

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 91 аркуші друкованого тексту і містить 11 таблиць, 25 рисунків. При виконанні роботи було використано 19 літературних джерел. Вона складається зі вступу, шести розділів основної частини, висновків, списку літератури .

В магістерській кваліфікаційній роботі на основі аналізу штучних джерел УФ-випромінювання різних угруповань обґрунтовано доцільність використання ртутних розрядних електротехнічних пристроїв низького тиску для різних опромінювальних систем в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінення, завдяки високому виходу резонансного випромінювання в УФ-діапазоні спектру 184,9 нм та 253,7 нм.

Обґрунтовано впровадження в існуючу технологію підготовки питної води технологію бактерицидного опромінення потоку води в поверхневому об'ємі захисного кварцевого корпусу лампи з паралельним та зустрічним напрямком векторів швидкості руху рідини і потоку випромінювання, що дозволило забезпечити мінімальні втрати оптичної енергії у поєднанні з високою якістю і рівномірністю обробки води. Встановлено значення фактичної дози бактерицидного опромінення, яку отримує живильний розчин протягом фотоактивації.

Приведені основні положення з охорони праці.

Ключові слова: ультрафіолетове опромінення, бактерицидна доза, комплекси знезараження води, електротехнічні пристрої.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СИМВОЛІВ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ.....	12
1.1. Оптичне випромінювання та його вплив на живі організми....	12
1.2. Аналіз досліджень бактерицидної дії ультрафіолетового випромінювання.....	18
1.3. Аналіз систем бактерицидного знезаражування води УФ випромінюванням.....	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ.....	26
2.1. Обґрунтування методики розрахунку установок бактерицидного знезаражування УФ випромінюванням	26
2.2. Аналіз електротехнологічного комплексу знезараження питної бутильованої води.....	32
2.3. Аналіз електротехнологічного комплексу бактерицидного знезараження води в басейнах комплексною дією озону та ультрафіолетового випромінювання	36
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДЖЕРЕЛ УФ- ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ КОМПЛЕКСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ.....	46
3.1. Аналіз ефективних джерел УФ - випромінювання різних електротехнічних пристроїв для комплексів знезараження та опромінення.....	46
3.2. Електротехнічні пристрої УФ-дії з приєднаними системами керування для комплексів фотобіологічної дії.....	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ І СХЕМИ ЕРУВАННЯ.....	66

4.1. Розрахунок ефективності бактерицидного опромінення питної води.....	66
4.2. Розроблення системи бактерицидного знезараження води.....	75
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	79
5.1. Безпечна експлуатація освітлювальних і опромінювальних установок.....	79
5.2. Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом.....	81
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	85
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	90

ПЕРЕЛІК СИМВОЛІВ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

ВУФ – вакуумний ультрафіолет

ВЧ – високі частоти

ГВС – галогеновмісні сполуки

ГДК – гранично допустима концентрація

ГЗЕ – граничні значення експозицій

ДБ – дугова бактерицидна

ДНК - дезоксирибонуклеїнова кислота

ДРБ – дугова ртутна бактерицидна

ДРТ – дугова ртутна трубчаста

ЕПРА – електронний пускорегулюючий апарат

ЗКБ – загальні коліформні бактерії

ЗМЧ – загальне мікробне число

ІЧВ – інфрачервоне випромінювання

ККД – коефіцієнт корисної дії

КУО – колонієутворюючі одиниці

ЛЕ – лампи еритемні

ЛЕР – лампи еритемні рефлекторні

ЛУФ – лампи ультрафіолетові

МГЛ – металогалогенна лампа

МЕД – Мінімальна еритемна доза

МЕК – Міжнародна електротехнічна комісія

МКО – Міжнародна комісія з освітлення

НВЧ – надзвичайно високі частоти

НДР – науково-дослідна робота

НЧ – низькі частоти

ОУ – опромінювальна установка

ПРА – пускорегулюючий апарат

СВД – світловипромінювальні діоди

ТКБ – термотолерантні коліформні бактерії

ТУ – технічні умови

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 – фотосинтетично активна радіація

ВСТУП

Застосування ультрафіолетового випромінювання дозволяє вирішити цілу низку завдань у промисловості, медицині, комунальному господарстві, енергетиці, сільському господарстві і т. д., де хімічні методи виявляються безсилими або неприйнятними. Розуміючи природу багатьох хімічних, фізичних і біологічних процесів на атомно-молекулярному рівні ультрафіолетове випромінювання дозволяє вирішити ряд актуальних завдань і в агропромисловому комплексі. Застосування такого підходу стало можливим завдяки розробці і промислового виробництва сучасних потужних високоефективних джерел УФ-випромінювання та електротехнічних пристроїв на їх основі, що дозволило розпочати їх широке використання в електротехнічних системах комплексів бактерицидного знезараження повітря, води, поверхонь тощо.

