) Власна провідність

Найважливішими напівпровідниковими матеріалами є германій Ge та кремній Si. Атоми цих хімічних елементів мають по 4 електрони на зовнішній електронній оболонці, які (попарно з електронами сусідніх атомів) утворюють валентні зв'язки між атомами. В разі одержання додаткової енергії (теплової, світлової тощо) деякі міжатомні зв'язки втрачають електрони, і в цих місцях утворюються позитивні заряди. Такі місця в кристалічній решітці називаються дірками.

Під дією електричного поля вільні електрони рухаються (дрейфують) до позитивного полюсу, а дірки до негативного (фактично їх місця займають валентні електрони сусідніх атомів).

Отже, в чистому напівпровіднику існує власна електропровідність зумовлена тепловим збудженням атомів. Носіями електричного заряду є електрони та дірки (в однакових кількостях), які рухаються в електричному полі в протилежних напрямках. Провідність зростає з ростом температури.

Електрони, які втрачають свою енергію захоплюються дірками; відбувається рекомбінація електронно-діркових пар. За умов сталої

температури в чистому поодинокому надпровіднику кількість електронно-діркових пар є сталою, тому, що швидкість утворення пар і швидкість їх рекомбінації є однаковими (існує так звана термодинамічна рівновага).

б) Електронна провідність

Провідність напівпровідника можливо збільшити додаванням атомів інших елементів (легування). При цьому виникає так звана домішкова провідність. Наприклад, у разі легування чотиривалентного германію п'ятивалентним миш'яком або сурмою чи фосфором у місці розташування атома домішки з'являється зайвий вільний електрон (рис. 4.2).

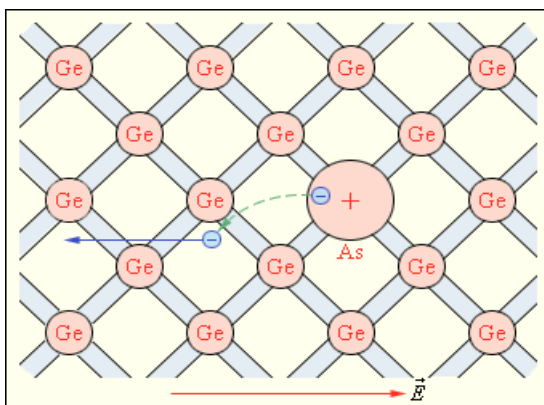


Рис. 4.2. Атом миш'яку в ґратці германію. Напівпровідник n-типу

Один атом домішки зазвичай приходить на 10^5 – 10^6 атомів решітки напівпровідника. Домішки, які спричиняють появу вільних електронів називаються донорами (тобто такими, що віддають електрони). В цьому випадку концентрація n-електронів збільшується в 10^3 , в стільки ж разів залишається меншою концентрація n^+ дірок. Отже, $n \approx 10^6 n^+$.

Оскільки $n \gg n^+$, електрони є основними носіями заряду, а дірки – неосновними; германій у такому випадку називається напівпровідником з електронною провідністю, або напівпровідником n-типу.

в) Діркова провідність

провідність напівпровідника можна збільшити, легуючи його і елементом з меншою валентністю. Якщо, наприклад, легувати германій тривалентним

індієм (або бором чи галієм), то в місці розташування атома домішки з'явиться зайва дірка (рис. 4.3). Домішки, які збільшують кількість дірок називаються акцепторними (тобто такими, що «забирають» електрони). Оскільки тепер n^+ $\rightarrow$ n^- , то дірки називаються основними носіями заряду, а електрони – неосновними. Такий напівпровідник називається дірковим, або напівпровідником р-типу. Основними носіями вільного заряду в напівпровідниках р-типу є дірки.

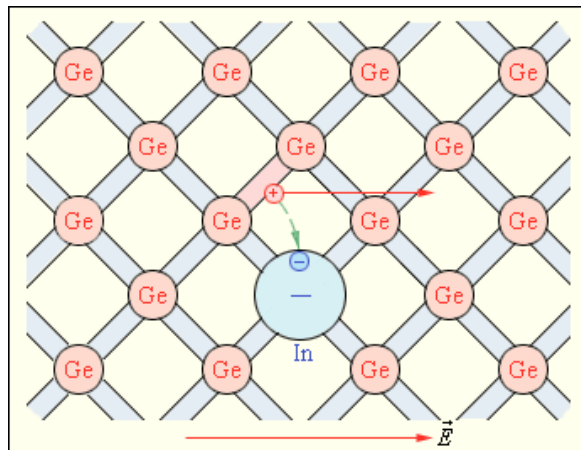


Рис.4.3. Атом індію у гратці германію. Напівпровідник р-типу

г) поняття зонної моделі

Електрони в атомі мають різні значення енергії. Внутрішні електрони, які сильно зв'язані з ядром, відчувають лише незначні збурення від інших атомів, внаслідок чого їх енергетичні рівні в кристалі залишаються практично такими ж вузькими, як і в ізольованих атомах. На рис. 4.4 схематично наведена картина утворення енергетичних зон в кристалі із дискретних атомних рівнів.

Кожному енергетичному рівню ізолюваного атома в кристалі відповідає зона дозволених рівнів: $1s$ – зона $1s$, рівню $2p$ – зона $2p$ і т.д.

Зони дозволених енергій розділені областями заборонених енергій – забороненими зонами.

Ступінь заповнення електронами енергетичних рівнів у зоні визначається заповненням відповідного атомного рівня. Якщо, наприклад, якийсь рівень атома повністю заповнений електронами відповідно до принципу Паулі, то

утворена з таких рівнів енергетична зона також повністю заповнена. На кожному підрівні, згідно з принципом Паулі, може знаходитись не більше двох електронів з антипаралельними спінами.

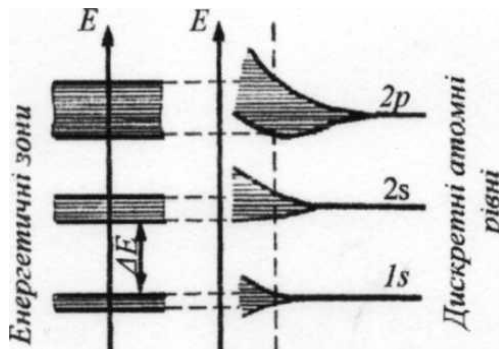


Рис. 4.4. Утворення енергетичних зон у кристалі

Електрони в твердих тілах можуть переходити з однієї дозволеної зони в іншу. Для переходу електрона з нижньої зони в сусідню верхню зону необхідно затратити енергію, що дорівнює ширині ΔW забороненої зони, яка розміщена між ними.

Для внутрішніх переходів електронам у межах зони необхідна дуже мала енергія тому, що відстань між сусідніми енергетичними рівнями в зоні дорівнює приблизно 10^{-22} еВ. Наприклад, для цього достатньо енергії 10^{-4} - 10^{-8} еВ, що отримує електрон у металі під дією електричного поля на довжині вільного пробігу при звичайних різницях потенціалів. Під дією збудження електронам може бути надана енергія, достатня як для внутрішньозонних, так і для міжзонних переходів.

Зонна теорія твердих тіл дозволила з єдиної точки зору пояснити фізичні властивості не тільки напівпровідників, але металів і діелектриків, пояснюючи відмінності в їх електричних властивостях неоднаковим заповненням електронами дозволених зон і різною шириною заборонених енергетичних зон.

Для утворення пари електрон-дірка треба витратити квант випромінення, тому їхня рекомбінація може породити такий квант. Зрозумілим стає і те, що енергія такого кванта залежить від ширини ΔW забороненої зони [11].

Оцінимо, якою має бути ширина забороненої зони для одержання квантів УФ-випромінювання, для граничного значення (між ультрафіолетовим та видимим випромінюванням) $\lambda=400$ нм. Отже,

$$\Delta W = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} = 3,1 \text{ еВ} \quad (4.4)$$

Оскільки р–п-перехід – це діод (двополюсний пристрій), тому перед розробниками діодів, як б генерували УФ-випромінювання стоїть задача підбору для утворення р–п-переходу таких напівпровідникових матеріалів, у яких ширина забороненої зони суттєво більша ніж 3,1 еВ.

Слід зазначити, що ідея необхідності переводити електрони на більш віддалені енергетичні рівні для одержання випромінювання на р–п-переході стала зрозумілою ще в 50-х роках минулого століття. Але протягом кількох десятиліть вдавалося створити на основі арсенідів та фосфатів галію, миш'яку та індію лише однокольорові (червоні, оранжеві, жовті та зелені) світловипромінювальні діоди (СВД) за світловим потоком не більше ніж 0,02 лм (світлова віддача 0,1-0,2 лм/Вт), які були придатні для використання лише як індикаторні пристрої.

Справжня революція у виробництві СВД відбулася на початку 90-х років з одержання багатоперехідних подвійних гетероструктур⁴ (БПГС) типу GaAlAs, AlInCaAs, AlInCaP [13]. Світлова віддача червоних і зелених СВД збільшилась у 100 разів і становила 10-20 лм/Вт, а в 2004 р. досягла значень 30-50 лм/Вт.

⁴ Гетерогенна структура – неоднорідна фізико-хімічна система, яка складається з різних за фізичними властивостями або хімічним складом частин (фаз). Кожна фаза такої структури відділена від суміжної фази поверхнею розділу, на якій стрибком змінюється одна властивість або низка властивостей.

В 1994 р. японськими фізиками компанії «Nichia Chemical Industries» було створено на основі нітриду галію GaN та його твердих розчинів InGaN та AlGaN СВД з синім кольором випромінювання [14], світлова віддача яких може сягати більше 200 лм/Вт.

Поява СВД з випромінюванням у короткохвильовій частині видимого спектра відкрила шляхи для створення пристроїв УФ-випромінювання.

Стосовно діодів, генеруючих УФ-випромінювання є повідомлення щодо створення таких [16, 17, 18, 19].

Бурхливий розвиток СВД в останні роки дозволяє сподіватися на близьку перспективу створення та використання ефективних діодів УФ-випромінювання. Тому варто зазначити безсумнівні позитивні якості випромінювальних діодів [14, 16, 17]:

- виключно висока надійність;
- довготривалий строк служби;
- малі габаритні розміри;
- відсутність необхідності в зовнішніх оптичних елементах (лінзах, розсіювачах, відбивачах) для більшості випадків використання;
- високий (до 100 %) коефіцієнт використання потоку випромінювання;
- висока стійкість до механічних навантажень;
- здатність функціонувати в широкому діапазоні температур;
- екологічність, пов'язана з відсутністю ртуті та інших шкідливих речовин;
- електрична небезпечність;
- простота схем кіл живлення та управління.

Мабуть, єдиним недоліком випромінювальних діодів є мала поодинокі потужність [15]. Але на подолання цього виготовляють СВД панелі, які ще називають «світлодіодними лампами», на яких монтують багато окремих діодів, з'єднаних послідовно-паралельно, які в сукупності утворюють «поверхню», що рівномірно світиться. Крім того, виготовляють конструктивні «збірки» кількох СВД на одній платі – так звані СВД-модулі.

4.1.4 Люмінесцентні джерела УФ-випромінювання

З чотирьох відомих штучних способів генерації УФ-випромінювання, зазначених у підрозділі 4.1, нерозглянутим залишається лише один – люмінесценція, варто зазначити, що люмінесцентні джерела УФ-випромінювання на теперішній час є єдиними широкодоступними та ефективними джерелами з усіма їх перевагами та недоліками [10, 17].

Основними чинниками, що визначають ефективність джерел УФ-випромінювання, є [2, 18]: спектр джерела, який впливає на можливість застосування джерела в різних технологіях, потужність лампи, ККД, робочий (корисний) і повний ресурс, падіння потоку УФ-випромінювання до кінця строку служби лампи, компактність і вартість лампи та електронного блоку запуску і живлення (ЕПРА), безпека і технологічність використання джерела, а також його вартість.

У разі застосування джерела для знезараження, основною характеристикою є бактерицидна ефективність [2, 5]. Найбільшим бактерицидним ефектом володіє випромінювання з досить вузького спектрального інтервалу 205-315 нм, тому бактерицидна ефективність джерела УФ-випромінювання визначається тим, наскільки близький спектр його випромінювання до максимуму бактерицидної чутливості (близько 265 нм) [3].

Ефективністю або ККД джерела для УФ-знезараження називають відношення потужності випромінювання в бактерицидній області до електричної потужності лампи. При цьому наводиться спектральна характеристика лампи або вказується потужність чи ефективність з урахуванням залежності бактерицидної ефективності від довжини хвилі випромінювання [2].

Як правило, при визначенні ефективності джерела не враховують втрати в джерелі живлення, які повинні бути враховані при розрахунку повної електричної потужності обладнання [10]. Аналогічно може бути визначена ефективність УФ-джерела і для інших технологічних процесів. Додатковими

вимогами можуть бути можливість роботи лампи в повітряному потоці або при зміні температури навколишнього середовища. У деяких технологіях необхідно забезпечити швидке вмикання лампи з відповідним виходом на режим. При використанні УФ-випромінювання для обробки середовищ або знезараження в промислових масштабах одним із актуальних завдань стає швидкість обробки, тому доза УФ-опромінення повинна бути забезпечена за досить малий проміжок часу, поки об'єкт обробки знаходиться в області опромінення. Для вирішення цієї задачі потрібні потужні, ефективні та екологічно безпечні джерела УФ-випромінювання.

Газорозрядні джерела УФ-випромінювання застосовують найчастіше, оскільки вони дають можливість отримати високі питомі потужності УФ-випромінювання з високим ККД перетворення електричної енергії. Вони характеризуються великим строком служби і досить прості в експлуатації.

У залежності від умов розряду і робочої речовини плазма газорозрядної лампи випромінює як неперервний, так і лінійчатий спектр. Найбільш ефективним джерелом УФВ з безперервним спектром є дугова плазма газового розряду, газ в якій може бути розігрітий до температур 10000 К і вище. Дуговий розряд високого тиску, прикладом якого є дуга при електрозварюванні, близький до термічного джерела з високою температурою і безперервним спектром. Проте для більшості сфер використання потрібне УФВ певного спектрального діапазону, тому УФ-джерела випромінювання, як правило, мають селективний спектр, розрахований на досягнення максимально можливого ефекту для певного процесу.

Для підвищення ефективності перетворення електричної енергії в енергію УФВ до 40-80 % використовують електричний розряд низького тиску, який дає лінійчатий спектр. Природно виникає питання, чому ефективність перетворення електричного розряду низького тиску багато вище, ніж у теплових джерел, наприклад, у того ж електричного розряду у вигляді дуги високого тиску. Розряд низького тиску, на відміну від розрядів при тисках вище 40-50 кПа, не є ізотермічним, температура газу та іонів близька до температури

стілки 40-100°C, а енергія електронів велика. Електрони отримують енергію від електричного поля і розігріваються до температур 1-5еВ (1 еВ = 11600 К), ефективно збуджують атоми і молекули газу і лише малу частку енергії передають у нагрів газу. Наприклад, для генерації бактерицидного УФ-випромінювання в якості атома, що випромінює, добре підходить атом ртуті з резонансною довжиною хвилі 254 нм, для збудження якої електрон повинен володіти енергією близько 5 еВ. При оптимальних параметрах розряду теоретичний ККД перетворення електричної енергії в резонансне УФ-випромінювання може досягати 70 % і вище [21]. Частина енергії піде на нагрівання газу при зіткненнях електронів з атомами ртуті і буферного газу, оскільки не кожне зіткнення електрона приводить до збудження атома ртуті, частина – на іонізацію і збудження інших ліній ртуті, тому ККД перетворення електричної енергії в УФ-випромінювання в потужних джерелах низького тиску становить 25-50 %, причому, чим вище питома потужність, тим нижче ККД [20, 21].

Для різних сфер використання УФВ в даний час випускаються ртутні, ксенонові, ексімерні, на парах металів та інші газорозрядні лампи, колби яких виготовлені з прозорих для УФ-випромінювання матеріалів, найчастіше зі спеціального скла або з кварцу. За способом підведення електричної енергії лампи бувають з електродами і безелектродні, з безперервним й імпульсним режимами роботи.

Джерела на основі розряду в парах ртуті поділяють на ртутні лампи низького тиску і лампи високого тиску [5, 10].

У даній роботі будуть розглянуті тільки ртутні лампи низького тиску. Розрядні лампи високого тиску (ртутні та металогалогенні), а також ексімерні УФ-лампи плануємо розглянути в наступній НДР «Ультрафіолетові опромінювальні установки фотобіологічної дії: дослідження та розробка технологій для опромінення сипучих харчових продуктів та насіння сільгоспкультур».

4.2 Ртутні розрядні лампи низького тиску та їх класифікація

До розрядних ламп низького тиску відносять лампи, в яких робочий тиск газу (або пару) складає $0,1-10^4$ Па.

Найбільшого розповсюдження отримали лампи на основі парів ртуті, оскільки відомо, що структура енергетичних рівнів ртуті виключно сприятлива для високоекономічної генерації резонансного випромінювання в УФ-області [10, 22]. Оптимальний тиск парів ртуті становить 0,7-1,5 Па, а тиск інертних газів (найчастіше неону або аргону, або їх суміші) 10-500 Па.

Ртутні лампи низького тиску є найбільш ефективними джерелами ультрафіолетового бактерицидного випромінювання завдяки тому, що при оптимальному підборі параметрів (діаметр трубки, густина струму, тиск парів суміші, умови охолодження) понад 60 % від випромінювання в ультрафіолетовій області припадає на резонансну лінію 254 нм, що лежить в діапазоні максимальної бактерицидної дії (рис. 2.4). Саме з цієї причини вони і отримали назву бактерицидних ламп [21].

Умовно ртутні лампи низького тиску можна розділити на три класи: лампи з увіолевого скла (Soft Glass), стандартні лампи із кварцового скла (Standard Quartz) та кварцові ртутні лампи низького тиску підвищеної потужності (High Output Quartz). Деякі компанії виділяють також компактний – зменшений розмір за рахунок U-образної колби. Так компанія Philips Lighting виділяє лампи класу Philips TUV PL-S з електричною потужністю від 5,5 до 13 Вт.

Переваги ламп з увіолевого скла (Soft glass) добре відомі, при відносно невеликих втратах у пропусканні такі лампи дешевше своїх аналогів з чистого кварцу, простіші у виготовленні і довговічніші в зберіганні. Найбільш популярними є лампи потужністю 15, 30, 55 і 75 Вт. Світовими лідерами у виробництві такого типу джерел є компанії Philips Lighting і LighTech, які володіють власним виробництвом увіолевого скла. До великих виробників можна також віднести в Німеччині – Osram, і країни східного альянсу.

Ртутні лампи низького тиску мають відносно невелику потужність - в діапазоні від 4 до 300 Вт. Спектр випромінювання ртутної лампи низького тиску представлено на рис. 4.5.