Значний внесок у вирішення проблеми використання УФ-випромінювання в різних сферах діяльності людства зробили вітчизняні вчені. На сьогодні існує велика кількість опублікованих робіт, в яких викладені результати експериментальних і теоретичних наукових досліджень із зазначеної проблематики.

Разом з тим, використання результатів цих досліджень для електротехнічних комплексів бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінювання є не завжди можливим через значну розбіжність отриманих даних, що пов'язано із застосуванням окремими авторами різних методик дослідження, використанням різних електротехнічних пристроїв, неоднаковим трактування основних понять і застосуванням різних одиниць вимірювань, а також через відсутність відомостей про деякі важливі параметри випромінювання й умови функціонування електротехнічних комплексів.

Перехід сільськогосподарського виробництва до ринкових відносин привів до того, що частка електроенергії в собівартості продукції не тільки зросла, а в деяких випадках перетворилася у визначальний показник (наприклад, в тепличному виробництві). Ця обставина докорінно змінює підхід до синтезу сучасних та прогнозування новітніх технологічних процесів і установок.

Підвищення енергетичної ефективності електротехнологій (ОЕТ), тобто технологічних процесів, в яких оптичне випромінювання використовується як специфічний енергетичний чинник, одержаний від електричних джерел оптичного випромінювання, є для сільськогосподарського виробництва найбільш наукоємним перспективним завданням у порівнянні з іншими технологіями. Це обумовлено двома обставинами.

По-перше, великим різноманіттям об'єктів опромінення, що розрізняються своєю природою, видом (тварини, рослини, водорості, дріжджі, продукція рослинництва і тваринництва), фізичним станом опроміненого середовища (газоподібний, рідкий, твердий, м'який), а також специфічними механізмами дії оптичного випромінювання, обумовленими різними спектральними діапазонами випромінювання (ультрафіолетова, видима та інфрачервона ділянка спектру оптичного випромінювання), енергією фотонів та інтенсивністю опромінення.

По-друге, використанням специфічного виду променистої енергії – електромагнітного випромінювання ультрафіолетового спектру, котре характеризується особливими законами генерації та сприйняття тваринним організмом.

Ця специфіка обумовлює значні втрати оптичної енергії на всіх етапах її утворення та сприйняття. Так, генерація оптичного випромінювання у різних джерел становить від 10 до 80% споживаної електроенергії. При передачі оптичної, зокрема, ультрафіолетової енергії тварині використовується лише від 30 до 80% падаючої на поверхню її тіла. При цьому, при первинній взаємодії оптичного випромінювання з організмом тварини внаслідок

спектральних особливостей та фотофізичного механізму поглинання ефективно перетворюється від 35% до 85% падаючого на її поверхню випромінювання. У середньому корисне використання спожитої електроенергії в різних оптичних електроустановках становить від 20 до 70% [1].

Таким чином, підвищення ефективності застосування оптичного випромінювання в галузях тваринництва і птахівництва вимагає, з одного боку, визначення шляхів та механізму дії оптичного випромінювання на тваринний організм з метою розробки методологічних принципів його дозування, а з іншого – розробку технічних засобів, що дозволяють підвищити ефективність використання оптичного випромінювання залежно від специфіки дії ділянок його спектра та джерел оптичного випромінювання.

Актуальність теми. Оптичне випромінювання, так само як повітря і вода, є найбільш важливим фактором середовища проживання людини. Стан та екологічні властивості продуктів і води залежать від їх зараженості шкідливими мікроорганізмами. Тому їх знезараження є актуальним.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є обґрунтування і розробка практичного використання методу знезараження питної води ультрафіолетовим випромінюванням.

Об'єкт дослідження – процеси знезараження питної води в електротехнічних системах ультрафіолетової дії.

Предмет дослідження – закономірності впливу електротехнічних комплексів ультрафіолетового випромінювання на ефективність бактерицидного знезараження питної води.

Методи дослідження. Використовували стандартні методики вимірювання спектральної густини опроміненості, спектральної густини енергетичної яскравості і потоку ультрафіолетових джерел, доз УФ-опромінення в різних енергетичних областях ультрафіолетового діапазону. При визначенні смертності бактерій використовували Міжнародні

стандарти. Кількість дріжджових та пліснявих грибів визначали відповідно до Методики контролю якості Державної фармакопеї України.

Обробку результатів вимірювання проводили з використанням теорії похибок та методів математичної статистики.

На захист кваліфікаційної магістерської роботи виносяться:

1. Аналіз технологічних систем очистки і знезараження питної води.
2. Аналіз електротехнологічних комплексів знезараження води.
3. Аналіз ефективних джерел УФ-випромінювання для електротехнічних пристроїв комплексів знезараження води.
4. Розробка електротехнологічної системи бактерицидного знезараження питної води і схеми керування.
5. Охорона праці.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи та результати досліджень були представлені здобувачем на VI Міжнародній науково-практичній конференції. (м. Бережани 2023р.)