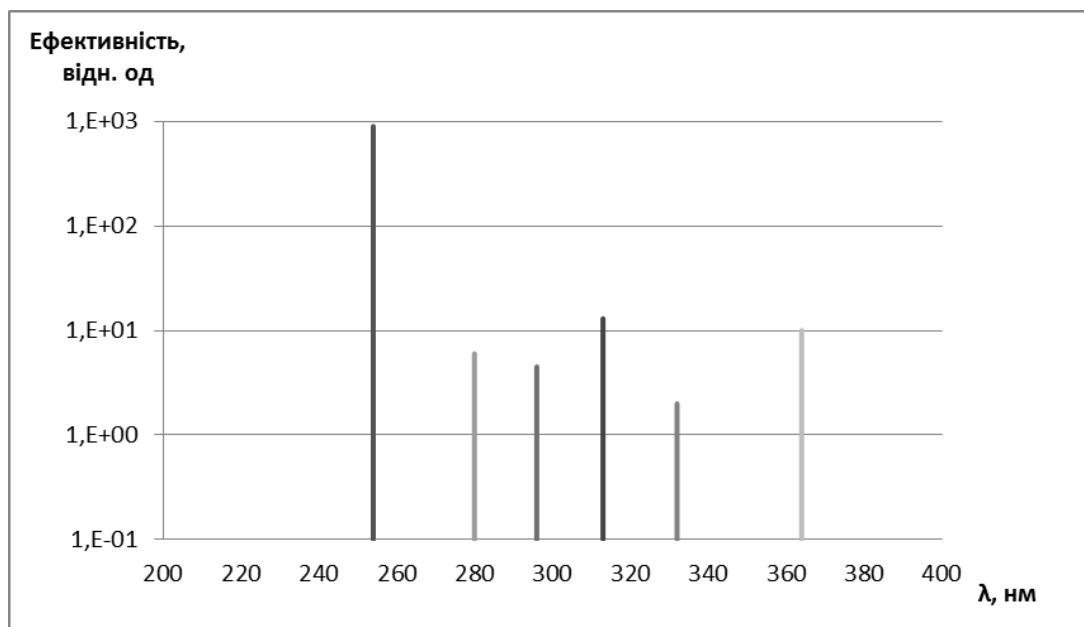


Рис.4.5. Спектр випромінювання ртутної лампи низького тиску

За зовнішнім виглядом ртутні лампи низького тиску відрізняються від відомих люмінесцентних ламп тільки тим, що на внутрішню частину трубки не нанесено люмінофор.

Конструктивно такі лампи представляють собою циліндричну трубку, довжина якої істотно більше діаметру, з чистого кварцового скла (Standard Quartz), що пропускає обидві лінії: 185 нм і 254 нм або з увіолевого скла (Soft Glass), яке практично не пропускає випромінювання лінії 185 нм [5].

З урахуванням економічних можливостей отримання короткохвильового УФ-випромінювання на базі ртутного розряду низького тиску створені бактерицидні лампи типу ДБ (табл.4.1) [2]. Колбу таких ламп виготовляють з увіолевого скла, що пропускає УФ-випромінювання в діапазоні С.

Відомо [20, 23], що робили спроби створення більш потужних джерел резонансного випромінювання ртутного розряду шляхом підвищення густини струму і збереження низького тиску ртуті. Показано, що густину випромінювання лінії ртуті $\lambda = 253,7$ нм можна підняти майже на порядок, але

при цьому ККД розряду в цієї лінії падає майже на 10 %. В табл. 4.1 наведені параметри дослідного зразка такої лампи потужністю 1 кВт (лампа УФРЛНТ).

Є лампи, виконані з легованого кварцового скла або зі спеціальним покриттям, які також фільтрують лінію 185 нм. За цією ознакою розрядні лампи поділяють [2, 5] на озонні і безозонні.

У таблиці 4.1 представлені технічні параметри деяких ртутних бактерицидних ламп низького тиску [2].

Таблиця 4.1

Основні технічні параметри деяких ртутних ламп низького тиску

Тип лампи	P, Вт	I, А	Номінальний бактерицидний потік, Вт	Строк служби, год	Геометричні розміри, мм	Матеріал колби
озонні						
ДБ-15	15	0,33	2,5	5000	451x30	увіолеве скло
ДБ-30-1	30	0,36	6	5000	909x30	теж
ДБ-60	60	0,7	8	3000	909x30	теж
ДРБ-8-1	8	0,17	1,6	5000	302x16	теж
ДБ-15-Э*	15	0,31	2,5	3000	451x30	теж
ДБ-30-Э	30	0,36	6	5000	909x30	теж
ДБ-60-Э	60	0,7	8	3000	909x30	теж
ДРБ-8	8	0,17	3	5000	315x17	кварцове скло
ДРБ-40-1	40	0,45	10	3000	540x20	теж
ДРБ-60	60	0,75	15,8	3000	715x28	теж
ДБ-75-1	75	0,67	29	5000	1200x26	теж
безозонні						
ДРБ-15	15	0,35	4,5	3000	452x25	кварцове скло з покриттям
ДРБ-20	20	0,37	5,6	3000	414x25	теж
ДРБ-40	40	0,45	9	3000	634x25	теж
ДРБ-60	60	0,75	14	3000	715x28	теж
ДБ-18	18	0,35	5	8000	480x16,5	теж
ДБ-36-1	36	0,38	10,5	8000	860x16,5	теж
ДРБЭ-8**	8	0,17	2,5	2000	140x16	теж
УФРЛНТ***	1000	10,0	150	-	1200x10	увіолеве скло

* - лампи з меншим вмістом ртуті; ** - лампи U-подібної форми; *** - дослідний зразок

Провідні виробники, компанії Philips, Osram і LightTech також спеціалізуються на виробництві ламп низького тиску з увіолевого скла, які за

зовнішнім виглядом і технічними характеристиками є аналогами ламп типу ДБ. Так компанія Philips випускає лампи серії TUV [24], Osram серії HNS [25], а LightTech серії LTC [26].

Лампи серій TUV, HNS і LTC – розрядні лампи низького тиску, які дають короткохвильове УФ-випромінювання з максимумом при 253,7 нм (УФ-С), що володіють бактерицидною дією. Скло відфільтровує спектральну лінію 185 нм, яка викликає утворення озону. Лампи серії TUV, HNS і LTC використовують у різних сферах діяльності [24, 25, 26]:

- стерилізація води (питної води, води для плавальних басейнів, стічної води);
- стерилізація і дезодорування повітря в кондиціонерах, лікарнях, складських приміщеннях;
- стерилізація поверхонь у фармацевтичній і пакувальній промисловостях;
- стирання інформації з сучасних мікроелектронних блоків пам'яті.

На рис. 4.6 представлено зовнішній вигляд бактерицидної лампи низького тиску з увіолевого скла Philips серії TUV, потужністю 30 Вт з цоколем G13.



Рис. 4.6. Зовнішній вигляд бактерицидної лампи Philips TUV 30W/G13 T8.

Характеристики ультрафіолетових ламп Philips серії TUV (Special Fluorescent Lamps Disinfection) приведені в таблиці 4.2 [24].

Таблиця 4.2

Характеристики ультрафіолетових ламп Philips серії TUV,

потужністю від 4 до 115 Вт

Тип лампи	P, Вт	U, В	Випромінювання УФ-С, Вт	Строк служби, год	Тип цоколя	Геометричні розміри, мм
TUV 4	4	29	0.9	8000	G5	150,1x16
TUV 6	5	42	1.5		G5	226,3x16
TUV 8	8	56	2.1		G5	302,5x16
TUV 10	10	46	2.2		G13	345,7x28
TUV 11	11	37	2.2		G5	226,3x16
TUV 15	15	51	4.7		G13	451,6x28
TUV 16	16	46	3.2		G5	302,5x16
TUV 25	25	46	7.0		G13	451,6x28
TUV 30	30	100	11.2		G13	908,8x28
TUV 36	36	103	15.3		G13	1213,6x28
TUV 55 HO	55	83	18.0		G13	908,8x28
TUV 75 HO	75	108	26.0		G13	1213,6x28
TUV 115 R VHO	115	92	33.5	5000	G13	1213,6x28
TUV 115 VHO	115	92	38.8		G13	1213,6x40
TUV 9 PL-S	9	60	2.4	8000	G23	145x28
TUV 11 PL-S	11	89	3.6		G23	214x28
TUV 18 PL-L	18	60	5.5		2G11	225x38
TUV 36 PL-L	36	105	12.0		2G11	415x38
TUV 55 PL-L	55	103	17.0		2G11	535x38

Характеристики ультрафіолетових ламп Osram серії HNS приведені в таблиці 4.3 [25].

Таблиця 4.3

Характеристики ультрафіолетових ламп Osram серії HNS [25],

потужністю від 5 до 55 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, А	Енергетична освітленість, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Тип цоколя	Геометричні розміри, мм
7 W OFR*	7	0,17	-	1,9	G23	137x13
9 W OFR*	9	0,17	-	2,5	G23	167x13
11 W OFR*	11	0,15	-	3,6	G23	237x13
15W OFR	15	0,33	40	3,5	G13	438x26
30W OFR	30	0,37	90	8	G13	895x26
55W OFR	55	0,93	170	15	G13	895x26
G5W OFR*	5	0,15	18	1,5	G23	122x10
10W OZ	10	0,17	50	4	E27	221x10
10W /U OFR	10	0,17	50	4	E27	221x10

20W /U OZ	20	0,5	80	7	E27	221x10
-----------	----	-----	----	---	-----	--------

Примітка: OZ – опромінювачі для стерилізації і озонування; OFR - опромінювачі для стерилізації без утворення озону.

Характеристики ультрафіолетових ламп LightTech серії LTC приведені в таблиці 4.4 [26].

Таблиця 4.4

Характеристики ультрафіолетових ламп LightTech серії LTC,
потужністю від 4 до 76 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, мА	U*, В	Енергетична освітленість на відстані 1 м, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Геометричні розміри, мм
LTC4T5	4	180	23	9	0,9	77x15,7
LTC6T5	6	180	34	16	1,6	154x15,7
LTC8T5	8	180	45	21	2,1	231x15,7
LTC11T5	11	280	40	22	2,2	154x15,7
LTC11T5SE	12	280	43	24	2,4	170x15,7
LTC16T5	16	280	44	40	4	231x15,7
LTC16T5SE	17	370	46	42	4,2	245x15,7
LTC40T5	41	370	98	141	15,6	767x15,7
LTC64T5	76	425	180	225	31	1481x15,7
LTC40T5SE	41	425	98	141	15,6	767x15,7
LTC64T5SE	76	425	180	225	31	1481x15,7
LTC10T8	10	280	36	23	2,3	330,3x25,7
LTC15T8	15	350	44	47	4,8	436,2x25,7
LTC30T8	30	380	80	100	11,3	893,4x25,7

* - вимірювання електричних параметрів проводилося з використанням електронного пускового апарату (ЕПРА).

Промисловістю освоєно так звані компактні бактерицидні лампи, що мають U-подібну форму (рис. 4.7). У цих ламп при однаковій потужності з прямими трубчастими лампами габаритна довжина зменшується майже вдвічі (див. табл. 4.2 – лампи серії TUV PL, табл. 4.3 – лампи серії HNS з цоколем G23*, табл. 4.4 – лампи серії LTC).



Рис.4.7. Лампа Osram HNS 9 W з цоколем G23.

На рис. 4.8 представлено спектр випромінювання лампи HNS [25].

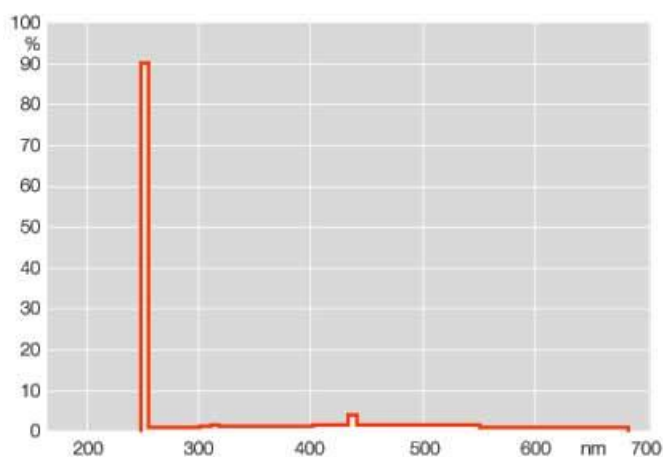


Рис. 4.8. Спектр випромінювання лампи HNS 9 W OFR.

Характеристики ультрафіолетових ламп з увіолевого і кварцового скла LightTech серії LTC U-подібної форми з цоколями G23 і 2G11 приведені в таблиці 4.5 [26].

Стандартні лампи (Standard quartz) виготовляють з чистого кварцу, що дозволяє одержувати більш високий вихід ультрафіолету і, відповідно, ККД більш високого пропускання на довжині хвилі 254 нм (90 %). В залежності від застосування кварц може бути покрито окисом титану для поглинання короткохвильового УФ-випромінювання з довжиною хвилі 185 нм (такі лампи називають безозоновими). Крім того, не можна не відзначити інші переваги кварцових ртутних ламп – це відсутність ефекту соляризації і значно більш висока механічна міцність. Строк служби таких ламп досягає 16 000 годин, ККД до 40 %.

Таблиця 4.5

Характеристики ультрафіолетових ламп LightTech серії LTC U-подібної форми, потужністю від 5 до 13 Вт і від 18 до 95 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, mA	U, В	Енергетична освітленість на відстані 1 м, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Геометричні розміри, мм
З увіолевого скла						
LTC5W/G23	5	180	34	9	1,0	83x12,5
LTC7W/G23	7	175	47	16	1,8	115x12,5
LTC9W/G23	9	170	60	22	2,4	145x12,5
LTC11W/G23	11	160	89	33	3,6	214x12,5
LTC13W/G23	13	290	59	31	3,4	155.2x12,5
З увіолевого скла високої потужності						
LTC18W/2G11	18	370	60	51	5.5	225x17,5
LTC24W/2G11	28	350	87	65	7	320x17,5
LTC35W/WHO/2G11	35	850	40*	105	11	225x17,5
LTC36W/2G11	36	440	105	110	12	415x17,5
LTC55W/2G11	55	540	103*	156	17	535x17,5
LTC60W/WHO/2G11	60	670	120	169	18	415x17,5
LTC95W/WHO/2G11	95	950	100*	304	32	535x17,5

* - вимірювання електричних параметрів проводилося з використанням електронного пускового апарату (ЕПРА)

У таблиці 4.6. наведені характеристики ультрафіолетових ламп з кварцового скла LightTech (Угорщина) в діапазоні потужностей від 10 до 79 Вт [26].

У таблиці 4.7 наведені характеристики ультрафіолетових ламп з кварцового скла LightTech U-подібної форми з цоколем 2G11 в діапазоні потужностей від 36 до 95 Вт [26].

Країни східного альянсу також спеціалізуються на виробництві ультрафіолетових ламп з кварцового і увіолевого скла різних потужностей. Останнім часом продукція виробництва Китаю широко представлена на ринку України та інших країн під брендами провідних виробників, а також і під власними торговими марками.

Таблиця 4.6

Характеристики ультрафіолетових ламп з кварцового скла LightTech,
потужністю від 10 до 79 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, мА	Енергетична освітленість, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Геометричні розміри, мм	Строк служби, год
Лампи з попереднім підігрівом катоду «безозонні»						
GPH212T5L	10	425	27	2.7	212x15	16000
GPH287T5L	14		40	4	287x15	
GPH303T5L	15		43	4.3	303x15	
GPH357T5L	17		57	5.7	357x15	
GPH436T5L	21		72	7.3	436x15	
GPH793T5L	38		125	13.5	793x15	
GPH843T5L	41		150	16	843x15	
GPH1148T5L	55		180	22	1148x15	
GPH1554T5L	75		240	33	1554x15	
GPH1630T5L	79		252	34.5	1630x15	
Лампи з попереднім підігрівом катоду «озонні»						
GPH212T5VH	10	425	27	2.7	212x15	16000
GPH287T5VH	14		40	4	287x15	
GPH303T5VH	15		43	4.3	303x15	
GPH357T5VH	17		57	5.7	357x15	
GPH436T5VH	21		72	7.3	436x15	
GPH793T5VH	38		125	13.5	793x15	
GPH843T5VH	41		150	16	843x15	
GPH1148T5VH	55		180	22	1148x15	
GPH1554T5VH	75		240	33	1554x15	
GPH1630T5VH	79		252	34.5	1630x15	
Лампи без попереднього підігріву катоду «безозонні»						
G10T5L	17	425	57	5.7	357x15	16000
G24T5L	32		95	11	692x15	
G36T5L	41		150	16	843x15	
G48T5L	55		180	22	1148x15	
G64T5L	75		240	33	1554x15	
G67T5L	79		252	34.5	1630x15	
Лампи без попереднього підігріву катоду «озонні»						
G10T5VH	17	425	57	5.7	357x15	16000
G24T5VH	32		95	11	692x15	
G36T5VH	41		150	16	843x15	
G48T5VH	55		180	22	1148x15	
G64T5VH	75		240	33	1554x15	
G67T5VH	79		252	34.5	1630x15	

Таблиця 4.7

Характеристики ультрафіолетових ламп LightTech серії LTC U-подібної форми, потужністю від 36 до 95 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, мА	U, В	Енергетична освітленість на відстані 1 м, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Геометр. розміри, мм	Строк служби, год
LTC35WHO/2G11	36	800	45*	110	11	225x15	9000
LTC36W/2G11	36	440	105	119	13	415x15	
LTC55W/2G11	55	540	103*	168	18	535x15	
LTC60WHO/2G11	60	670	118	179	19	415x15	
LTC95WHO/2G11	95	950	100*	328	34	535x15	

* - вимірювання електричних параметрів проводилося з використанням електронного пускового апарату (ЕПРА)

У таблиці 4.8 наведені характеристики ультрафіолетових ламп із кварцового скла Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd (Китай) у діапазоні потужностей від 15 до 40 Вт з попереднім підігрівом катоду, тип цоколя G13 [27].

Таблиця 4.8

Характеристики ламп з кварцового скла Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd потужністю від 15 до 40 Вт з цоколем типу G 13

Тип лампи	P, Вт	I, мА	U, В	УФ- випромінювання на відстані 1 м, Вт/см ²	Геометричні розміри, мм	Строк служби, год
ZW15S19W	15	310	40	45	437x19	8000
ZW15S19Y	15	310	40	45	437x19	
ZW20S19W	20	320	70	75	589,8x19	
ZW20S19Y	20	320	70	75	589,8x19	
ZW30S19W	30	360	100	107	894,6x19	
ZW30S19Y	30	360	100	107	894,6x19	
ZW40S19W	40	410	110	117	1199,4x23	
ZW40S19Y	40	410	110	117	1199,4x23	

У таблиці 4.9 наведені характеристики ультрафіолетових ламп з кварцового скла Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd (Китай) у діапазоні потужностей від 4 до 240 Вт [27] з несиметричним 4-х штирковим цоколем 4ре (рис. 4.9).



Рис.4.9. Ультрафіолетові лампи з кварцового скла Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd з цоколем типу 4 ре.

Таблиця 4.9

Характеристики ламп з кварцового скла Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd
потужністю від 4 до 240 Вт з цоколем типу 4ре

Тип лампи	P, Вт	I, мА	U, В	УФ-випромі- нювання на відстані 1 м, Вт/см ²	Геометр. розміри, мм	Строк служби, год
ZW4D15W(Y)	4	133	30	26	212x15	8000
ZW8D15W(Y)	8	265	30	26	212x15	
ZW10D15W(Y)	10	250	22-39	21-24	212x15	
ZW14D15W(Y)	14	350	28-39	31-35	287x15	
ZW15D15W(Y)	15	370	30-40	33-37	303x15	
ZW17D15W(Y)	17	275	62	72	436x15	
ZW18D15W(Y)	18	340	34-46	48-54	356x15	
ZW23D15W(Y)	23	420	40-55	62-69	436x15	
ZW28D15W(Y)	28	370	51-69	85	550x15	
ZW37D15W(Y)	37	350	78-101	110	793x15	
ZW40D15W(Y)	40	380	81-99	120-130	851x15	
ZW55D15W(Y)	55	320	122-149	150-180	1149x15	
ZW75D15W(Y)	75	330	173-210	180-210	1554x15	
ZW80D19W(Y)	80	800-1200	120	240-270	846x19	
ZW120D19W(Y)	120	800-1200	170	330-380	1149x19	
ZW150D19W(Y)	150	800-1200	220	400-450	1554x19	
ZW250D19W(Y)	250	1600-1800	190	3000	1554x19	

У таблиці 4.10 представлені характеристики компактних бактерицидних ламп, що мають U-подібну форму Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd потужністю від 5 до 55 Вт [27].

Таблиця 4.10

Характеристики ламп Jiangyin Feiyang Instrument Co., Ltd потужністю від 5 до 55 Вт U-подібної форми

Тип лампи	P, Вт	I, мА	U, В	УФ- випромі- нювання на відстані 1 м, Вт/см ²	Потужн. УФ-С, Вт	Геометр. розміри, мм	Строк служби, год
ZW5D12WG5PL/L	5	180	34	18	1,2	83x12	8000
ZW7D12WG7PL/L	7	180	47	22	1,9	115x12	
ZW9D12WG9PL/L	6	170	60	41	2,4	145x12	
ZW11D12WG11PL/L	11	160	89	50	3,2	214x12	
ZW18D12WG18PL/L	18	370	60	66	5,5	225x17	
ZW24D12WG18PL/L	24	340	87	85	8,5	320x17	
ZW36D12WG36PL/L	36	430	105	114	12	415x17	
ZW55D12WG55PL/L	55	540	103	145	17	535x17	

Лампи серії «High Output Quartz» – це версія більш потужних кварцових стандартних ламп. Такі лампи працюють з великим у порівнянні зі стандартними лампами струмом 0,6-0,8 А замість 0,3-0,45 А, мають більш потужний електрод і звичайно, більш високу потужність УФ-випромінювання [21]. Світовими лідерами з виробництва ламп, вищезазначених у цьому розділі класів, є компанії Philips Lighting (Голландія), LightTech (Угорщина), Heraeus Noblelight (Німеччина), Osram (Німеччина), Ushio (Японія).

В таблиці 4.11 наведені характеристики ультрафіолетових ламп із кварцового скла LightTech серії «High Output Quartz» у діапазоні від 48 до 155 Вт [26].

Високоекономічна генерація випромінювання ртутного розряду низького тиску дає можливість скористатися фотолюмінесцентними перетвореннями короткохвильового випромінювання в більш довгохвильове. На цьому

принципі розроблені еритемні лампи типу ЛЕ та ЛЕР з довжиною хвилі 280-315 нм для УФ-В області [2]. Спектр випромінювання еритемної лампи представлено на рис. 4.10.

Таблиця 4.11

Характеристики ультрафіолетових ламп з кварцового скла LightTech,
потужністю від 48 до 155 Вт

Тип лампи	P, Вт	I, мА	Енергетична освітленість, мкВт/см ²	Потужність УФ-С, Вт	Геометричні розміри, мм	Строк служби, год
лампи «безозонні»						
GHO436T5L	48	800	120	13	436x15	16000
GHO36T5L	87		260	28	842x15	
GHO846T5L	90		265	29	846x15	
GHO893T5L	95		270	30	893x15	
GHO64T5L	155		395	54	1554x15	
лампи «озонні»						
GHO436T5VH	48	800	120	13	436x15	16000
GHO36T5VH	87		260	28	842x15	
GHO846T5VH	90		265	29	846x15	
GHO893T5VH	95		270	30	893x15	
GHO64T5VH	155		395	54	1554x15	

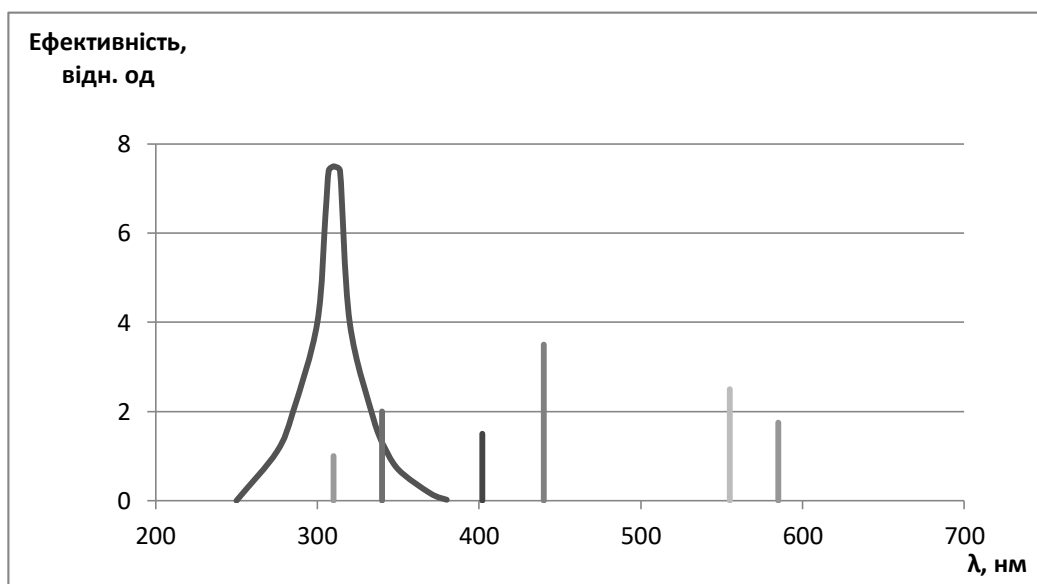


Рис. 4.10. Спектр випромінювання еритемної лампи низького тиску

Для більш довгохвильової області УФ-С діапазону 315-400 нм використовують ультрафіолетові лампи типу ЛУФ [2], що застосовують для компенсації ультрафіолетової недостатності в приладах для створення штучної засмаги шкіри, соляріях, фотохімічних процесах, фототерапії, для лікування шкіри, в фотобіології. Спектр випромінювання лампи типу ЛУФ 40 представлено на рис. 4.11.

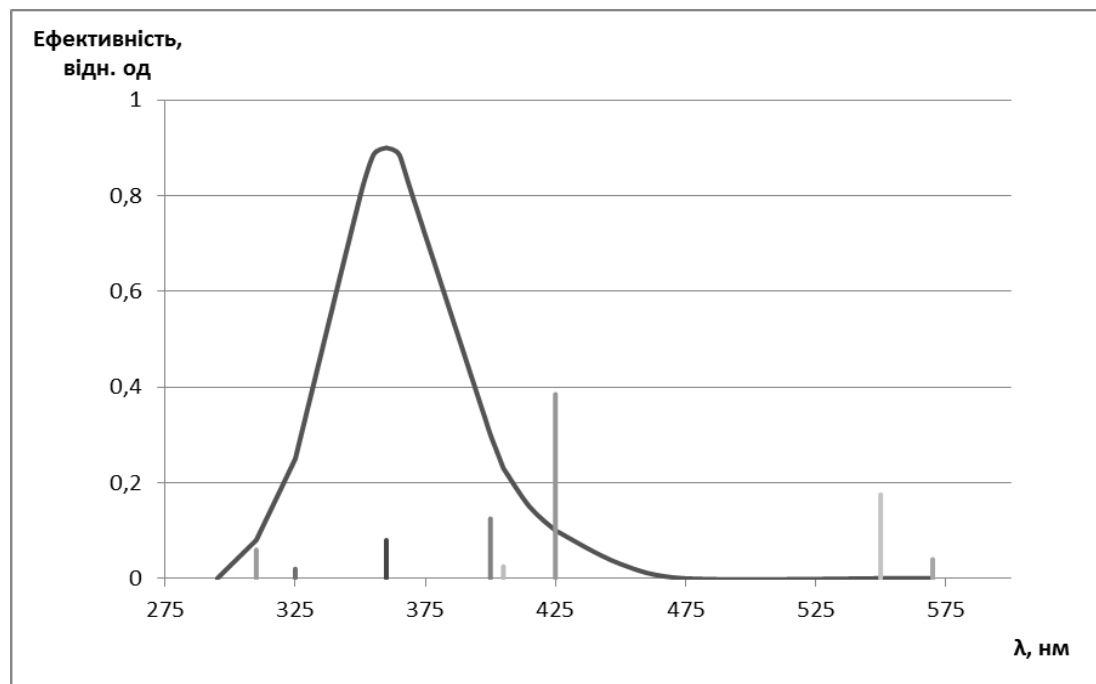


Рис. 4.11. Спектр випромінювання лампи низького тиску типу ЛУФ 40.

У таблиці 4.12 представлені параметри еритемних ламп і ламп типу ЛУФ для засмаги [2].

Таблиця 4.12

Параметри еритемних ламп і ламп типу ЛУФ

Тип лампи	Р, Вт	U, В	Спектральний діапазон випромінювання, нм	Потік випромінювання в спектральному діапазоні, Вт	Строк служби, год.	Геометр. розміри, мм
ЛЭ 30	30	104	280-315	9,5*	5000	908x30
ЛЭР 40	40	103	280-315	14,0*	3000	1213x40
ЛУФ 80	80	102	300-400	9,2	4000	1213x40
ЛУФ 80-2	80	102	300-400	10,0	7500	1213x40

* - еритемний потік, мер.

Провідні світові виробники також виготовляють еритемні лампи УФ-А діапазону, так наприклад Osram називає серію ламп для засмаги EVERSUN [25], а Philips – CLEO (CLEO Professional, CLEO Performance, CLEO EFFECT, CLEO Compact) [24]. Характеристики цих ламп представлені в таблиці 4.13 і 4.14-4.16, відповідно.

Таблиця 4.13

Характеристики ламп з випромінюванням в області А для соляріїв і косметичних салонів Osram серії EVERSUN

Тип лампи	P, Вт	Випромінювання УФ-А, Вт	Випромінювання УФ-В, Вт	Коефіцієнт безпеки**	Геометр. розміри, мм
L 100W/78 R*	100	26	0,02	>50	1760x38
L 40/79 R	40	8	0,05	4	590x38
L 80/79	80	21	0,15	4	1500x38
L 80/79 R	80	18	0,13	4	1500x38
L 100/79	100	27	0,19	4	1760x38
L 100/79 R	100	23	0,16	4	1760x38
L 100/79 Super	100	27	0,38	0,8	1760x38

Примітка: R* - рефлекторна лампа. Коефіцієнт безпеки** – відношення порогових часів еритем до прямої пігментації. Чим вище це значення тим менше ризик сонячного опіку.

Лампи EVERSUN 78 R з практично чистим ультрафіолетовим випромінюванням типу А (довжина хвилі вище 350 нм). При опромінюванні в цьому діапазоні для нормальної шкіри небезпеки отримати опік практично не існує. При достатньо тривалому опромінюванні внаслідок пігментації шкіри ефект засмаги з'являється незабаром після першого сеансу опромінювання.

Лампи EVERSUN 79 і 79 R з високою потужністю ультрафіолетового випромінювання типу А для прямої пігментації і з невеликою складовою ультрафіолетового випромінювання типу В для нового утворення пігменту. Завдяки мінімальному значенню ультрафіолетової складової типу В ризик отримати сонячний опік є мінімальним. Спектр випромінювання лампи EVERSUN L 40/79 представлено на рис. 4.12.

Лампи EVERSUN SUPER з дією аналогічною дії сонячного світла, завдяки значній складовій ультрафіолетового випромінювання типу А і

гармонічної складової типу В. Після регулярного прийняття процедур опромінювання в результаті тривалої пігментації шкіри утворюється стійка натуральна засмага при високій степені захисту шкіри від опромінювання.

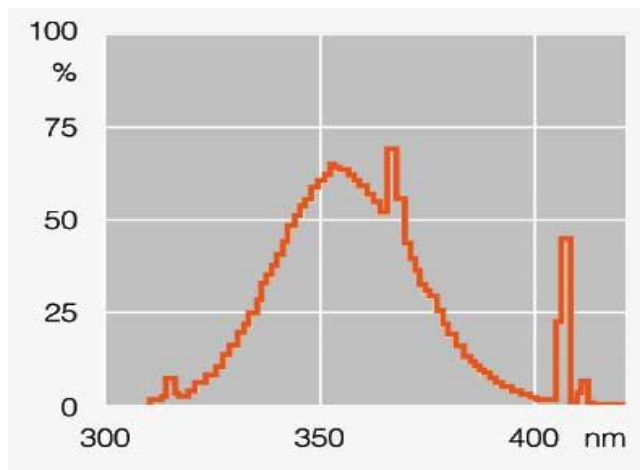


Рис.4.12. Спектр випромінювання лампи EVERSUN L 40/79

Лампи Philips – CLEO Effect є першими представниками покоління ламп для засмаги. На відміну від ламп CLEO, лампи CLEO Effect виконані в трубках T8 (діаметр 26 мм). Лампи дають довгохвильове УФ-випромінювання в діапазоні 300-400 нм. Відношення випромінювань у діапазонах UV-B/UV-A складає 1 % (UV-B діапазон 280...315 нм) або 2 % (UV-B діапазон 280...320 нм). Перевагою цих ламп є рівність потужностей випромінювання в діапазонах до 320 нм і вище 320 нм.

Сфера використання – установки для засмаги всередині приміщень.

У таблиці 4.14 наведені основні характеристики ламп Philips серії CLEO Effect для засмаги.

Ртутні люмінесцентні лампи низького тиску Philips CLEO Performance дають довгохвильове УФ-випромінювання в діапазоні 310-400 нм, що призначені для засмаги та інших використань. Відношення випромінювання в діапазонах UV-B/UV-A складає 0,7 % (UV-B діапазон 280...315 нм) або 1,4 % (UV-B діапазон 280...320 нм).

Таблиця 4.14

Характеристики ламп з випромінюванням в області А для засмаги Philips
серії CLEO Effect

Тип лампи	U, В	I, А	Випромінювання UV-A, Вт	Еритемне випромінювання, мВт з довжиною хвилі		Геометр. розміри, мм
				менше 320 нм	більше 320 нм	
Довгохвильове випромінювання УФ-А в діапазоні 300-400 нм						
Effect 70 W	105	0,85	18	14	14	1514,2x26,0
Effect 70 W-R*	105	0,85	16	12	12	1514,2x26,0
Effect 90 W	114	1,0	23	17	17	1778,0x26,0
Effect 90 W-R*	114	1,0	21	15	15	1778,0x26,0

* R - лампи з відбивачем

Сфера використання таких ламп: косметична засмага, фотохімічні процеси.

Рефлекторні (-R) мають внутрішній відбивач з поперечним кутом охоплення 200°. Лампи з символом Р у маркуванні мають випромінювання з розовим відтінком.

У таблиці 4.15 наведені основні характеристики ламп Philips серії CLEO Performance для засмаги.

Ртутні люмінесцентні лампи низького тиску Philips CLEO Professional дають довгохвильове УФ-випромінювання в діапазоні 300-400 нм, що призначені для засмаги та інших використань.

Відношення випромінювання в діапазонах UV-B/UV-A складає 1,4 % (UV-B діапазон 280...315 нм) або 2,6 % (UV-B діапазон 280...320 нм). Лампи CLEO Professional-R мають внутрішній відбивач з поперечним кутом охоплення 200°. Лампи CLEO Professional-S-R мають відношення UV-B/UV-A, рівне 1,6 %.

Для запалювання ламп для засмаги потужністю 80 Вт і 100 Вт рекомендують використовувати стартер типу S11. Для ламп потужністю 140 Вт або 160 Вт рекомендують використовувати стартер S12.

Таблиця 4.15.

Характеристики ламп з випромінюванням в області А для засмаги Philips серії
CLEO Performance

Тип лампи	U, В	I, А	Випромі- нювання UV- А, Вт	Еритемне випромінювання, мВт з довжиною хвилі		Геометр. розміри, мм
				менше 320	більше 320	
				нм	нм	
Довгохвильове випромінювання УФ-А в діапазоні 310-400 нм						
Performance 40W	49	0,86	7,4	4,04	5,58	604,0x26,0
Performance 40W-R	49	0,86	6,5	3,55	4,90	604,0x26,0
Performance 80W	110	0,83	21,0	11,47	15,83	1514,2x26,0
Performance 80W-R	110	0,83	18,5	10,10	13,95	1514,2x26,0
Performance P 80W	110	0,83	20,0	10,92	15,08	1514,2x26,0
Performance	110	0,83	18,0	9,83	13,57	1778,0x26,0
Performance 100W	122	0,97	27,0	14,74	20,36	1778,0x26,0
Performance 100W-R	122	0,97	25,0	13,65	18,85	1778,0x26,0
Performance P 100W	122	0,97	26,0	14,20	19,60	1778,0x26,0
Performance P 100W-R	122	0,97	23,0	12,56	17,34	1778,0x26,0
Performance 140W-R	118	1,46	30,0	19,00	21,47	1514,2x26,0
Performance P 160W-R	116	1,61	35,0	22,20	25,00	1778,0x26,0

Сфера використання – професійні установки для косметичної засмаги.

У таблиці 4.16 наведені основні характеристики ламп Philips серії CLEO Professional для засмаги.

Крім того відомі також люмінесцентні лампи (ЛЛ) з колбами із «чорного» скла [24, 25]. Внутрішня поверхня колби покрита люмінофором, що випромінює довгохвильове УФ-випромінювання (UV-A діапазон, довжини хвилі від 300 до 400 нм), що збуджує світіння люмінесцентних матеріалів. Чорна або темно-синя скляна колба пропускає УФ-випромінювання. Випромінювання у видимому діапазоні зведено до мінімуму, щоб воно не заважало ультрафіолетовому випромінюванню.