Публікація: Клендій П.Б., Вмходзь Р.Я Бактерицидне знезаражування питної води УФ випромінюванням. «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення»: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. м. Бережани 26 квітня 2023р / ВП НУБіП України «БАТІ» Бережани, 2023.С 184-185.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

1.1. Оптичне випромінювання та його вплив на живі організми

Тіла, що мають температуру вищу за абсолютний нуль, випромінюють в оточуюче середовище енергію, яку називають променистою. Випромінювання має хвильові і корпускулярні властивості. Хвильові властивості випромінювання характеризуються довжиною хвилі або частотою коливання. Корпускулярні властивості випромінювання проявляються при дії випромінювання на поверхню сприймаючого тіла, характеризуються випромінюванням і поглинанням променистої енергії окремими порціями – квантами.

Гіпотезу, що випромінювання пов'язане з порціями енергії, вперше висунув у 1900 р. Макс Планк. Мінімальна порція променистої енергії, яка випромінюється при переході електронів в атомно-молекулярних структурах з високого енергетичного рівня на більш низький, являє собою квант енергії. Квант оптичної енергії носить назву «фотон». При зіткненні з поверхнею сприймаючого тіла, фотон взаємодіє з електроном його молекули, додаючи йому відповідної енергії. Розповсюджуючись в просторі від джерела випромінювання до сприймаючого тіла, потік фотонів характеризується хвильовими властивостями електромагнітного поля.

Енергія фотона пропорційна частоті електромагнітних коливань f і обернено пропорційна довжині хвилі λ :

$$W_{\phi} = hf = \frac{hc}{\lambda}, \quad (1.1)$$

де $h \cong 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постійна Планка;

$c = 3 \cdot 10^8$ м·с⁻¹ – швидкість поширення випромінювання у вакуумі.

Між швидкістю поширення світла у вакуумі, довжиною хвилі і частотою коливань існує залежність:

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (1.2)$$

Електромагнітне випромінювання в діапазоні із довжиною хвиль від $1 \cdot 10^{-9}$ м (1 нанометр, нм) до $1 \cdot 10^{-3}$ м (1 міліметр, мм) називається оптичним випромінюванням.

Спектр оптичного випромінювання поділяється на такі види:

- ультрафіолетове (довжина хвилі 1...380 нм);
- видиме (довжина хвилі 380...760 нм);
- інфрачервоне (довжина хвилі 760... $1 \cdot 10^6$ нм).

Спектр оптичного випромінювання приведений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Спектр оптичного випромінювання

Ультрафіолетове випромінювання				Видиме випромінювання									Інфрачервоне випромінювання		
Вакуумне	Зона С	Зона В	Зона А	Фіолетове	Синє	Голубе	Зелене	Жовто-зелене	Жовте	Оранжеве	Червоне	Зона А	Зона В	Зона С	
1	100	280	315	380	450	480	510	550	575	585	620	760	1400	3000	10^6
Довжина хвилі, нм															

В залежності від впливу на біологічні об'єкти ультрафіолетове випромінювання (УФ-випромінювання) поділяється на зони А, В, С. Випромінювання зони А (довжина хвилі 315...380 нм) має біологічну активність, здатне викликати пігментацію шкіри людини (засмагу), позитивно впливає на організм тварин і птиці, визначає формативний ефект у

рослин. Використовується для люмінесцентного аналізу хімічного складу різних речовин і біологічного стану продуктів, зокрема їх якості.

Випромінювання зони В (довжина хвилі 280...315 нм) має порівняно більшу енергію фотонів, спричиняє тонізуючу і терапевтичну дію на живі організми, здатне викликати не тільки засмагу, а і почервоніння шкіри (еритему) і, перетворюючи в організмі тварин необхідний для росту і розвитку тварин вітамін D у форму, що легко засвоюється, має потужну антирахітну дію. Ультрафіолетове випромінювання зони В шкідливе для більшості рослин. В сільськогосподарському виробництві застосовується, в основному, для оздоровлюючого опромінення молодняка тварин і птиці.

Зона С (довжина хвилі 100...280 нм) відрізняється сильною бактерицидною дією фотонів великої енергії на віруси і мікроорганізми. Тому випромінювання цієї зони використовується для знезаражування води і повітря, дезинфекції і стерилізації інвентарю і посуду тощо.

Видимим називають випромінювання діапазону від 380 до 760 нм, яке безпосередньо викликає зорові відчуття у людини. Випромінювання застосовують для створення необхідного рівня освітленості при виконанні відповідних робіт людиною або забезпечення їй візуальних комфортних умов. Крім того, видиме випромінювання є основою реакції фотосинтезу у рослин, сприяє збільшенню продуктивності і регулюванню біологічних ритмів тварин і птиці.

Інфрачервоне випромінювання (понад 760 нм) має найменшу із перерахованих енергію фотонів, яка призводить лише до коливання електронів на енергетичних орбітах молекул, що проявляється як підвищення температури в опромінюваному тілі. В сільському господарстві використовується для обігріву молодняка тварин і птиці, сушіння сільськогосподарських продуктів, пастеризації молока тощо.