Сфери використання:

- контроль та аналіз у текстильній і хімічній промисловості;
- археологія, банківська справа, криміналістика, харчова промисловість, медицина, мінералогія, філателія;
- спеціальні ефекти в нічних клубах, дискотеках і театрах;

- підсвічування вивісок.

Таблиця 4.16.

Характеристики ламп з випромінюванням в області А для засмаги Philips
серії CLEO Professional

Тип лампи	U, В	I, А	Випромі- нювання UV-A, Вт	Еритемне випромінювання, мВт з довжиною хвилі		Геометр. розміри, мм
				менше 320 нм	більше 320 нм	
Довгохвильове випромінювання УФ-А в діапазоні 300-400 нм						
Professional 80W	110	0,83	18	32,76	14,04	1514,2x26,0
Professional 80W-R	110	0,83	16	29,12	12,48	1514,2x26,0
Professional 100W	122	0.97	25	45,50	19,50	1778,0x26,0
Professional 100W-R	122	0.97	21	38,22	16,38	1778,0x26,0
Professional 140W	118	1,46	30	54,60	23,40	1514,2x26,0
Professional 140W-R	118	1,46	28	50,96	21,84	1514,2x26,0
Professional 140W-S-R	118	1,46	33	51,61	24,28	1514,2x26,0
Professional 160W	116	1,61	34	61,88	26,52	1778,0x26,0
Professional 160W-R	116	1,61	31	56,42	24,18	1778,0x26,0
Professional 160W-S-R	116	1,61	37	57,87	27,23	1778,0x26,0

Основні характеристики ЛЛ Osram з «чорною» (темно-синьою) колбою
приведені в таблиці 4.17, а ЛЛ Philips в таблиці 4.18.

Таблиця 4.17.

Характеристики ЛЛ Osram з «чорною» колбою

Тип лампи	Потужність, Вт	Струм лампи, А	Габаритні розміри, мм	Цоколь
L 18W/73	18	0.37	590x26	G13
L 36W/73	36	0.43	1200x26	G13

Інтенсивність випромінювання, що виміряна на відстані 1 м від центра
лампи складає у лампи L 18W/73 $\sim 0,5$ Вт/м², а у лампи L 36W/73 ~ 1 Вт/м².

Лампи чорного світла TL(-D)/08 виконанні в лінійних трубчастих колбах і
працюють у мережі змінного струму з ПРА і стартером. Крім описаних вище
ламп, лампа PL-S 9W/08 складається із двох спаяних разом люмінесцентних
трубок; лампа PL-S 9W 2P додатково містить вбудований у цоколь стартер, що
забезпечує швидке запалювання лампи.

Для полегшення запалювання ртутні лампи низького тиску комплектуються електродами у вигляді спіралей, розташованих по кінцях трубки, через які перед подачею високовольтного імпульсу пропускається струм для їх попереднього нагрівання до відповідної температури. Попередній нагрів електродів істотно збільшує термін служби ламп. При «гарячому» запалюванні кожне включення зменшує термін служби приблизно на 2 год, а при «холодному» в кілька разів більше.

Таблиця 4.18.

Характеристики ЛЛ Philips Blacking Blue з «чорною» колбою

Тип лампи	Потужність, Вт	Струм лампи, А	Випромінювання УФ-А, Вт	Габаритні розміри, мм	Цоколь
TL 4W/08	4	0,17	0,5	1501,0x16,0	G5
TL 6W/08	6	0,16	0,9	226,3x16,0	G5
TL 8W/08	8	0,15	1,2	302,5x16,0	G5
TL-D 15W/08	15	0,34	3,1	451,6x16,0	G13
TL-D 18W/08	18	0,36	3,5	604,0x16,0	G13
TL-D 30W/08	30	0,36	6,0	908,8x16,0	G13
TL-D 36W/08	36	0,44	8,0	1213,6x16,0	G13

У процесі роботи ртутних ламп низького тиску відбувається спад потоку випромінювання [2, 3, 5, 21]. Особливо швидке його падіння відзначається за перші десятки годин горіння і може досягти більше 10 % від початкового значення. Надалі зниження потоку випромінювання сповільнюється. Цей процес ілюструється графіком, наведеним на рис. 4.13 для бактерицидної лампи ДБ 40 і ДБ 30 [2].

Значення потоку випромінювання ртутних ламп низького тиску залежить від температури навколишнього повітря. Оптимальне значення температури навколишнього повітря дорівнює 20°C. Зниження або збільшення цієї температури призводить до зміни параметрів лампи, що представлено графіком, наведеним на рис. 4.14. Зниження температури призводить також до зменшення терміну служби і погіршення запалювання [2, 5].

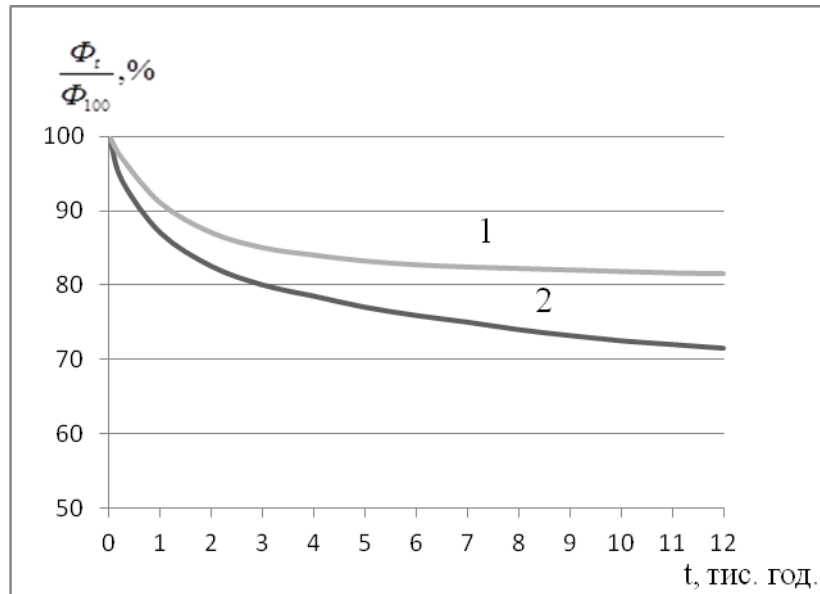


Рис. 4.13. Залежність спаду потоку випромінювання ртутних ламп низького тиску від часу горіння (1 – ДБ-40; 2 – ДБ-30)

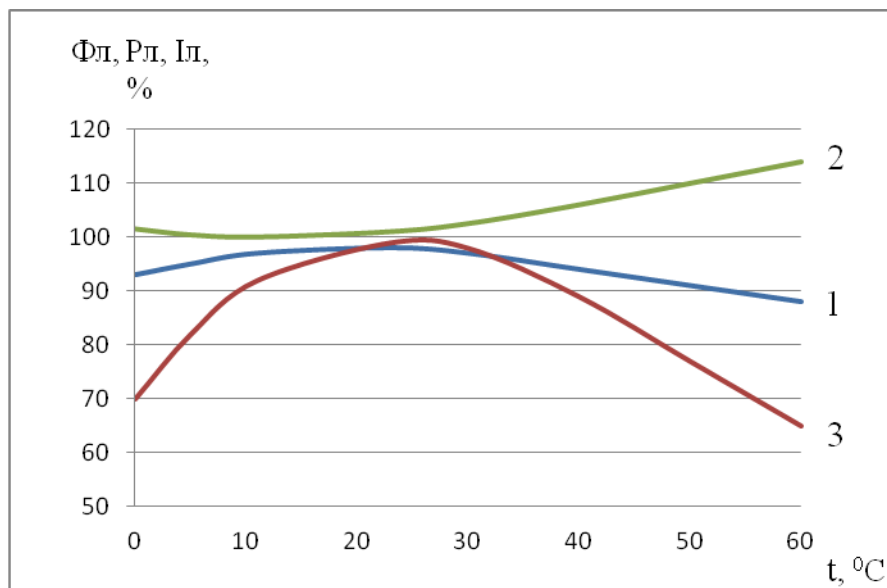


Рис.4.14. Залежність параметрів ртутної лампи низького тиску від температури оточуючого середовища:

1 – потужність лампи $P_{\text{л}}$; 2 – струм $I_{\text{л}}$; 3 – потік випромінювання $\Phi_{\text{л}}$

При температурах менше 10°C значне число ламп може не запалюватися. Цей ефект посилюється при зниженні напруги мережі [2, 5]. Електричні та випромінювальні характеристики ртутних ламп низького тиску залежать від

коливань напруги мережі. На рис. 4.15 наведено графік залежності потужності лампи і потоку випромінювання від коливання напруги мережі.

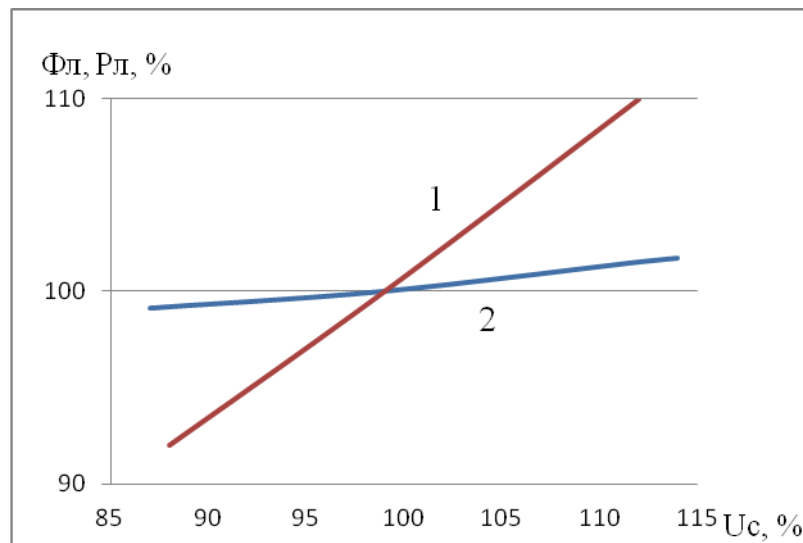


Рис. 4.15. Зміна потужності ртутної лампи низького тиску (1) і потоку випромінювання (2) від коливань напруги в мережі

Залежно від типу лампи струм варіюється від 1,8 до 0,1 А, термін служби ламп низького тиску залежить від типу баласту, що використовується. Традиційно при використанні пускового апарату типу (дросель) термін служби не перевищує 5-9 тис. годин, з використанням електронних пускових апаратів так званих HF (high frequency) баластів термін служби досягає 16-18 тис. год і вище [21].

Одним із різновидів ламп низького тиску є амальгамні лампи [2], які широко використовуються для бактерицидного знезараження, джерелом УФ-випромінювання є дуговий розряд в парах ртуті та інертних газах, як і в звичайних лампах низького тиску. Різниця між ними полягає в джерелі парів ртуті: в колбу ртутних ламп поміщають крапельку металевої ртуті, а в амальгамних лампах використовують амальгаму – твердий сплав ртуті з металами. На рис.4.16 представлено зовнішній вигляд амальгамної лампи НПО «ЛІТ» DB 300.



Рис. 4.16. Амальгамна лампа НПО «ЛІТ» DB 300

Використання амальгами дає можливість підтримувати оптимальний тиск парів ртуті в розряді низького тиску при значно більших струмах і, відповідно, потужностях, чим у традиційних лампах низького тиску з використанням рідкої ртуті (тиск насичених парів ртуті над рідкою ртуттю значно вище ніж над амальгамою при однаковій температурі). Таким способом можна підняти електричну потужність розряду до 2-3 Вт/см і зберегти високий ККД перетворення електричної потужності в УФ-випромінювання, що властиве ртутним лампам низького тиску.

Крім того, використання амальгами дає можливість підняти як робочу температури колби, так і збільшити діапазон зовнішніх температур, при яких зберігається висока світловіддача лампи. Використовуючи різний склад амальгам, можна отримати області стабілізації тиску парів ртуті в різних температурних діапазонах. Ширина діапазону температур із стабільним тиском парів ртуті також визначається складом амальгами. На рис. 4.17 показано, що використовуючи 4-х компонентну амальгаму можна забезпечити тиск парів ртуті 0,7-1,5 Па в широкому діапазоні температур від 60 до 150 °С. Таким чином, для необхідної потужності лампи можна підібрати свій оптимальний склад амальгами (рис. 4.17-4.19).

У найбільш простому варіанті амальгамної лампи [21], що містить ртуть, сплав розміщується безпосередньо на внутрішній стінці розрядної трубки. При цьому температура стінки співпадає з робочою температурою амальгами. Для деякого складу амальгам характеристики тиску настільки стабільні, що лампа

може ефективно працювати в широкому діапазоні температур стінки колби, наприклад від 80 до 130 °С (див. рис. 4.17-4.19).

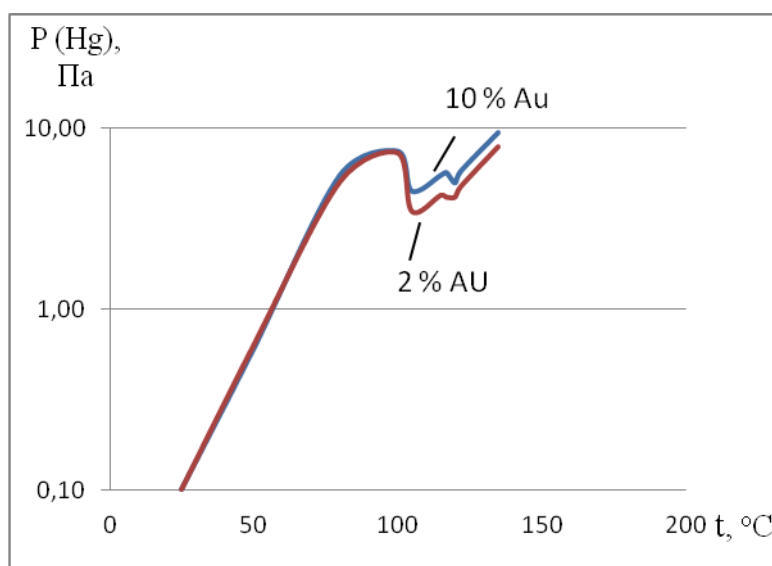


Рис.4.17. Залежність тиску парів ртуті від температури над $\text{Bi}_{0,55}\text{Pb}_{0,43}\text{Au}_{0,02}\text{Hg}_{0,01}$ і $\text{Bi}_{0,5}\text{Pb}_{0,4}\text{Au}_{0,1}\text{Hg}_{0,01}$ амальгамами

На рис. 4.18 наведена залежність відносної потужності випромінювання від температури стінки амальгамної лампи. На рис. 4.19 приведена залежність потужності УФ-випромінювання від температури стінки для ртутних і амальгамних ламп. Оскільки амальгамні лампи працюють при високих температурах стінки [21], тому потужність не так чутлива до зміни температури оточуючого середовища, як у ртутних ламп низького тиску.

У даний час світові лідери у виробництві амальгамних ламп пропонують джерела УФ-випромінювання потужністю від 50 до 1000 Вт з ККД від 25 до 42 %, при розрядних струмах від 1 до 7 А, спадом УФ-випромінювання до кінця строку служби 5-30 % і корисним терміном служби від 8000 до 18 000 годин.

До основних лідерів у виробництві таких специфічних джерел світла, як потужна амальгамна лампа можна віднести наступні компанії [21]: Heraeus Nobelight (Німеччина), Philips Lighting (Нідерланди), LSI/Lighttech (США/Угорщина), First Light (США) і Ushio (Японія).

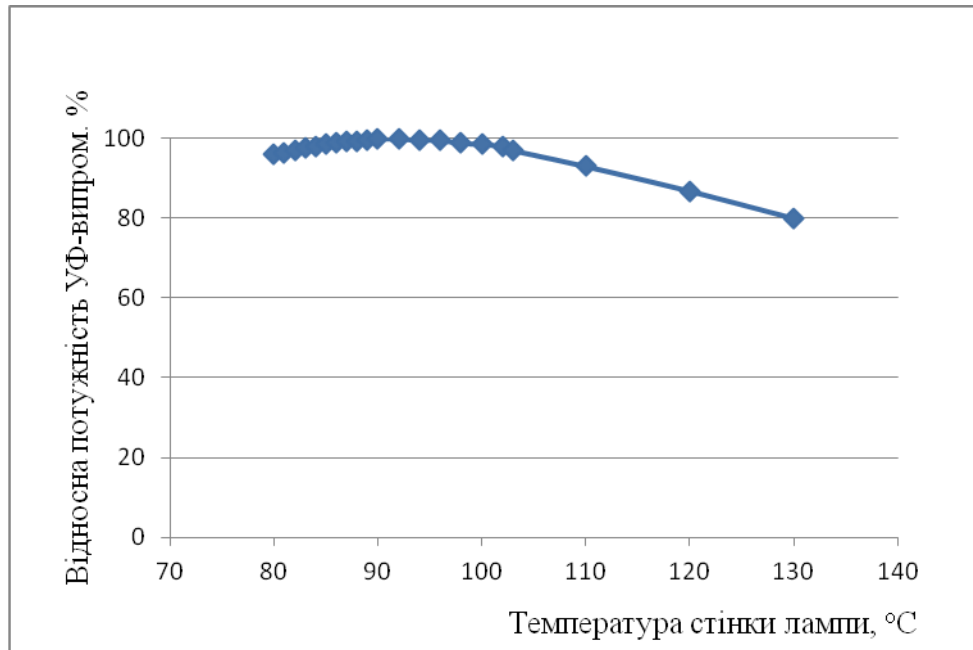


Рис.4.18. Залежність потужності УФ-випромінювання амальгамної лампи низького тиску від температури стінки колби

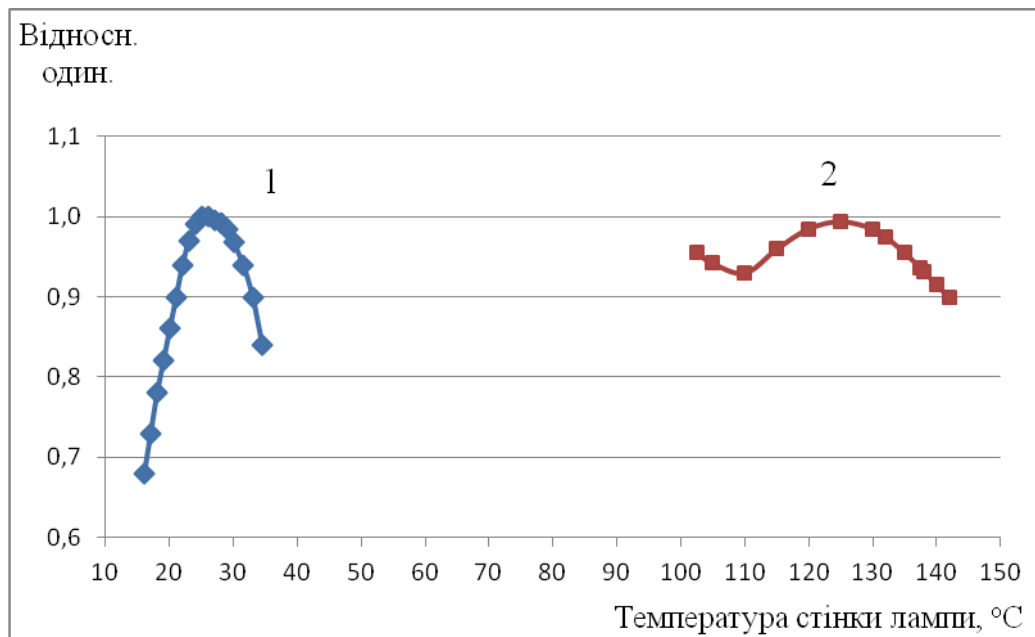


Рис.4.19. Залежність потужності УФ-випромінювання від температури стінки колби для ртутної (1) і амальгамної (2) ламп

Широке різноманіття амальгамних джерел пов'язано з тим, що такі лампи отримують все більше і більше поширення в різних сферах використання,

головними з яких залишаються знезараження води, повітря і поверхні. Можна сказати, що за останні 15 років ринок обладнання, як втім і ринок самих амальгамних бактерицидних ламп збільшується. У багатьох випадках амальгамна лампа низького тиску є не тільки оптимальним рішенням для завдань знезараження води і повітря, а часто і єдино можливим, тому що за сукупністю ключових показників є єдиною альтернативою: ефективність (бактерицидна, а також і енергетичний ККД), екологічність (вміст ртуті та інших шкідливих матеріалів), строк служби лампи і ЕПРА [28], спад УФ-випромінювання [29], вартість лампи і ЕПРА, одинична потужність.

Незважаючи на простоту, амальгамна лампа є складним електровакуумним пристроєм. Крім високого ККД вона повинна володіти високим ресурсом і працювати 1-2 роки без помітного зниження потужності УФ-випромінювання при зміні температури зовнішнього середовища 5-70 °С [21]. Розміри ламп і їх потужність залежать від конкретних сфер використання. Для запобігання утворення озону в повітрі колба лампи виготовлена з кварцу, легованого окисом титану (приблизно 200 ppm), що поглинає озонове випромінювання з довжиною хвилі 185 нм. Такі лампи називають безозоновими, і спектр УФ-випромінювання бактерицидної дії складається з однієї лінії 254 нм.

Однією з основних цілей виробників є збільшення потужності бактерицидних амальгамних ламп при збереженні ККД генерації УФ-випромінювання 254 нм близько 35-40 % і корисним строком служби не менше 12 000-16 000 годин для використання в установках знезараження води і повітря.

Останнім часом і з урахуванням значного прогресу в технології використання амальгамних ламп, особливо потужних джерел, важливого значення набуває питання енергозбереження. Сучасні потужні амальгамні лампи [21], наприклад лампи НПО «ЛІТ» DB500, DB700HO, DB900HO (табл.4.19) спільно з відповідним електронним баластом, керованим контролером, дають можливість здійснювати глибоке регулювання УФ-

потужності (а також і електричної потужності) системи в діапазоні від 100 до 30 %, при цьому використання багатокомпонентних амальгам і спеціальних алгоритмів роботи електродів лампи дозволяють не тільки здійснювати регулювання, але й істотно збільшувати при цьому ККД всієї системи. Таким чином, УФ-обладнання на базі таких потужних амальгамних ламп зі спеціальними властивостями забезпечує економічний режим роботи при зменшеній (наприклад, у нічний час) витраті води.

Таблиця 4.19

Амальгамні лампи НПО «ЛІТ» серії НО потужність від 115 до 610 Вт

Тип лампи	Потужність лампи, Вт	Гарантійний строк служби, год	Габаритний розмір, мм
DB 125 НО	115	10000	412
DB 250 НО	228		682
DB 500 НО	460		1227
DB 700 НО	610		1660

Важливою характеристикою є число вмикань-вимикань лампи [29], яке залежить від конструкції електродного вузла лампи, алгоритму роботи ЕПРА і їх взаємного узгодження. Правильний вибір алгоритму запуску ЕПРА в стартовий період, оптимальна конструкція електроду, здатність працювати з заданим ЕПРА струмом лампи, дозволяють досягати строку служби лампи до 25 000 годин, при цьому число вмикань-вимикань може досягати 50-100 тис. циклів, що цілком порівняно вже і з безелектродними варіантами амальгамних ламп. Однак можна відзначити, що в більшості випадків цілком достатньою є величина 2000-5000 включень протягом усього строку служби лампи. Деякі компанії, про які згадувалося вище, крім можливості виробництва амальгамних джерел УФ-випромінювання можуть пропонувати і готові рішення, тобто комплект «лампа + ЕПРА» вже з оптимально підібраними параметрами. Це така компанія як Philips Lighting.

Взагалі варто було б зазначити, що сучасні тенденції розвитку амальгамних ламп визначаються відповідними завданнями, так, наприклад, задача зниження вартості УФ-установок та зменшення експлуатаційних витрат при заміні ламп приводить до задачі створення амальгамної лампи з високою одиничною потужністю, що дозволяє знизити кількість лампових вузлів, зробити установку більш компактною і дешевою при тій же витраті і якості води. З іншого боку, підвищення потужності лампи призводить до зниження її ККД, а також і до ще більшого зниження сумарного ККД системи «лампа-ЕПРА» за рахунок зниження ККД ЕПРА. Тому задача вибору джерела є комплексною з урахуванням первинних капіталовкладень в обладнання, витрат на заміну ламп і ЕПРА і експлуатаційних витрат.

Використання багатокомпонентних амальгамних ламп дозволяє отримувати джерела випромінювання з декількома максимумами потужності випромінювання за температурою [21]. Внаслідок складності розрахунку термодинамічних функцій багатокомпонентних амальгам вибір амальгами здійснюється експериментальним шляхом, що не завжди є простою задачею для вирішення. Це і обмежує широке використання амальгамних ламп в сферах діяльності людства з метою бактерицидного знезараження.

РОЗДІЛ 5 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ

5.1 Методика вимірювання енергетичної освітленості та дози УФ-випромінювання

Вимірювання параметрів джерел УФ-випромінювання проводять методом вимірювання енергетичної освітленості в областях А, В, С і, у разі потреби, розрахунку за отриманими даними енергетичної сили випромінювання джерел в областях А, В, С, або енергетичної дози випромінювання в областях А, В, С [1, 2].

При проведенні вимірювань застосовують засоби виміральної техніки, зазначені в таблиці 5.1 [1].

Таблиця 5.1

Засоби виміральної техніки

№ п/п	Найменування засобів виміральної техніки	Метрологічні характеристики	
		Діапазон вимірювань	Границя основної похибки
1	Радіометр енергетичної освітленості ультрафіолетового діапазону (Тензор -31)	$(10^{-4} - 2 \cdot 10^2)$ Вт/м ² від 200 нм до 400 нм	$\delta = \pm 10\%$
2	Рулетка	5 м	ц.п. 1 мм
3	Секундомір	Від 0 с до 30 хв	$\Delta = \pm 0,1$ с

При проведенні вимірювань можливо застосування будь-яких радіометрів енергетичної освітленості, метрологічні характеристики яких, не гірше вказаних у таблиці. Також дана вимірвальна техніка повинна бути повіреною або пройти державну метрологічну атестацію.

При проведенні вимірювань повинні дотримуватися необхідні умови (вимоги до навколишнього середовища):

- температура навколишнього повітря від 10°C до 35°C;
- атмосферний тиск від 84,0 кПа до 106,7 кПа (від 630 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.);
- вологість повітря від 40 % до 80 %.

При проведенні вимірювань потрібно дотримуватися вимог безпеки:

1. Вимоги ДНАОП 0.00-1.21-98 [3].
2. Якщо загальна поверхня незахищених ділянок шкіри вимірювача не більше, ніж 0,2 м², тривалість періоду опромінення до 5 хв., тривалість пауз між ними не менше, ніж 60 хвилин, то при цьому енергетична освітленість в місці проведення вимірювань не повинна перевищувати [1]:
 - для області А (400 нм – 315 нм) – 50 Вт/м²;
 - для області В (315 нм – 280 нм) – 0,05 Вт/м²;
 - для області С (280 нм – 200 нм) – 0,001 Вт/м².

У зворотньому випадку слід припинити вимірювання і забезпечити додатковий захист персоналу від УФ-випромінювання.

Підготовка до проведення вимірювань:

1. Перед проведенням вимірювань необхідно переконатися у працездатності джерела УФ-випромінювання. За експлуатаційними документами встановити тип і повне найменування джерела. Необхідно перевірити працездатність радіометра відповідно до його експлуатаційних документів.

2. Забезпечити надійне відтворюване встановлення радіометра, що дозволяє не змінювати його положення при установці фільтрів і вимірюванні відстані від нього до джерела. Радіометр повинен бути орієнтований на джерело УФ-випромінювання. Підготувати радіометр для роботи в діапазоні, у якому очікується максимальна освітленість.

3. Стабілізувати параметри джерела УФ-випромінювання (якщо це передбачено їхньою технічною документацією) і засоби вимірювальної техніки, які застосовують, протягом часу, що зазначений у експлуатаційних документах.

4. Виміряти освітленість у діапазоні, в якому очікується максимальна освітленість, за скороченою методикою (без використання фільтрів і введення поправок).

5. Проконтролювати освітленість за скороченою методикою (без використання фільтрів і внесення поправок), переконатися у стабільності показників. Час спостереження – не менше, ніж 5 хвилин.

6. Проконтролювати можливість застосування радіометра для роботи з вимірюваним джерелом УФ-випромінювання відповідно до РМГ 69 [4], РМГ 70 [5] і РМГ 71 [6]. Для цього у кожній з областей А, В, С варто виміряти сигнал від джерела без додаткових фільтрів, потім виміряти сигнал від радіометра з додатковими фільтрами. Якщо перший сигнал буде складати більше, ніж 5 % від другого сигналу, радіометр до роботи з даним джерелом не придатний. Фільтри з кольорового скла за РМГ 69, РМГ 70 і РМГ 71 можуть бути замінені фільтрами з комплекту радіометра. Контроль роботи радіометра з вимірюваним джерелом можна замінити контролем роботи радіометра з побутовою лампою розжарювання, що істотно підвищує якість перевірки характеристик радіометра.

Методика вимірювання енергетичної освітленості та дози УФ-випромінювання в [3]:

1. Вимірювання енергетичної освітленості проводять з метою визначення впливу УФ-випромінювання на об'єкт, що знаходиться у місці опромінювання. При вимірюванні енергетичної освітленості виконати наступні дії:

- Зафіксувати покази радіометра в областях А, В, С без додаткових фільтрів і з додатковими фільтрами;
- У разі потреби (наприклад, для соляріїв), повторити попередньо вказані дії у кількох точках. Зафіксувати розташування точок вимірювання, вказавши їх відносно характерних точок апаратури.

2. Вимірювання дози енергетичної освітленості проводиться з метою визначення впливу УФ-випромінювання на об'єкт, що знаходиться у місці опромінювання і піддається впливу УФ-випромінювання обмежений час.

Розрізняють вимірювання дози УФ-випромінювання від джерел з постійним рівнем випромінювання і від джерел з рівнем випромінювання, що змінюється.

2.1 Доза, одержувана від джерел з постійним рівнем випромінювання, залежить від часу перебування об'єкта в зоні опромінення, тому час перебування не вимірюють, а тільки вказують. При вимірюванні дози енергетичної освітленості від джерел з постійним рівнем випромінювання виконати наступні дії:

- Зафіксувати покази радіометра в областях А, В, С без додаткових фільтрів, а потім і з додатковими фільтрами.

2.2 Доза, одержувана від джерел з рівнем випромінювання, що змінюється, залежить від часу перебування об'єкта в зоні опромінення і режиму роботи джерела. При вимірюванні дози енергетичної освітленості від джерел з рівнем випромінювання, що змінюється, виконати наступні дії:

- З'ясувати відрізок часу, протягом якого варто визначити дозу. Початок відрізка часу повинен бути визначений відносно характерних подій, наприклад, відносно вмикання джерела або відносно розміщення об'єкта в зоні опромінення;
- Зафіксувати покази радіометра без насадки в області А через рівні проміжки за час, протягом якого необхідно визначити дозу. Число вимірювань, що рекомендується – від 10 до 20 за зазначений час. Мінімальний проміжок між вимірюваннями повинен бути більше часу встановлення показів приладу. Зафіксувати час вимірювань відносно характерної дії (зазначеної у попередньому пункті);
- Зафіксувати покази радіометра з насадкою в області А в такі ж моменти часу;
- Повторити вказані дії для областей В, С;
- Виключити джерело і радіометр відповідно до правил, що викладені в експлуатаційних документах.

3. Вимірювання енергетичної сили випромінювання джерела роблять з метою одержання характеристики джерела УФ-випромінювання.

3.1 Для вимірювання максимальної енергетичної сили випромінювання джерела встановити радіометр у площині симетрії джерела на відстані, що не менше ніж у два рази перевищує максимальний розмір джерела. Відстань, що рекомендується – 5 максимальних розмірів джерела. Виміряти відстань від центра джерела до радіометра, результат записати до протоколу вимірювань.

3.2 Зафіксувати покази радіометра в областях А, В, С без додаткових фільтрів і з додатковими фільтрами.

3.3 Для вимірювання просторового розподілу енергетичної сили випромінювання джерела з'ясувати напрямки, в яких слід провести вимірювання. Зафіксувати покази радіометра в областях А, В, С без додаткових фільтрів і з додатковими фільтрами для кожного напрямку.

Обробка та оформлення результатів вимірювання:

1. Ввести в результати вимірювань поправки, які обумовлені розходженням умов при градуванні радіометра і проведенні вимірювань. Розрахувати для кожного джерела величину енергетичної освітленості за отриманими результатами вимірювань, відповідно до правил даної методики, або в експлуатаційних документах радіометра;
2. При необхідності розрахувати дозу енергетичної освітленості й енергетичну силу випромінювання джерела для кожного джерела.

Для коректного вимірювання енергетичної освітленості необхідно мати приймач з постійною спектральною чутливістю усередині однієї з областей А, В чи С і нульовою чутливістю поза цієї області. Технічно цю вимогу дуже важко реалізувати, тому виникають специфічні спектральні проблеми, що приводять до істотних похибок. Введення спектральних поправок проводиться для того, щоб врахувати відмінність реальної спектральної чутливості каналів радіометра від ідеальної і відмінність умов при вимірюванні від умов, при яких

проводилось градування радіометра. Нижче наведені основні формули, що використовують при внесенні поправок.

Сигнал кожного з каналів радіометра з А, В, С каналами може бути записаний

$$I_{A,B,C} = \int_0^{\infty} E(\lambda) S_{A,B,C}(\lambda) d\lambda \quad (5.1)$$

де: $I_{A,B,C}$ – сигнали кожного з А, В, С каналів радіометра; $S_{A,B,C}(\lambda)$ – чутливості каналів радіометра; $E(\lambda)$ – спектральна освітленість у площині радіометра.

Результат вимірювання енергетичних освітленостей у відповідних інтервалах $E_{A,B,C}$ може бути записаний

$$E_{A,B,C} = \frac{\int_{A,B,C} E(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} E(\lambda) S_{A,B,C}(\lambda) d\lambda} = \frac{I_{A,B,C}}{\int_0^{\infty} E(\lambda) S_{A,B,C}(\lambda) d\lambda} \quad (5.2)$$

де: $E(\lambda)$ – відносна спектральна освітленість у площині радіометра; $S_{A,B,C}(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість приймачів А, В, С каналів, тобто кожна з них нормована на якій-небудь довжині хвилі у межах А, В, С діапазонів;

$S_{A,B,C}(\lambda)$ – виміряна експериментально абсолютна чутливість приймачів А, В, С каналів, її визначення й урахування є завданням виробника радіометра.

Рівняння 5.2 містить коефіцієнт актинічності – вираз

$$F_{A,B,C} = \frac{\int_{A,B,C} E(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} E(\lambda) S_{A,B,C}(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} E(\lambda) \Pi_{A,B,C}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} E(\lambda) S_{A,B,C}(\lambda) d\lambda} \quad (5.3)$$

Для неточкового джерела освітленість, створювана ним $E_{A,B,C}$, зв'язана з енергетичною силою випромінювання джерела $I_{A,B,C}$ і відстанню від джерела до радіометра L рівнянням

$$I_{A,B,C} = E_{A,B,C} L^2 K_g \quad (5.4)$$

Величина K_g [7] визначається за таблицею 5.2 у залежності від відстані між джерелом і радіометром, що виражена в частках від максимального розміру лампи.

Наприклад, якщо відстань від радіометра до лампи 2 метри, максимальний розмір лампи 1 метр, то відстань у частках від розміру лампи складе 2, коефіцієнт 1,17.

Таблиця 5.2

Визначення величина K_g

Відстань у частках розміру лампи	Множник	Відстань у частках розміру лампи	Множник	Відстань у частках розміру лампи	Множник
1	1,60	4	1,05	7	1,01
1,1	1,51	4,1	1,04	7,1	1,01
1,2	1,44	4,2	1,04	7,2	1,01
1,3	1,38	4,3	1,04	7,3	1,01
1,4	1,33	4,4	1,04	7,4	1,01
1,5	1,30	4,5	1,04	7,5	1,01
1,6	1,26	4,6	1,03	7,6	1,01
1,7	1,23	4,7	1,03	7,7	1,01
1,8	1,21	4,8	1,03	7,8	1,01
1,9	1,19	4,9	1,03	7,9	1,01
2	1,17	5	1,03	8	1,01
2,1	1,16	5,1	1,03	8,1	1,01
2,2	1,14	5,2	1,03	8,2	1,01
2,3	1,13	5,3	1,03	8,3	1,01
2,4	1,12	5,4	1,02	8,4	1,01
2,5	1,11	5,5	1,02	8,5	1,01
2,6	1,10	5,6	1,02	8,6	1,01

2,7	1,10	5,7	1,02	8,7	1,01
2,8	1,09	5,8	1,02	8,8	1,01
2,9	1,08	5,9	1,02	8,9	1,01
3	1,08	6	1,02	9	1,01
3,1	1,07	6,1	1,02	9,1	1,01
3,2	1,07	6,2	1,02	9,2	1,01
3,3	1,07	6,3	1,02	9,3	1,01
3,4	1,06	6,4	1,02	9,4	1,01
3,5	1,06	6,5	1,02	9,5	1,01
3,6	1,06	6,6	1,02	9,6	1,01
3,7	1,05	6,7	1,02	9,7	1,01
3,8	1,05	6,8	1,02	9,8	1,01
3,9	1,05	6,9	1,02	9,9	1,01

Існує багато методів обліку кінцевого розміру джерела, що відображають різні ступені наближення до дійсності. При будь-якій моделі розрахунку похибка кінцевого розміру джерела стає несуттєвою при вимірюваннях на відстані більше ніж 4 максимальних розмірів лампи. Допускається використання інших способів введення поправок, наприклад, відповідно до РМГ 69, РМГ 70 і РМГ 71, у цьому випадку варто вказати формулу, за якою була розрахована поправка.