Енергія випромінювання, що генерується в сільськогосподарських освітлювальних і опромінювальних установках, у більшості випадків безпосередньо впливає на живі організми. Вплив випромінювання на

людину, тварин, рослини і мікроорганізми називають фотобіологічним. В даний час відомі наступні види фотобіологічних впливів випромінювання.

Світлова дія. Вона полягає в тому, що видиме випромінювання, впливаючи на око людини або тварини, викликає зорове відчуття. Завдяки світловій дії оптичного випромінювання людина і тварини мають здатність бачити.

Фотосинтетична дія. Рослини, поглинаючи видиме і довгохвильове ультрафіолетове випромінювання, здатні за рахунок його енергії синтезувати органічні речовини з мінеральних.

Фотоперіодична дія (фотоперіодизм). Опромінення (освітлення) при різному чергуванні періодів світла і темряви і при різному спектральному складі може чинити великий і різноманітний вплив на ріст і розвиток рослин, а також на фізіологічний стан, поведінку і розвиток тварин.

Терапевтична дія (вітальна, антирахітна, тонізуюча). Опромінення людей і тварин ультрафіолетовим, видимим і інфрачервоним випромінюваннями покращує обмін речовин в організмі, підвищує життєвий тонус, а також підвищує опір організму захворюванням.

Бактерицидна дія, або летальна (руйнівна). Опромінення ультрафіолетовим, а при великих дозах видимим і інфрачервоним випромінюваннями, викликає загибель бактерій, рослин і дрібних тварин.

Мутагенна дія. Тривалий вплив на тварин і рослини ультрафіолетовим випромінюванням (а при великих опроміненнях і видимим) може призводити до спадкових змін. Мутагенна дія може використовуватися для виведення високопродуктивних рослин та інших організмів.

Фотохімічні реакції. Загальне для всіх процесів фотобіологічної дії випромінювання — це *фотохімічні реакції*, які протікають в речовинах живих клітин внаслідок поглинання ними випромінювання. Молекули при поглинанні фотона переходять у збуджений стан і після цього здатні вступати в ті чи інші хімічні реакції, що призводить до певних біологічних

змін. Фотохімічна дія визначається не інтенсивністю опромінення, а повною ефективною дозою, тобто терміном опромінення на час дії.

Швидкість фотохімічних реакцій залежить від кількості поглиненої енергії випромінювання, концентрації реагуючих речовин, температури і деяких інших факторів.

Ефективність фотобіологічної дії випромінювання може значно зменшуватися в результаті поглинання випромінювання поверхневими реактивними шарами організму або за рахунок відбивання ними випромінювання. Одноклітинні організми (бактерії, найпростіші та ін) особливо чутливі до випромінювання, так як вони мають малу товщину і фотони можуть досягати життєво важливих центрів. У людини і великих тварин випромінювання може проникати тільки у поверхневі ділянки тіла.

Для кожного фотобіологічного процесу можна побудувати залежність інтенсивності процесу від довжини хвилі випромінювання. Таку графічну залежність називають спектром дії процесу. Знання спектру дії має дуже важливе значення при створенні найбільш економічних джерел випромінювання і установок.

Прояви впливу оптичного випромінювання на тварин і птахів різноманітне і залежить від спектрального складу випромінювання. Видиме випромінювання на тварин впливає не тільки через органи зору, але і шляхом сприйняття його іншими органами. Фізіологічні ритми (парування, розмноження, зміна волосяного і перового покривів і ін) у більшості тварин і птахів залежать від світлових умов. Від умов освітлення значною мірою залежить і продуктивність тварин і птахів

Порівняно з короткохвильовим ультрафіолетовим і видимим випромінюваннями інфрачервоне випромінювання має більшу проникаючу здатність в тканини тварин. Проникнення інфрачервоного випромінювання в тканини організму залежить від відбивної і поглинальної здатності верхнього покриву — шкіри. Будова і функції шкіри людини і ссавців тварин

однакові, тому біологічна дія інфрачервоного випромінювання, яка чиниться на людину, спостерігається і при дії на тварин.

Та, що знаходиться під роговим шаром нижня частина епідермісу, складається з живих клітин, які закінчуються волокнами, що передають відчуття болю і знаходяться в тісному зв'язку з епітеліальними клітинами. Пошкодження цих клітин, яке настає при тепловому впливі, що відповідає приблизно 43,5 °С, викликає відчуття болю. Допустима щільність опромінення при інфрачервоному обігріві тварин обмежується цим критерієм. Чим більше випромінювання поглинається шаром, в якому виникають больові відчуття, тим менше значення має величина допустимого опромінення. Випромінювання з довжинами хвиль менше 1400 нм досить інтенсивно проникають крізь шар, в якому виникає больове відчуття. Випромінювання з великими довжинами хвиль сильно поглинається цим шаром шкіри, що значно обмежує значення допустимого опромінення. У зв'язку з цим, найбільш сприятливі для опромінення тварин джерела, мають спектр випромінювання в області від 700 до 1400 нм. Інфрачервоне опромінення тварин сприяє кращому їх розвитку і зменшує сприйнятливості до захворювань. Воно збуджує кровообіг, що сприяє кращому обміну речовин і живлення клітин. Деякі автори вважають також, що опромінення посилює фагоцитоз (здатність певних клітин захоплювати і знищувати збудників хвороби) і збільшує утворення антитоксину, знищує зародки інфекційних захворювань в організмі. Оздоровчу дію інфрачервоного опромінення пояснюють також тим, що деякі хвороботворні бактерії гинуть при температурі 41 °С протягом 5 год.

Найбільш сильну тонізуючу і терапевтичну дію на організм тварин чинить ультрафіолетове випромінювання. Прийнято вважати, що благотворна дію ультрафіолетового випромінювання полягає у розширенні кровоносних судин і наступних реакціях організму у результаті дії гістаміну. Так як розширення судин супроводжується приливом крові і почервонінням — еритемою опромінених ділянок, то міру еритеми прийнято ототожнювати

з мірою благотворної дії випромінювання. Випромінювання різних довжин хвиль мають неоднакову вітальну ефективність.

Максимум вітальної дії припадає на випромінювання з довжиною хвилі 297 нм. При розрахунках опромінювальних установок і дозуванні ультрафіолетового опромінення беруть до уваги лише ефективність, обумовлену випромінюванням в межах довжин хвиль від 280 до 320 нм. Деякі автори вважають, що в умовах сільськогосподарського виробництва продуктивність тварин і птахів істотно лімітована недостатнім вмістом в кормах вітаміну Б. Тому за основу господарської ефективності ультрафіолетового опромінення рекомендовано приймати антирахітну дію випромінювання. Максимум антирахітної дії не співпадає з максимумом вітальної дії. Спектр антирахітної дії випромінювання на тварин встановлений ще недостатньою мірою.

1.2. Аналіз досліджень бактерицидної дії ультрафіолетового випромінювання

Короткохвильове УФ-випромінювання спричиняє, як вже відзначалося, деструктивну летальну дію на рослинні та живі мікроорганізми, зокрема, на бактерії, віруси, мікроби тощо [1, 2, 3].

За міжнародною термінологією, згідно з [13] випромінювання, здатне знищувати будь-які хвороботворні 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 хвороботворних мікроорганізмів застосовується прикметник «бактерицидний».

Ефект знешкодження хвороботворних 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) [3]. Ще в 1929 р. було показано, що спектр дії летальності мікроорганізмів співпадає не із спектром поглинання клітини в цілому, а з спектром поглинання нуклеїнових кислот. В подальшому цей факт було підтверджено численними експериментами.

Питна вода, як правило, містить цілий набір забруднень різної природи: механічні частинки, солі важких металів, органічні молекули різних розмірів, бактерії, віруси тощо. Тому основоположними критеріями при створенні апаратно-технологічної схеми електромеханічного комплексу знезараження води на етапах водопідготовки є склад вхідної води та вимоги до якості води, що обумовлені технологічним процесом.

Вимоги до питної води останнім часом стають більш жорсткими, тому досягти цих параметрів за мікробіологічними показниками без зміни хімічного складу води не завжди вдається.

На рисунку 1.1 наведена схема технічного комплексу водопідготовки, яка включає в логічній послідовності прийоми водопідготовки, що застосовуються у залежності від сфери використання води та необхідних параметрів її чистоти. Основними технологічними прийомами водопідготовки є: очистка води від зважених частинок; очистка від марганцю та заліза; видалення органічних забруднень; пом'якшення води; знесолення; видалення біологічних забруднень; корегування складу води.

В таблицях 1.2 та 1.3 наведені мікробіологічні показники безпеки питної води різних підприємств АПК до впровадження технічних систем бактерицидного знезараження з використанням УФ-випромінювання.

Згідно даних (табл. 1.2) невідповідність питної води п.1, загальне мікробне число складає 28 %, а за пп. 2-7 не більше 7 %, а згідно даних табл. 1.3 за вмістом патогенних кишкових найпростіших невідповідність питної води складає - 2%.

Таблиця 1.2

Мікробіологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників, одиниця вимірювання	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Загальне мікробне число при t 37° С - 24 год, КУО/см ³	≤ 100 (≤ 50)	5-280
2	Загальні коліформи, КУО/100 см ³	відсутність	0-17
3	E.coli, КУО/100 см ³	відсутність	0-42
4	Ентерококи, КУО/100 см ³	відсутність	0-21
5	Патогенні ентеробактерії (наявність в 1 дм ³)	відсутність	0-19
6	Коліфаги, КУО/дм ³	відсутність	0-24
7	Ентеровіруси, аденовіруси, антигени ротавірусів, реовірусів, вірусу гепатиту А та інші (наявність в 10 дм ³)	відсутність	відсутні

Таблиця 1.3

Паразитологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників (одиниці виміру)	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Патогенні кишкові найпростіші: ооцисти, криптоспоридій, ізоспор, цисти лямблій, дизентерійних амеб, балантидія кишкового та інші. (клітини, цисти в 50 дм ³)	відсутність	0-6
2	Кишкові гельмінти (клітини, яйця, личинки в 50 дм ³)	відсутність	відсутні

Для вирішення питання мікробіологічного забруднення питної води використаємо електротехнічну схему ультрафіолетового випромінювання для бактерицидного знезараження питної води на заключному етапі водопідготовки (рис. 1.1) в технічних комплексах знезараження води.