Для обчислення дози енергетичної освітленості в областях А, В, С УФ-діапазону $D_{A,B,C}$ від джерел з постійним рівнем випромінювання необхідно помножити енергетичну освітленість $E_{A,B,C}$ [Вт] у відповідній області на час t [с] перебування об'єкта в цій області

$$D_{A,B,C} = E_{A,B,C} t \quad (5.5)$$

Для обчислення дози енергетичної освітленості в областях А, В, С УФ-діапазону $D_{A,B,C}$ від джерел з перемінним рівнем випромінювання необхідно при вимірюванні в кожен момент часу помножити енергетичну освітленість $E_{A,B,C}^i$ [Вт] у відповідній області на час t_i [с] між вимірюваннями і додати результати.

$$D_{A,B,C} = \sum_{i=0}^n E_{A,B,C}^i t_i \quad (5.6)$$

5.2 Методика вимірювання бактерицидного потоку

Вимірювання випромінювання бактерицидних ламп здійснюють у наступному порядку [2]:

Опроміненість, пропорційна потоку випромінювання, вимірюють радіометром «Аргус-06», Тензор-31 або будь-яким іншим атестованим радіометром у ранзі робочого засобу вимірювань, за умови, що його основна відносна похибка σ не більша ніж 10 %. Динамічний діапазон вимірюваної опроміненості при похибці 10 % для «Аргуса-06» рівний $1 \cdot 10^{-3}$ -2,00 Вт/м², для «Тензора-31» – $1 \cdot 10^{-3}$ -2·10² Вт/м². У переважній більшості опромінювачів у медичних установах використовують лампи типу ДРБ-8, ДБ-15 і ДБ-30 з номінальним бактерицидним потоком 1,6, 2,5 і 6 Вт, відповідно. Якщо скористатися формулами (5.7 і 5.8), то можна обчислити, з урахуванням розміру ламп, опроміненість від ламп у місці установки приймальної головки радіометра: 0,57 Вт/м² (на відстані 0,5 м), 0,22 і 0,5 Вт/м² (на відстані 1,0 м) відповідно. Отже, ці значення опроміненості знаходяться у межах динамічного діапазону радіометра.

Для оцінки похибки при вимірюванні потоку випромінювання використовують «робочі еталони» (РЕ). Потік випромінювання РЕ при номінальній напрузі мережі повинен відрізнятись не більш, ніж на + 5 % від номінального значення, вказаного в ТУ на лампи, що використовують в опромінювачі. Повинно бути не менше двох РЕ для кожного типу ламп. Потік випромінювання лампи при відборі РЕ визначають формулою:

$$\Phi_p = \Omega_{\text{ц}} I = \Omega_{\text{ц}} E'_p \lambda^2 \quad (5.7)$$

де $\Omega_{\text{ц}}$ – еквівалентний тілесний кут, рівний для газорозрядного циліндрового випромінювача 11,3 ср, згідно [8, 9]; I – сила випромінювання лампи, Вт/ср; E'_p – опроміненість, Вт/м², виміряна радіометром; λ – відстань між лампою і радіометром у метрах. При відношенні довжини випромінювальної частини лампи, L до λ не більше 0,2 відносна похибка за рахунок відхилення від закону квадрата відстані не більше ніж 1 % [10].

Згідно [11] при $L/\lambda < 0.2$:

$$E''_p = I \frac{(f + 0.5 \sin 2f)}{L\lambda}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.8)$$

де: $f = \arctg(L/2\lambda)$, рад – кут, під яким видно половину випромінювальної частини лампи із точки безпосередньо під лампою, де розташований радіометр; E''_p – сумарна опроміненість від двох симетричних (лівої і правої) випромінювальних частин лампи, виміряна радіометром у цій точці, Вт/м².

Використовуючи формулу (5.8) і зробивши відповідні перетворення, отримаємо формулу для визначення потоку випромінювання:

$$\Phi_p = \frac{E''_p L \lambda \Omega_{\text{ц}}}{(f + 0.5 \sin 2f)}, \text{ Вт} \quad (5.9)$$

Відносну похибку відхилення від закону квадрата відстані залежно від відношення L/λ можна обчислити за формулою:

$$\sigma = (1 - E'_p / E''_p) \cdot 100, \% \text{ або}$$

$$\sigma = \left\{ 1 - \frac{L}{\lambda} \left(\arctg \frac{L}{2\lambda} \right) + 0.5 \sin 2 \arctg \left(\frac{L}{2\lambda} \right) \right\} \cdot 100, \% \quad (5.10)$$

Значення відносної похибки відхилення від закону квадрата відстані, що обчислено за формулою (5.10), для лампи з довжиною частини, що світить $L = 0,8$ м при $\lambda = 1, 2, 3$ і 4 м складає $\sigma = 10, 3, 2, 6$ і 1 % відповідно.

При визначенні потоку випромінювання РЕ необхідно оцінювати основну відносну похибку вимірювання Δ , використовуючи методи математичної статистики. Для цього необхідно провести $n \geq 6$ вимірювань значення опроміненості E_1 від кожної лампи і обчислити значення потоку випромінювання $\Phi_{P(l)}$ за формулою (5.9). Далі:

- визначають середнє арифметичне значення потоку випромінювання:

$$\bar{\Phi}_P = \frac{\sum_{l=1}^{l=n} \Phi_{P(l)}}{n} \quad (5.11)$$

- відносне середнє квадратичне відхилення результатів вимірювань визначають формулою:

$$\sigma_{\text{відн}} = \frac{\left[\frac{\sum_{l=1}^{l=n} (\Phi_{P(l)} - \bar{\Phi}_P)^2}{n(n-1)} \right]^{0,5}}{\bar{\Phi}_P} \times 100, \% \quad (5.12)$$

- значення коефіцієнта Стюдента для довірчого вірогідності $0,95$ визначають формулою:

$$t_{0,95} = 2 \left[\frac{n-1}{n-3} \right]^{0,5} \quad (5.13)$$

- довірчі границі (без урахування знаку) випадкової похибки результату вимірювань визначають формулою:

$$\varepsilon = t_{0,95} \cdot \sigma_{\text{відн}} \quad (5.14)$$

- якщо $\theta/\sigma_{\text{відн}} \leq 0,8$, тоді невиключною систематичною похибкою в порівнянні з випадковою нехтують і приймають за похибку результату вимірювань $\Delta = \varepsilon$;
- якщо $\theta/\sigma_{\text{відн}} > 8$, тоді випадковою похибкою в порівнянні з систематичною нехтують і приймають, що межа похибки результату вимірювань $\Delta = \theta$;
- якщо $\theta/\sigma_{\text{відн}} < 8$, тоді похибка результату вимірювань $\Delta = \theta + \varepsilon$.

Результати вимірювань вважають задовільними, якщо $\Delta \leq 15\%$.

Приведемо практичний приклад визначення бактерицидного потоку лампи ДБ-30.

Вимірювання проводилися при напрузі мережі 220 В з баластним опором у вигляді зразкового вимірювального дроселя. Виміри опроміненості проводилися через 10 хв після прогрівання лампи, потім живлення лампи відключалося на 10 хв. Такий цикл повторювався 6 разів. Результати вимірювань опроміненості наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Результати вимірювань опроміненості

n_1	1	2	3	4	5	6
$E_p'', \text{ Вт/м}^2$	0,473	0,497	0,489	0,493	0,478	0,48
$\Phi_{p(1)}, \text{ Вт}$	5,9	6,2	6,1	6,15	5,96	6,0

У цій же таблиці приведені значення потоку випромінювання лампи для кожного виміру, обчислені за формулою (5.9) з розрахунку на те, що частина лампи, яка світиться $L = 0,8$ м, а $f = \arctg(L/2\lambda) = 21,8^\circ = 0,38$ рад.

Використовуючи дані таблиці 5.3, за формулами (5.11), (5.12), (5.13) і (5.14) розраховують значення відповідно Φ_p , $t_{0,95}$ і ε , які зведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Значення Φ_p , $t_{0,95}$ і ε

Φ_p , Вт	$\sigma_{\text{відн}}$, %	$t_{0,95}$	ε , %
6,05	1,93	2,58	4,98

Оскільки $\theta/\sigma_{\text{відн}} = 10/1,93 \approx 5$, тоді $\Delta = \theta + \varepsilon = 10 + 4,98 = 14,98 < 15\%$.

Отже, результати визначення бактерицидного потоку лампи ДБ-30 $\Phi_p = 6,05$ Вт з довірчою ймовірністю 0,95 є задовільними.

ВИСНОВКИ

1. Показана перспективність використання УФ-випромінювання в різних сучасних технологіях, зокрема для:

- 1) бактерицидного знезараження повітря, води, технологічного та медичного обладнання, медичних інструментів та інш.
- 2) при лікуванні дерматитів, псоріазу та інших захворювань шкіри;
- 3) активації штучних імплантатів, полімеризації матеріалів в стоматології;
- 4) штучній засмазі в фотаріях та соляріях;
- 5) опромінення посівного матеріалу сільгоспкультур;
- 6) опромінення рослин в умовах вирощування овочів в закритому ґрунті;
- 7) опромінення тварин і птиці;
- 8) опромінення сипучих харчових продуктів та зерна з метою їх захисту від грибків та інш.

Широке використання УФ-випромінювання отримує в харчовій та переробній промисловості для дезінфекції тари та упаковки, виробничих приміщень, обладнання, а також для боротьби зі шкідниками (фототаксис) та інш.

2. Створена база даних по УФ-джерелам випромінювання (розрядних ламп низького тиску), які знайшли найбільш широке використання в УФ-опромінювальних установках фотобіологічної дії.

3. Вибрані методики та засоби вимірювання УФ-випромінювання для оцінювання параметрів опромінювальних установок.

4. Визначені напрямки щодо подальших досліджень, зокрема:
- розроблення та дослідження УФ-опромінювачі для агропромислового комплексу;
 - розроблення та дослідження УФ-опромінювальних установок для харчової та переробної промисловості;

- дослідження можливості використання УФ-випромінення для очищення води та інших об'єктів від токсичних речовин;
- дослідження ефективності використання високоінтенсивних УФ-джерел випромінення (ртутних та металогенних розрядних ламп), ексимерних та світлодіодних ультрафіолетових ламп в різних технологіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.1 Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М. : И-во «Иностр. лит.», 1952. – 574 с.
- 1.2 Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.
- 1.3 Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М. : Медицина, 2003. – 2008 с.
- 1.4 Публікація CIE 17.4-1987 international lighting (ILV) – Joint publication IEC/CIE, Geneva, 1987 міжнародний словник світлотехнічних термінів – Сумісне видання МЕК/МКО, Женева, 1987.
- 1.5 Рохлин Н. Г. Разрядные источники света. / Н. Г. Рохлин – М. : Энергоиздат, 1991. – 720 с.
- 1.6 Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Ультрафиолетовое излучение // Всемирная организация здравоохранения. – М. : Медицина, 1995. – 394 с.
- 1.7 Потапенко Н. Г. Использование ультрафиолетового излучения в практике обеззараживания воды / Н. Г. Потапенко, О. С. Савлук // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13. – № 12. – С. 1117-1129.
- 1.8 Соколов М. В. Прикладная биофотометрия / М. В. Соколов. – М. : Наука, 1982. – 131 с.
- 1.9 Маршак И. С. Импульсные источники света / Иммануэль Самойлович Маршак. – М. : Энергия, 1978. – 472 с.
- 1.10 Мешков В. В. Основы светотехники: учебное пособие для вузов. Ч. 1 – 2-е изд., перераб. / Владимир Васильевич Мешков. – М.: Энергия, 1979. – 386 с.

1.11 Чертов А. Г. Физические величины: справочное пособие / А. Г. Чертов. – М. : Высшая школа, 1990. – 335 с.

1.12 Справочная книга по светотехнике : 3-е изд. переработ. и допол. / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

1.13 Міжнародний словник електротехнічних термінів. Частина 845: Світлотехніка– International electrotechnical vocabulary (IEC 60050–845:1987, IDT) : ДСТУ IEC 60050–845:2012. – [Чинний від 2013-03-01]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2013. – 210 с. – (Державний стандарт України).

1.14 Шелкова О. П. Измерение УФ-излучения в энергетических единицах / О. П. Шелкова, Д. А. Шкловер // УФ-излучение – М. : Медицина, 1971. – С. 334-338.

1.15 Молчанов А. М. О работе А. Я. Хинчина. / Альберт Макарьевич Молчанов. // Математическое моделирование биологических процессов. – М. : Наука, 1979. – 160 с.

2.1 Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М. : И-во “Иностр. лит.”, 1952. - 574 с.

2.2 Сарычев Г. С. Облучательные светотехнические установки / Г. А. Сарычев. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

2.3 Публікація CIE 17.4-1987 international lighting (ILV) – Joint publication IEC/CIE, Geneva, 1987 міжнародний словник світлотехнічних термінів – Сумісне видання МЕК/МКО, Женева, 1987.

2.4 Рохлин Н. Г. Разрядные источники света. / Н. Г. Рохлин – М. : Энергоиздат, 1991. – 720 с.

2.5 Справочная книга по светотехнике : 3-е изд. переработ. и допол. / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

2.6 Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.

- 2.7 Конев С. В. Фотобиология / С. В. Конев, И. Д. Волоотовский. – Минск: Изд-во БГУ, 1979. – 383 с.
- 2.8 Калверт Дж. Фотохимия : пер. с англ. / Дж. Калверт, Дж. Питтс ; ред. Р. Ф. Васильев. – М. : Мир, 1968. – 671 с
- 2.9 Смит К. Молекулярная фотобиология Пер. с англ. / К. Смит, Ф. Хенеуолт. – М. : Мир, 1972. – 272 с.
- 2.10 Шульгин И. А. Растение и Солнце / Игорь Александрович Шульгин. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 252 с.
- 2.11 Ничипорович А. А. О путях повышения продуктивности фотосинтеза растений в посевах / А А. Ничипорович // Сб. фотосинтез и вопросы продуктивности растений. – М. : АН СССР, 1963. – 247 с.
- 2.12 Лебедев С. И. Фотосинтез / С. И. Лебедев. – К. : Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1961. – 157 с.
- 2.13 Steck B. Photoconjunctivitis / B. Steck // CIE Journal, 1986. Vol. 5, № 1. P. 19-24.
- 2.14 Steck B. Photokeratitis / B. Steck // CIE Journal, 1986. Vol. 5, № 1. P. 24-29.
- 2.15 Ван Боммель В. Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты освещения. Результаты последних исследований и их значение для светотехнической практики / В. Ван Боммель // Светотехника. – 2005. – №4. – С. 4-6.
- 2.16 Бойс П. Свет и здоровье / Бойс П. // Светотехника. – 2006. – №2. – С. 43-47.
- 2.17 Йордан В. Метрологические требования к определению характеристик фотобиологических опасностей ламп и светодиодов / Йордан В., Халбриттер В., Хорак В. // Светотехника. – 2009. – №5. – С. 50-57.
- 2.18 Хорак В. Сравнение требований безопасности к излучению светодиодов по стандартам МКО и МЭК / Хорак В. // Светотехника. – 2007. – №6. – С. 74-77.

2.19 Йордан В. Упрощённый подход к классификации потенциальной фотобиологической опасности светодиодов в соответствии со стандартом CIE S009 / Йордан В., Халбриттер В., Хорак В. // Светотехника. – 2011. – №6. – С. 50-56.

2.20 Брейнард Г.К. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека / Брейнард Г.К., Провенсио И. // Светотехника. – 2008. – №1. – С. 6-12.

2.21 Ван Боммель В. Лампы для прямой замены ламп накаливания и здоровье / Ван Боммель В. // Светотехника. – 2011. – №2. – С. 20-24.

2.22 Дуге Д. Освещение светодиодами: благоприятные возможности или опасность для здоровья? / Дуге Д. // Светотехника. – 2012. – №4. – С. 23-25.

2.23 Берман С.М. Недавно открытый фоторецептор человека и предыдущие исследования в области зрения [Текст] / Берман С.М., Клиер Р.Д. // Светотехника. – 2008. – №3. – С. 49-53.

2.24 Слайни Д. Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей [Текст] / Д. Х. Слайни // Светотехника. – 2010. – №4. – С. 49-50.

2.25 Бизяк Г. Спектры излучения и фотобиологическое действие светодиодов [Текст] / Г. Бизяк, М. Кланичек-Гунде, М.Б. Кобав, К. Маловр-Ребек // Светотехника. – 2013. – №2. – С. 20-24.

2.26 Войтысяк А. Биологическое действие освещения – традиционного и светодиодами [Текст] / Войтысяк А., Лю Ц. // Светотехника. – 2013. – №2. – С. 17-19.

2.27 Барцев А. А. Метод измерения физиологически эффективной яркости опасного синего излучения осветительных приборов [Текст] / Барцев А. А., Беляев Р. И., Столяревская Р. И. // Светотехника. – 2013. – №2. – С. 25.

2.28 Новости светотехники [Текст] / ред. Ю. Айзенберг ; Дом света. – М. 2001, Вып.5-6 : Свет и здоровье / И. Фиш. – М. : [б.в.], 2001. – 39 с. (Новости светотехники ; 2001, Вып.5-6). – Библиогр. в конце ст. – ISBN 5-89366-020-X

2.29 Аладов А.В. О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и традиционных источников света с цветовой температурой

1800-10000 К [Текст] / Аладов А. В., Закгейм А. Л., Мизеров М. Н., Черняков А. Е. // Светотехника. – 2012. – №3. – С. 7-10.

2.30 Безпечність ламп і лампових систем фотобіологічна : ДСТУ ІЕС 62471:2009. – [Чинний з 2012-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2014. – 34 с. (Національний стандарт України).

2.31 Безпечність ламп і лампових систем фотобіологічна. Частина 2. Настанови щодо вимог до конструкцій стосовно безпечності нелазерних оптичних випромінень : ДСТУ-П ІЕС/TR 62471-2:2014 – [Чинний з 2015-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2014. – 47 с. (Національний стандарт України).

2.32 Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires IEC TR 62778:2014 (Застосування ІЕС 62471 до джерел світла та світильників стосовно оцінювань небезпечності синього світла): IEC/TR 62778:2014 – [Чинний з 2014-06-27]. – SC 34A, 2014 – 42 с. (ST).