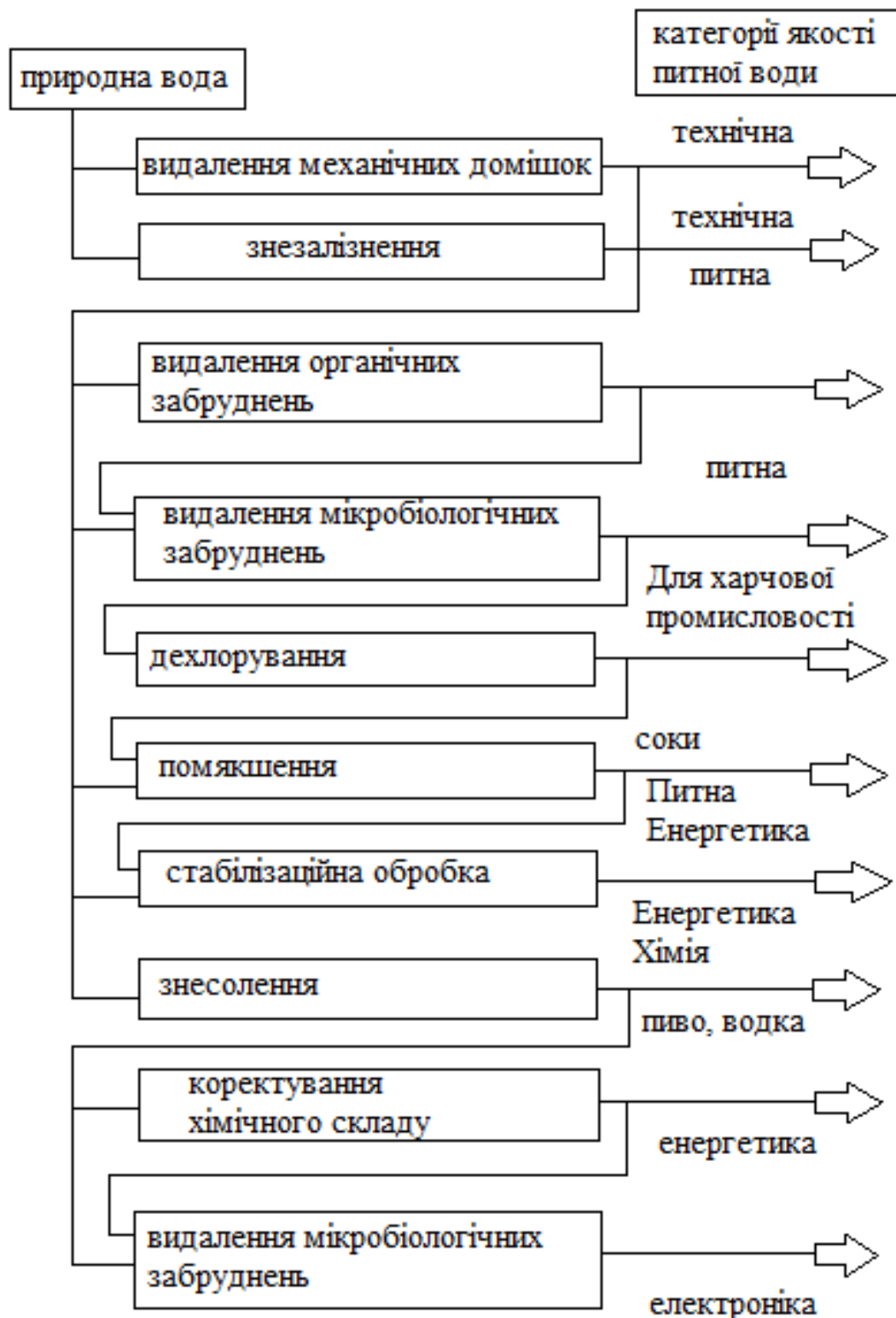


Рис. 1.1 - Типова схема технічного комплексу водопідготовки з використанням різних методів

Слід відзначити, що метод ультрафіолетового знезараження має ряд істотних переваг перед хімічними реагентними методами [2, 31], головним з

яких є відсутність змін складу і органолептичних властивостей (запаху, смаку). У випадках передозування – також не виникають негативні ефекти.