2.33 Панферова Н. Е. Перспективы применения ультрафиолетовой радиации в длительных космических полетах [Текст] / Панферова Н. Е. // Космическая биология, медицина, 1986. – № 1. – С. 4-71.

2.34 Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М. : Медицина, 2003. – 2008 с.

2.35 Семенов А. О. Ультрафіолетові технології знезараження води : монографія / Семенов А. О. – Publisher: GlobeEdit is a trademark of Dodo Books Indian Ocean Ltd., member of the OmniScriptum S.R.L Publishing group, 2021, 117 С.

2.36 Семенов А. О. Знезараження води комбінованими методами – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими технологіями А. О. Семенов, Г. М. Кожушко, Т. В. Сахно // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 3/3 (29). – С. 67-71.

2.37 Semenov A. Combined method of UV treatment and ozonation during water disinfection in swimming pools / A. Semenov, S. Vyzhva, T. Sakhno, N.

Semenova, O. Nikityuk // Conference Proceedings, 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2021, Volume 2021. - pp. 1-5.

2.38 Semenov A. A. Disinfection of swimming pool water by UV irradiation and ozonation / A. A. Semenov, T. V. Sakhno // Journal of water chemistry and technology, 2021. – Vol. 43. - № 6. - pp. 491-496.

3.1 Грицик В. Екологія довкілля. Охорона природи: навчальний посібник / В. Грицик, Ю. Канарський, Я. Бедрій. – К .: Кондор, 2009. – 292 с.

3.2 Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». :ДСанПін 2.2.4-171-10. // Наказ №400 від 12.05.2010 р, зареєстровано за №452/17747 від 01 липня 2010 р.

3.3 Про якість води, призначеної для споживання людиною - On the quality of water intended for human consumption [Электронный ресурс] : [Директива : утвржд. Європарлам. 3 ноябр. 1998 г. № 98/83/ЕС]. – Режим доступу. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.1998.330.01.0032.01.ENG:PDF (дата звернення: 17.02.15) – Назва з екрана.

3.4 Про питну воду та питне водопостачання : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III (із. зм. і доп.) // Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 16. – С. 112.

3.5 Про Загальнодержавну цільову програму «Питна вода України» на 2011-2020 роки : Закон України від 03.03.2005 № 2455-IV (із. зм. і доп.) // Відомості Верховної Ради України. – 2005. – № 15. – С. 243.

3.6 Авчинников А. В. Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды (обзор) / А.В. Авчинников // Гигиена и санитария. – 2001. – № 2. – С. 11-20.

3.7 Гончарук В. В. Современное состояние проблемы обеззараживания воды / В.В. Гончарук, Н.Г. Потапченко // Химия и технология воды. – 1998. – Т.20. – №2. – С. 191-217.

3.8 Романенко Н. А. О необходимости включения ооцист криптоспоридий в число показателей эпидемиологической безопасности питьевой воды / Романенко Н. А., Сергиев В.П., Рахманин Ю.А. // Гигиена и санитария. – 2002. – № 1. – С. 18-19.

3.9 Луць В. Якість води: порівняльний аналіз директиви Європейського Союзу та нормативно-правових актів України / В. Луць, П. Лапечук, Т. Попович // Юридична Україна. – 2009. – № 4. – С. 51-55.

3.10 Державні санітарні правила та норми «Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» : ДСанПін №383. // Наказ №383 від 23.12.1996 р, зареєстровано під №136/1940 від 15 квітня 1997р.

3.11 Филатов Н. Н. Об актуальности вопроса обеззараживания воды в современных условиях / Н. Н. Филатов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 10. С. 2-4.

3.12 Онищенко Г. Г. Эффективное обеззараживание воды – основа профилактики инфекционных заболеваний / Г. Г. Онищенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. Ч.1. – № 12. – С. 8-12.

3.13 Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды / [Рахманин Ю. А., Жолдакова З. И., Полякова Е. Е и др.] // Гигиена и санитария. – 2004. – № 1. – С. 6-9.

3.14 Петренко Н. Ф. Обеззараживание воды: бактерицидное действие хлора / Н. Ф. Петренко, А. В. Мокиенко А. В. // Питьевая вода. – 2010. – № 3(57). – С. 2-14.

3.15 Красовский Г. Н. Хлорирование воды как фактор повышенной опасности для здоровья населения / Г. Н. Красовский, Н. А. Егорова // Гигиена и санитария. – 2003. – 237 с.

3.16 Ажгиревич А. И. Особенности применения озона как окислителя дезинфектанта /А. И. Ажгиревич // Проблемы регион. экол. – 2014. – № 1. – С. 91–97.

3.17 Алексеева Л. П., Драгинский В. Л. Применение озона в технологии подготовки питьевой воды / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский // Башкир. хим. журн. – 1994. – Т. 1. – № 4. – С. 35–40.

3.18 Загорская А. А. Обеззараживание при подготовке питьевой воды из поверхностных источников / А. А. Загорская // Вода: проблемы и решения: сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Вып.5. – Тюмень: ТюмГАСУ. – 2008. – С.40-44.

3.19 Хоффманн М. Влияние процесса хлорирования на качество питьевой воды в г. Киеве / М. Хоффманн, В. П. Михайленко // Химия и технология воды. – 1994. – Т.16, № 5. – С. 472–479.

3.20 Гончарук В. В. Биотехнология в подготовке питьевой воды / В. В. Гончарук, А.С. Гордиенко, Л. И. Глоба, П. И. Гвоздик // Химия и технология воды. – 2003. – № 4. – С. 363–374.

3.21 Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды / Л. А. Кульский – К.: Здоровье, 1991. – С. 6–89.

3.22 Методичні рекомендації з діагностики, лікування і профілактики вірусних гепатитів / М. Д. Чемич, А. О. Сніцарь, Н. І. Ільїна, Т. П. Бинда, І. О. Троцька, В. В. Рябіченко, Л. П. Кулеш, С. І. Кругляк, С. Л. Грабовий. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 58 с.

3.23 Facile N. Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for Giardia and Cryptosporidium inactivation by ozone / N. Facile, B. Barbeau, M. Prevots et al. // Water Res. – 2000. – 34, № 12. – P.3228-3246.

3.24 Трухачева Т.В. Кинетические закономерности микроорганизмов под действием озона / Т. В. Трухачева, В. Б. Гаврилов, Г. А. Малама, В. А. Астахов // Микробиология. – 1992. – Т.61. – №.4. – С. 660–665.

3.25 Von Gunten U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation / V. U. Gunten // Water Research. – 2003. – 37, №7. – P. 1443–1467.

3.26 Finch G. R Ozone inactivation of Cryptosporidium parvum in demand-free phosphate buffer determined by in vitro excystation and animal infectivity / G.

R. Finch, E. K. Black, L. Gyürék, M. Belosevic // Appl. Environ Microbiol. – 1993, Dec; 59 (12): P. 4203 – 4210.

3.27 Handbook of ozone technology and application Vol.2 Ozone for drinking treatment. Ed. R. G. Rice, Netzer. – Boston etc.: Ann. Arbor Science Publ., 1984. – 378 p.

3.28 Минц О. Д. Использование озона в системах оборотного водоснабжения / О. Д. Минц, М. В. Королева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – №2. – С. 30–31.

3.29 Перспективы совершенствования технологии обеззараживания воды поверхностных источников [Терентьев В. И., Гриценко В. К., Лопатин С. А., Кирьянова Л. Ф. и др.] // Гигиена и санитария. – 2002. – №3. – С. 29–36.

3.30 Мищук Н. А. Теоретический анализ процессов, протекающих при озонировании воды, содержащей органические вещества / Н. А. Мищук, В. В. Гончарук, В. Ф. Вакуленко // Химия и технология воды. – 2003. – №1. – С. 3–29.

3.31 Singer P.C. Assesing ozonation research needs in water treatment / P. C. Singer // J. Amer. Water Works Assos. – 1990. – Vol. 82. № 10. – P. 78- 88.

3.32 Шмутер Г.М. Гигиеническая оценка электрохимического метода обеззараживания воды серебром / Шмутер Г.М., Изотопова П.В., Масленко А.Л., Фурман А.А., Соболевская Т.Т. // Гигиена и санитария. – 1986. – №12 – С. 10–11.

3.33 Кульский Л. А. Серебрянная вода / Л. А. Кульский – К.: Здоровье, 1987. – С. 13–17.

3.34 Барков Г. Д. О необходимости ограничения количества серебра в питьевой воде / Г. Д. Барков, Л. И. Эльшинер // Гигиена и санитария. – 1968. – №6. – С. 16–21.

3.35 Авчинников А. В. О способах консервации питьевой воды на автономных объектах (обзор) / А. В. Авчинников, Ю. А. Рахманин, Е. Г. Жук, И. Н. Рыжова // Гигиена и санитария. – 1996. – № 2. – С. 9 – 13.

3.36 Андрианов А. П. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях / А.

П. Андрианов, А. Г. Первов // Проекты развития инфраструктуры города: Сб. науч. трудов. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. – М., 2004.

3.37 Knops F.N.M. Ultrafiltration for 90 MLD Cryptosporidium and Giardia free drinking water: a case study for the Yorkshire Water Keldgate Plant. / F. N. M. Knops, Franklin B. // Proc. of the Conf. on Membranes in Drinking and Industrial Water Production (Paris, 3-6 October). – 2000. – V. , P. 71 – 78.

3.38 Андрианов А. П., Первов А.Г. Оптимизация процесса обработки воды методом ультрафильтрации / А. П. Андрианов, А. Г. Первов // Водоснабжение и сан. техника. – 2003. – № 6. – С. 7–9.

3.39 Фрайклин Г. Я. Молекулярные механизмы биологического действия оптического излучения / Г. Я. Фрайклин – М.: Медицина, 1988. – С. 154–164.

3.40 Веселов Ю. С. Водоочистное оборудование: конструирование и использование / Ю. С. Веселов, И. С. Лавров, Н. И. Рукобратский – Л.: Медицина, 1985. – С. 34–42.

3.41 Frizzell L. A. Biological Effects of Acoustic Cavitation in Ultrasound: Chemical, Physical, and Biological Effects / L. A. Frizzell, K. Suslick [Ed] // VCH Publishers, Inc., New York. – 1988. – P. 287–303.

3.42 Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике: Пер. с нем. / Под ред. В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга. Изд. 2-е. М.: Изд. иностр. лит. – 1957. – 726 с.

3.43 Joyce E. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions / E. Joyce, T. J. Mason, S. S. Phull, J. P. Lorimer // Ultrasonics Sonochemistry. – 2002. – V. 10 – P. 315–318.

3.44 Mason T.J. Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water / T.J. Mason, E. Joyce, S. S. Phull, J. P. Lorimer // Ultrasonics Sonochemistry. – 2003. – V. 10 – P. 319–324.

3.45 Колесов А.М. Термический метод обеззараживания сточных вод / А. М. Колесов, Л. С. Глаголев // Гигиена и санитария. – 1978. – №3. – С. 104.

3.46 Гончарук В.В. О механизме действия магнитного поля на водные системы / В. В. Гончарук, В. В. Маляренко // Химия и технология воды. – 2003. – № 3. – С.212–227.

3.47 В.М. Бутин. Обеззараживание питьевой воды ультрафиолетовым излучением / [В.М. Бутин, С.В. Волков, С.В. Костюченко и др] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – №12. – 7–10 с.

3.48 Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.

3.49 Потапченко Н. Г. Оценки совместного действия УФ – излучения и хлора на выживаемость микроорганизмов в воде / Н. Г. Потапченко, И. П. Томашевская, В. В. Илляшенко // Химия и технология воды. – 1993. – № 9 – 10. С. 678 – 682.

3.50 Linden K. G. Comparative Effectiveness of UV Wave-lengths for the Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts in Water / K. G. Linden, G. Shin, M. D. Sobsey // Water Sci. Tech. – 2001. – V. 43(12). – P. 171 – 174.

3.51 Harm W. Biological effects of ultraviolet radiation / Walter Harm // Cambridge University Press, Cambridge (Eng.), New York, 1980.

3.52 Dulbecco R: Experiments on photoreactivation of bacteriophages inactivated, with ultraviolet radiation / R Dulbecco // J. Bacteriol. – 1950. V.59 (3). – P. 329 –347.

3.53 Обеззараживание воды плавательных бассейнов с использованием УФ – облучения / [С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, Ю. В. Новиков и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 1996. – № 12. – С. 21–22.

3.54 Feng Y. Photolysis of Chlorine Species (HOCl and OCl^-) with 254 nm UV light / Y. Feng, J. R. Bolton, D. W. Smith // Proceeding of the Third International Congress on Ultraviolet Technologies. IUVA, Whistler, BC, Canada. May 24-27, 2005.

3.55 Blume T. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application / T. Blume, U. Neis // *Water Sci. Technol.* – 2005. V. 52. – № 10-11. P. 139 – 144.

3.56 Русанова Н.А. Хлорирование и дехлорирование городских сточных вод / Н. А. Русанова, Г. В. Овечкина // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 2002. – № 2. – С. 30 – 32.

3.57 Соловьева Ж. Ф. Екологічні аспекти очищення води діоксидом хлору / Ж. Ф. Соловьева, І. О. Малюченко // *Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія.* – 2005. – Т. 43. – С. 69–71.

3.58 Dadjour M. F. Disinfection of *Legionella pneumophila* by ultrasonic treatment with TiO_2 / M. F. Dadjour, C. Ogino, S. Matsumura, S. Nakamura, N. Shimizu // *Water Res.* – 2006. – V. 40, № 6. – P. 1137 – 1142.

3.59 Blume T. Improved Wastewater Disinfection by ultrasonic Pre-treatment / T. Blume, U. Neis // *Ultrasonics Sonochemistry.* – 2004. V. 11. – № 5. P. 333 – 336.

3.60 Василяк Л. М. Применение ультразвука в системах для обеззараживания воды / Л. М. Василяк // *Электронная обработка материалов.* – 2010. – № 5. – С. 106 – 111.

3.61 Шлифер Э. Д. Устройство комбинированной СВЧ УФ озонной бактерицидной обработки жидких, газообразных и твердофазных объектов / Э. Д. Шлифер // *Светотехника.* – 2004. – № 6. – С. 46–50.

3.62 Іванько О. М. Знезараження стічних вод – сучасний погляд на проблему / О. М. Іванько, В. В. Бабієнко В. В., Г. В. Кринець // *Актуальные проблемы транспортной медицины.* – 2013, №2(32). – С. 54–63.

3.63 Meunier L. Implications of sequential use of UV and ozone for drinking water quality / L. Meunier, S. Canonica, U. Gunten // *Water research.* V. 40. Issue 9, 2006. – P. 1864-1876.

3.64 Алипов А.Н. Водообеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства Донбасса. Вовлечение собственных ресурсов / А. Н.

Алипов, Д. Д. Мягкий, Є. В. Янковская // Вода і водоочисні технології. – 2007. – № 4. – С. 17–22.

3.65 Данілішин Б. М. Державна цільова екологічна програма «Програма упорядкування водовідведення в населених пунктах України» як основний документ перспективного розвитку водокористування в країні / Б. М. Данілішин, О. О. Дмитрієва // Вода і водоочисні технології. – 2006. – №3. – С. 17–22.

3.66 Гончарук Е. И. Гигиенические основы почвенной очистки сточных вод / Е. И. Гончарук, Г. И. Сидоренко, Т. Н. Хруслева, В. И. Циприян. – М.: Медицина, 1976. — 238 с.

3.67 Гончарук Е. И. Очистка и обеззараживание сточных вод лечебных учреждений / Е. И. Гончарук, В. А. Прокопов. – К: Будівельник, 1973. – 168 с.

3.68 Водоподготовка: Справочник. / Под ред. д.т.н., С. Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

3.69 Гриневич В. И. Деструкция фенола и синтетических поверхностно-активных веществ под действием озона / В. И. Гриневич, А. А. Гущин, Н. А. Пластинина // Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51, Вып. 6. – С. 86–90.

3.70 Ахмедова О.О. Повышение эффективности локальных очистных сооружений сточных вод за счет применения комбинированных электрофизических методов воздействия / О. О. Ахмедова, С. Ф. Степанов, А. Г. Сошитов, К. Н. Бахтиаров // Современные проблемы науки и образования. –2009. – № 5. – С. 56–60.

3.71 Загорский В.А. Обеззараживание сточных вод / В. А. Загорский, М. Н. Козлов, Д. А. Данилович // Третий международный конгресс «Вода: экология и технология» ЭКВАТЕК-98. – Москва, 1998. – С. 400–401.

3.72 Шахматова Р. А. Исследование биологической активности озона для гидробионтов / Р. А. Шахматова, П. В. Курилкин // 7 Всес. симпоз. по современ. пробл. прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования: Тез. докл. – Таллин, 1985. – С. 78–79.

3.73 Иванова О. Е. Инактивация энтеровирусов в сточной воде озоном / О. Е. Иванова, М. В. Богданов, В. А. Казанцева // Вопросы вирусологии. - 1983. – Т. 28, № 6. – С. 693–697.

3.74 Нижник Т.Ю. Про застосування полімерного реагента наокислювальної дії для обробки стічних вод та створення системи оборотного водопостачання на підприємстві/ Т. Ю. Нижник // Вода і водоочисні технології. Науково - технічні вісті. – 2010. – № 2. – С. 35–42.

3.75 Пащенко А. В. Перспективы применения растворимых биоцидных полимеров для обеззараживания городских сточных вод // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2002. – Вип. 18. – С. 264–268.

3.76 Сусь М. О. Фізико-хімічні засади процесу видалення з води біоцидного препарату на основі полігексамети-ленгуанідину слабкокислотним катіонітом / М. О. Сусь, Т. Є. Мітченко, Н. В. Макарова // Вода і водоочисні технології. Науково - технічні вісті. – 2010. – № 1(1). – С. 45–49.

3.77 Романенко Н. А. Изучение барьерной роли сооружений водопроводных станций в отношении возбудителей паразитарных заболеваний / Н. А. Романенко // Вода: экология и технология : материалы Второго междунар. конгресса. – М., 1996. – С. 311–312.

3.78 Диренко А. А. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока /А. А. Диренко, А. Кнус, Е. М. Коцарь // Санитарная техника и водоснабжение. – 2006. – № 5. – С. 15–18.

3.79 Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М. : И-во “Иностр. лит.”, 1952. – 574 с.

3.80 Сарычев Г. С. Облучательные светотехнические установки / Г. А. Сарычев. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

3.81 Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М. : Медицина, 2003. – 208 с.

3.82 Нейштадт Я. Э. Бактерицидное ультрафиолетовое излучение (профилактика воздушных инфекций) / Яков Эммануилович Нейштадт. – Москва : Медгиз, 1955. – 154 с.

3.83 Трегуб В. В. Применение УФ-излучения в медицинской практике для хранения стерильного инструмента и материалов в рециркуляционном боксе «Асептик» / В. В. Трегуб, В.П. Сливка // Стоматолог. – 2003. – № 6. – С. 40–41.

3.84 Юзбашев В. Г., Васильева Т. В. Новая сфера применения УФ-излучения / В. Г. Юзбашев, Т. В. Васильева // Медицинская картотека. – М.: НИИ ДМЗ РФ, 2002.

3.85 Справочная книга по светотехнике : 3-е изд. переработ. и допол. / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.

3.86 Белинский В. А. Бактерицидная радиация. Сб. Ультрафиолетовое излучение / В. А. Белинский, А. Н. Золотокрылкин; под ред. Н. М. Данцига. – М. : Медицина, 1971, С. 321–324.

3.87 Афанасьева Р. Ф. Методика и облучательная техника компенсации «солнечного голодания» населения страны / Р. Ф. Афанасьева, Т. Н. Гаврилкина // Светотехника. – 2004. – № 4. – С. 20–24.

3.88 Лазарев Д. Н. Оздоровительное облучение в системе общего освещения помещений / Д. Н. Лазарев // Светотехника. – 1974. – № 1. – С. 8–11.

3.89 Генетические детерминанты эффективности средневолнового ультрафиолетового облучения больных псориазом / В. Р. Хайрутдинов, Н. В. Пилюгин, Г. Н. Пономаренко [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2010. – № 6. – С. 3–5.

3.90 Сизон О. О. Фітотерапія у комплексному лікуванні псоріазу / О. О. Сизон // Дерматовенерология. Косметология. Сексопатология. – 2001. – № 2–3 (4). – С. 198–203.

3.91 Владимиров В. В. Влияние узкополосной фототерапии на пролиферативную активность при псориазе / В. В. Владимиров, О. Ю. Олисова,

А. М. Талыбова // Экспериментальная и клиническая дерматокосметология. – 2010. – № 6. – С. 42–45.

3.92 Ганелина И. Е. Механизмы влияния облучённой ультрафиолетовыми лучами крови на организм человека и животных / И. Е. Ганелина, К. А. Самойлова. – Л.: Наука, 1986. – С. 3–7.

3.93 Арутюнов А. С. Опыт клинического применения устройства для проточного ультрафиолетового облучения крови / А. С. Арутюнов, А. Б. Карасёв, О. И. Ковалёв // Мед. Техника. – 1988. – № 1. – С. 48–50.

3.94 Веркин Б. И. Аппараты для ультрафиолетового облучения крови : Препринт / Б. И. Веркин, А. В. Береснев и др. – Харьков: ФТИНТ, 1986. – 54 с.

3.95 Неумывакин И. П. Перекись водорода: мифы и реальность. 2-е изд. /И П. Неумывакин. – Санкт-Петербург: Изд-во ДИЛЯ, 2004. – С. 177.

3.96 Chu P. K. Plasma-surface modification of biomaterials / P. K. Chu, J. Y. Chen, L. P Wang, N. Huang // Materials Science and Engineering: R: Reports 36 (5), pp. 143-206.

3.97 Севастьянов В. И. Адсорбция белков и гемосовместимость медицинских изделий // В кн.: Биосовместимость; Под ред.: В .И. Севастьянова – М., 1999. – С. 88–173.

3.98 Севастьянов В. И. Биоматериалы для искусственных органов // В кн.: Искусственные органы / Под ред.: В. И. Шумакова.- М., Медицина, 1990. – С. 214–229.

3.99 Vasilets V.N., Kuznetsov A.V., Sevastianov V.I. Vacuum ultraviolet treatment of polyethylene to change surface properties and characteristics of protein adsorption / V. N Vasilets, A. V Kuznetsov, V. I. Sevastianov // J. Biomed. Mater. Research, Part A, 2004. 69A, pp. 428–435.

3.100 Menashi W.P. Sterilization with low temperature plasma / W. P. Menashi // US patent 3,383,163, 1968.

3.101 Про протидію захворюванню на туберкульоз : Закон України від 05.07.2001 № 2586-III (із. зм. і доп.) // Відомості Верховної Ради України. – 2001, № 49. – С. 258.

3.102 Голиков А. П. Опыт применения УФ-облученной крови в лечении острых пневмоний / А. П. Голиков, Б. В. Буглаев, В. Р. Абдрахманов // Советская медицина, 1991. – № 8. – С. 50–51.

3.103 Чуканов В.И. Основные принципы лечения больных туберкулезом легких / В. И. Чуканов // Русский медицинский журнал. – 1998. – Том 6. – № 17. – С. 1138–1142.

3.104 Аболмасов Н. Г. Ортопедическая стоматология / Н. Г. Аболмасов Н. Н. Аболмасов, В. А. Бычков, А. Аль-Хаким. – СГМА, 2000. – 576 с.

3.105 Коновалов А. П. Фантомный курс ортопедической стоматологии / А. П. Коновалов, Н. В. Курякина, Н. Е. Митин; под ред. проф. Н.В. Трезубова. – М.: Медицинская книга, Изд-во НГМА, 1999. – 344 с.

3.106 Мартиросова В. Г. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников света в системах освещения на предприятиях Украины / В. Г. Мартиросова, В. И. Назаренко, В. М. Сорокин, А. Д. Галинский // Український журнал з проблем медицини праці. – 2009. – № 3 (19). – С. 65–72.

3.107 Рогожин В. В. Влияние ультрафиолетового облучения семян на процессы перекисного окисления липидов в проростках пшеницы / В. В. Рогожин, Т. Т. Курилюк // Известия ТСХА, 1997. – № 3. – С. 116 – 131.

3.108 Шульгин И. А. О роли ультрафиолетовой радиации высокогорных районов в строении побега и продуктивности пшеницы / И. А. Шульгин, Р. Г. Забиров, И. П. Щербина, Д. Т. Толибеков // Биол. Науки, 1990. – № 7. – С 107–118.

3.109 Загоскина Н. В. Влияние ультрафиолетовой (УФ-Б) радиации на образование и локализацию фенольных соединений в каллусных культурах чайного растения / Н. В. Загоскина, Г. А. Дубравина // Физиология растений. – 2003. – №2. – С. 302–308.

3.110 Kubota K. Development of high quality cereal drying and storage equipment. Pt 1. Microorganism control using ultraviolet irradiation / K. Kubota, Y. Hidaka // J. Japan. Soc. Agr. Mach. - 2004, Vol. 66. – №1 . P. 104–108.

3.111 Patent US 5597597. January 28, 1997. Paul B. D. Newman. Method of sterilizing an edible substrate with UV radiation.

3.112 Зейналов А. А. От оборонных разработок к экологически чистым технологиям для сельского хозяйства [Электронный ресурс] / А. А. Зейналов, А. Г. Ипатова, А. Н. Летова и др. // Высокие технологии XXI века : 5-й Международный форум. (Москва, 19-23 апреля 2004 г.), Секция «Перспективы реализации высокотехнологических проектов в областях медицины и биотехнологии» Тезисы доклада. – Режим доступа : <http://www.hitechno.ru/?page=archive01> (дата звернения: 12.03.15). – Назва з екрана.

3.113 Газалов В. С. Эффективность источников ультрафиолетового излучения в предпосевной обработке / В. С. Газалов, Н. Е. Пономарева // Электротехнологии и электрооборудование в с/х производстве, 2005. – Вып. 5. – Т.1. – С. 26–31.

3.114 Серегина М. Г. Предпосевное облучение семян повышает урожайность / М. Г. Серегина // Кормопроизводство, 1984. – №4. – С. 27–28.

3.115 Савельев В. А. Обработка семян пшеницы ультрафиолетовыми лучами / В. А. Савельев // Вестник с/х науки, 1990. – №3. – С. 133–135.

3.116 Рогожин В. В. Влияние малых доз ультрафиолетового облучения семян на состояние антиоксидантной системы, прорастающих зерен пшеницы / В. В. Рогожин, Т. Т. Курилюк // Известия ТСХА, 1999. – № 3. – С. 105–124.

3.117 Сторожев П. И. Влияние ультрафиолетового облучения на качество и урожайность сельскохозяйственной продукции в зимних теплицах / П. И. Сторожев // Научные труды ВНИИ электрификации сельского хозяйства, 1988. – Т.71. – С. 46–54.

3.118 Гончарова Л. И. Влияние ультрафиолетового излучения на рост, развитие и продуктивность яровой пшеницы. : автореф. дисс. канд. биол. наук : 03.00.01 «Радиобиология» / Л. И. Гончарова – Обнинск, 1995. – 21 с.

3.119 Steffen H. The PhytO3 Tech Crop Protection Technology for Microorganism and Insect Control using Ozone, UV, and Dipole-Electrical Air Jet

Spray Technologies. Technical Basis and Possible Chemistries Involved // Ozone: Science and Engineering. V. 30, 2008. – P. 216–227.

3.120 Patent US 2007/0123422 A1/ Hanspeter Steffen. Method for the control of harmful micro-organisms and insects in crop protection with means of dipole-electrical air-jet spray-technology, Ozonated water and UV-C irradiation.

3.121 Юрков В. М. Влияние света на продуктивность животных / В. М. Юрков. 1980. – М. : Россельхозиздат. – 125 с.

3.122 Семенов А. О. Використання ультрафіолетового випромінювання для бактерицидного знезараження води, повітря та поверхонь / А. О. Семенов, Г. М. Кожушко, Н. В. Семенова // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України : Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВЦ НЛТУ України, 2013. – № 23.02. С. 179-186.

3.123 Семенов А. А. Ультрафиолетовое излучение для обеззараживания сыпучих пищевых продуктов / А. О. Семенов // Вісник національного технічного університету «ХП»: Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХП» - 2014р. – № 17 (1060) – 192 с.

3.124 Semenov A. Bactericidal irradiators for ultraviolet disinfection of indoor air / A. Semenov, G. Kozhushko // European Applied Sciences. – Stuttgart, Germany, 2013. – 1(13) – pp. 226-228.

3.125 Семенов А. О. Ультрафіолетове знезараження хлібобулочних виробів / А. О. Семенов, І. В. Шурдук // Збірник наукових праць луцького національного технічного університету «Товарознавчий вісник» - вип. 5. С. 358-363.

3.126 Semenov Anatolii, Sakhno Tamara, Hmelnitska Yevgenia, Semenova Nataliia. Bactericidal Disinfection of Activated Carbon from Aerobic Microorganisms, Yeasts and Molds / A. Semenov, T. Sakhno, Y. Hmelnitska, N. Semenova // International Journal of Basic Sciences and Applied Computing (IJBSAC), 2022. – V. 8. № 7. – pp. 1-4.

3.127 Semenov A. Ultraviolet disinfection of activated carbon from microbiological contamination / A. Semenov, Y. Hmelnitska // Archives of Materials Science and Engineering. – 2022. - № 115/1. - pp. 34-41.

3.128 Semenov A. Ultraviolet method of bactericidal disinfection of skimmed milk powder / A. Semenov, O. Dugan // Österreichisches Multiscience Journal. Technical science. Innsbruck, Austria, 2020. Vol. 1. - № 33 (2020). – pp. 61-64.

4.1 Публікація IEC 60050-845:1987 international electrotechnical vocabulary; chapter 845: lighting, Geneva, 1987 (Международный электротехнический словарь. Глава 845: Освещение, Женева, 1987).

4.2 Сарычев Г. С. Облучательные светотехнические установки / Г. А. Сарычев. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

4.3 Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М. : И-во “Иностр. лит.”, 1952. – 574 с.

4.4 Гуляев Ю. В. Дифракция света на звуке в твердых телах / В. В. Проклов, Г. Н. Шкердин. – УФН, 1978. – 124 с.

4.5 Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М. : Медицина, 2003. – 2008 с.

4.6 Шпольский Э. В. Атомная физика (в 2-х томах) / Э. В. Шпольский. – М. : Наука, 1974. – Т. 1. – 576 с.

4.7 Сивухин Д. В. Общий курс физики. Оптика / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1985. – Т. 4. – 735 с.

4.8 Кондиленко И. И. Физика лазеров / И. И. Кондиленко, П. А. Коротков, А. И. Хижняк. – Киев : Вища школа, 1984. – 232 с.

4.9 Звелто О. Принципы лазеров / О. Звелто. – М.: Мир, 1990. – 559 с.

4.10 Рохлин Н. Г. Разрядные источники света. / Н. Г. Рохлин – М. : Энергоиздат, 1991. – 720 с.

4.11 Волькенштейн Ф. Ф. Электропроводимость полупроводников. Гостехиздат / Ф. Ф. Волькенштейн. – М. , 2001. – 352 с.

- 4.12 Вонсовский С. В. Вопросы современной квантовой теории электронных проводников. – УФН, 2002. – Т. 48. – №3, 289 – 388.
- 4.13 Полищук А. Г. Деградация светодиодов на основе гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов / А. Г. Полищук, А. Н. Туркин // Светотехника. – 2008. – № 5. – С. 44-46.
- 4.14 Беляев О. Є. Чарівні подорожі у блакитне світло / О. Є. Беляєв, В. О. Кочелап // Оптоелектроника и полупроводниковая техника. – 2014. - № 49. – С. 98-104.
- 4.15 Физические методы диагностики в микро и наноэлектронике. Под общей редакцией А.Е. Беляева и Р.В. Конаковой. – Харьков: ИСМА. – 2011. – 384 с.
- 4.16 Гальчина Н. А. Мощные ультрафиолетовые излучающие диоды / Н. А. Гальчина, Л. М. Коган, А. А. Колесников и др. // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 35-37.
- 4.17 Удальцов В. Е. Ультрафиолетовый излучающий диод / В. Е. Удальцов, А. В. Желаннов, А. А. Титова, Н. А. Панов // Вестник новгородского государственного университета. – 2011. – № 65. – С. 38-40.
- 4.18 Полищук А. Г. Деградация светодиодов на основе гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов / А. Г. Полищук, А. Н. Туркин // Светотехника. – 2008. – № 5. – С. 44-46.
- 4.19 Бахтизин Р. З. Голубые диоды / Р. З. Бахтизин // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – № 3, Т.7 – С. 42-47.
- 4.20 Справочная книга по светотехнике : 3-е изд. переработ. и допол. / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
- 4.21 Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.
- 4.22 Уэймаус Д. Газорозрядные лампы / Д. Уеймаус. – М. : Энергия, 1977. – 342 с.

4.23 Сарычев Г. С. Высокоинтенсивные источники ультрафиолетового излучения и их применение в технологических процессах / Г. С. Сарычев, Г. Н. Гаврилкина, С. Г. Ашурков, Е. И. Розовский // Светотехника. – 1979. – № 9. – С. 5-8.

4.24 Specials Lamps [Электронный ресурс] / Philips Lighting B.V. – Режим доступа:

www.lighting.philips.com/content/B2B_LI/en_AA/search.html?q=TUV#q=TUV&p=&filter='%7BBISS_GROUP1~LI%7CProduct%7D'&context= (дата звернення: 09.04.15). – Назва з екрана.

4.25 Лампы для облучателей: ИК, УФ, бактерицидные Osram [Электронный ресурс] / Каталог ламп Osram. – Режим доступа : http://www.osramlampa.ru/index.php?id_group=165&do=show_group/ (дата звернення: 16.04.15). – Назва з екрана.

4.26 Ballast, Lamp, LED Specification Guide 2011-2012[Электронный ресурс] / Lighting Catalog. – Режим доступа : http://www.espentech.com/images/catalog/espen_ballast.pdf (дата звернення: 10.04.15). – Назва з екрана.

4.27 Ultraviolet sterilizing lamp [Electronic resource] / Product catalog. – Режим доступа : http://en.jsfeiyang.com/products_list/&pmcId=2cc9ebef-8446-4b44-bcc2-e9562bf23460.html (viewed on June 22, 2014). Title from the screen.

4.28 Семенов А. О. Визначення ефективності дії ультрафіолетових систем залежно від чинників впливу та технічного обслуговування / А.О. Семенов, Т.В. Сахно // Науковий вісник полтавського університету економіки і торгівлі: Серія «Технічні науки», ПУЕТ, 2020. №1(96). С. 97-104.

4.29 Семенов А. О. Прогнозування корисного строку служби ультрафіолетових ламп у фотобіологічних і фотохімічних процесах / А. О. Семенов, Г. М. Кожушко, Т. В. Сахно, Г. О. Бірта // Науковий вісник полтавського університету економіки і торгівлі: Сер. технічні науки, ПУЕТ, 2018. №1(85). С. 129-134.

5.1 Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М. : Медицина, 2003. – 208 с.

5.2 Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.

5.3 Джерела ультрафіолетового випромінювання : методика виконання вимірювань параметрів ультрафіолетового випромінювання. МВУ 11-038-2007 / ННЦ «Інститут метрології». – Харків, 2007. – 33 с.

5.4 Белявский, М. П. Методика контроля потока излучения бактерицидных ламп в процессе их эксплуатации [Текст] / М. П. Белявский, А. Л. Вассерман, П. В. Рубинштейн // Светотехника. – 2001. – № 1. – С. 6–8.

5.5 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів: ДНАОП 0.00-1-21-98: Державний нормативний акт про охорону праці. – К., дата введення 20.02.98. – 72 с.

5.6 Демиденко Л. В. Спектральные поправки при измерении параметров УФ излучения источников медицинского назначения приборами отечественного производства [Текст] / Л. В. Демиденко, О. К. Еремеева, Л. Г. Карпова // Український метрологічний журнал. – 2007. – № 1. – С. 20-25.

5.7 Потапенко Н. Г. Использование ультрафиолетового излучения в практике обеззараживания воды [Текст] / Н. Г. Потапенко, О. С. Савлук // Химия и технология воды. – 1991. – Т. 13. - №12. – С. 1117-1129.

5.8 Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. Б. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

5.9 Бейли Н. Статистические методы в биологии / Н. Бейли. – М. : Мир, 1964. – 289 с.

5.10 Лебедев В. В. Руководство по обработке результатов наблюдений при выполнении лабораторных работ / В. В. Лебедев. – М. : МИНГ, 1987. – 175 с.

5.11 Nelson L. S. Standardizing Students / L. S. Nelson // The Aruevicou Statisticou. – 1973. – № 27. – P. 93.

Наукове видання

Семенов Анатолій Олексійович

Попов Станіслав Вячеславович

Сахно Тамара Вікторівна

Тарасенко Дмитро Сергійович

**УЛЬТРАФІОЛЕТ: СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ
ТА ДЖЕРЕЛА ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Монографія

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі
механічної та електричної інженерії
Полтавського державного аграрного університету

Підписано до друку 16.01.2023 р.
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 11.
Наклад 300 прим. Замовлення 2022-129

Видавництво ПП «Астроя»

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв.4

Тел.: +38(0532) 509-167, 611-694

Е-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №5599 від 19.09.2017 р.

Друк ПП «Астроя»

36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв.4

Тел.: +38(0532) 509-167, 611-694

Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР
14.12.1999 р. №1 588 120