Переваги УФ-технології в наступному: не утворюються побічні небажані речовини та не змінюється хімічний склад корисних (мінеральних та інших) домішок і не змінюються органолептичні властивості води; спосіб і процес відрізняється надійністю, простотою, низькою енергоємністю та собівартістю. Ультрафіолетове випромінювання дозволяє знищувати віруси і грибки на які не діють традиційні хімічні методи, зокрема хлорування [17].

Бактерицидна дія ультрафіолетового випромінювання при знезараженні води здійснюється за рахунок прямої дії ультрафіолетових променів на клітину та молекулярну структуру мікроорганізмів, викликаючи модифікуючи фотохімічні пошкодження ДНК. Зміни в ДНК мікроорганізмів накопичуються і призводять до уповільнення темпів їх розмноження і подальшого вимирання в першому і наступному поколіннях [16].

1.3. Аналіз систем бактерицидного знезаражування води УФ випромінюванням.

Водопостачання сільських населених пунктів і ферм часто здійснюється на базі відкритих водоймищ, колодязів шахтного і артезіанського типів. У відповідності з ГОСТ17.1.3.03 – 77 1 л води джерел водопостачання для пиття може містити до 10^3 мікробних тіл. Тому перед подачею в розподільні водопроводи вода повинна пройти очищення і знезараження.

Чиста вода, в якій відсутні зважені частинки і колоїдні речовини, добре пропускає короткохвильове УФ випромінювання області С, яке має сильну бактерицидну дію. УФ знезаражування води має переваги перед широко розповсюдженим знезаражуванням води методом хлорування: природній склад, смакові якості і хімічні властивості води не змінюються, випромінювання згубно діють на всі види бактерій навіть на

спороутворюючі, експлуатація УФ установок простіша і зручніша, вартість обробки води опроміненням в 2...3 рази нижча за хлорування.

Витрати електроенергії на опромінення води з підземних джерел – 10...15 Вт·год·м⁻³, а з відкритих джерел – 25...30 Вт·год·м⁻³.

Використовуються поверхневі і заглибні УФ установки для бактерицидного знезаражування води.

Конструктивно дані установки представлено на рис. 1.2 та 1.3.

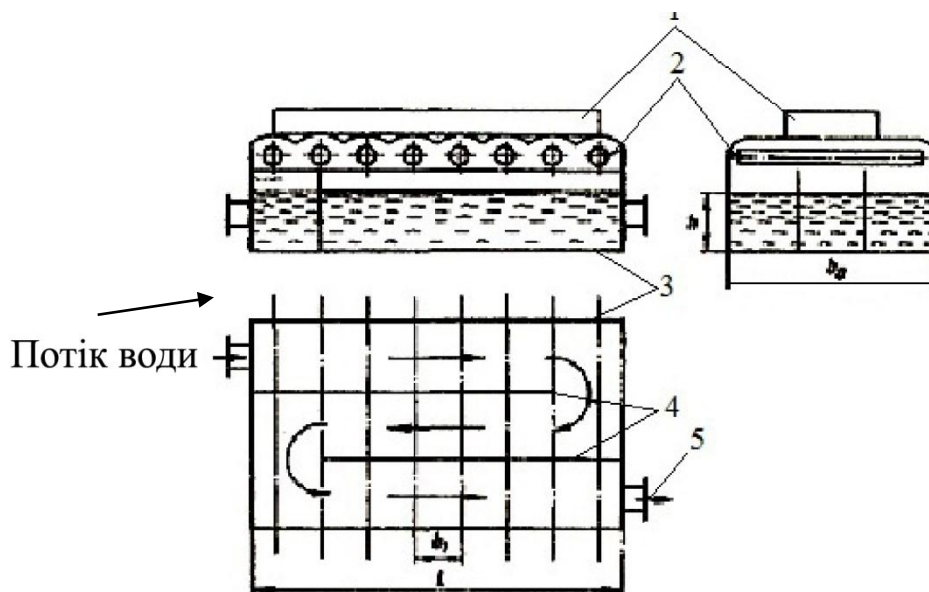


Рис. 1.2 - Ескіз установки для знезаражування води з поверхневими джерелами бактерицидного випромінювання: 1 – пускорегульвальна апаратура ламп; 2 – бактерицидні лампи; 3 – корпус установки; 4 – перегородки; 5 – напрямок руху води

На рис. 1.4 наведена типова схема електротехнічного комплексу підготовки питної води із застосуванням її бактерицидного знезараження [15] шляхом використання розроблених електротехнічних систем УФ опромінення.

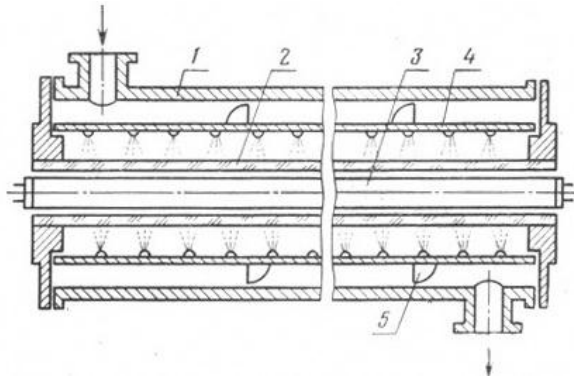


Рис. 1.3 - Розріз секції установки ОВУ-6П для знезаражування води УФ випромінюванням: 1 – циліндричний корпус; 2 – кварцовий чохол; 3 – дугова бактерицидна лампа; 4 – щітковий пристрій для очищення поверхні кварцової прозорої труби від водяного бруду; 5 – лопаті турбінок щіткового пристрою

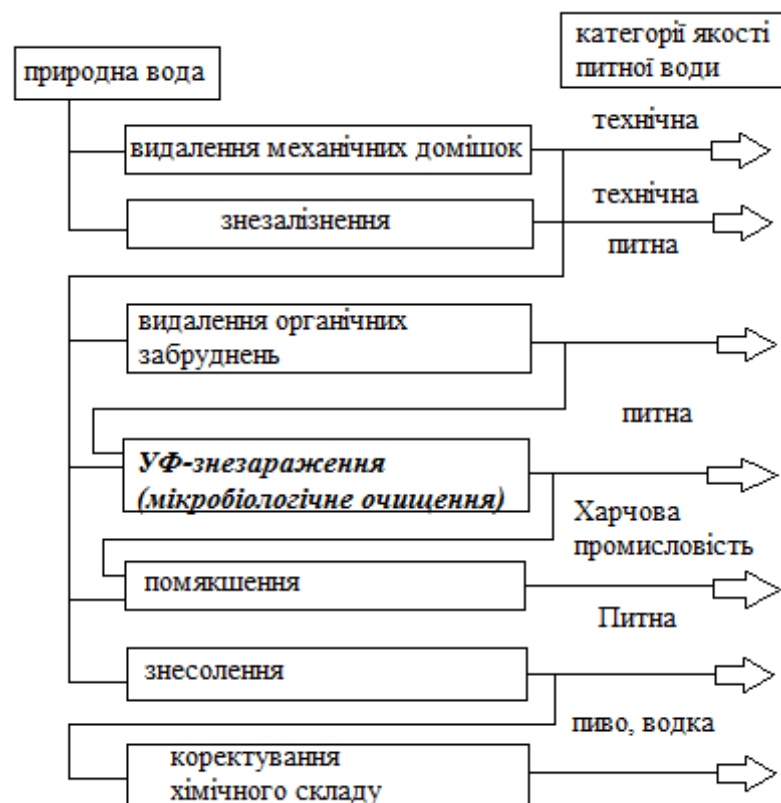


Рис. 1.4 - Схема електротехнічного комплексу знезараження води з використанням ультрафіолетового опромінювання на заключному етапі

При розрахунках та проектуванні установок знезараження питної води використані технічні принципи та результати експериментальних робіт, що

викладені в роботі [14].

При впровадженні електротехнічних систем бактерицидного знезараження питної води в комплексах бактерицидного знезараження води під дією УФ-випромінювання, вдалося досягти нормативних показників за мікробіологічними показниками, значення яких представлені в табл. 1.4 та 1.5.

Таблиця 1.4

Мікробіологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників, одиниця вимірювання	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Загальне мікробне число при t 37° С - 24 год, КУО/см ³	≤ 100 (≤ 50)	0-13
2	Загальні коліформи, КУО/100 см ³	відсутність	відсутні
3	E.coli, КУО/100 см ³	відсутність	відсутні
4	Ентерококи, КУО/100 см ³	відсутність	відсутні
5	Патогенні ентеробактерії (наявність в 1 дм ³)	відсутність	відсутні
6	Коліфаги, КУО/дм ³	відсутність	відсутні
7	Ентеровіруси, аденовіруси, антигени ротавірусів, реовірусів, вірусу гепатиту А та інші (наявність в 10 дм ³)	відсутність	відсутні

Згідно отриманих даних питна вода відповідає всім вимогам нормативної документації за вмістом мікробіологічних та паразитологічних показників безпеки питної води [32].

Таблиця 1.5

Паразитологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників (одиниці виміру)	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Патогенні кишкові найпростіші: ооцисти, криптоспоридій, ізоспор, цисти лямблій, дизентерійних амеб, балантидія кишкового та інші. (клітини, цисти в 50 дм ³)	відсутність	відсутні
2	Кишкові гельмінти (клітини, яйця, личинки в 50дм ³)	відсутність	відсутні

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

2.1. Обґрунтування методики розрахунку установок бактерицидного знезаражування УФ випромінюванням

На основі аналізу та досвіду конструювання установок бактерицидного знезараження питної води з використанням УФ випромінювання запропонована найбільш ефективна на наш погляд конструкція установки проточного типу, в якій бактерицидну лампу розташовують по осі циліндричної опромінювальної камери. У разі такого конструктивного рішення майже весь потік УФ-випромінення проходить через шар води і дезінфекція (знешкодження 99,9 % мікробіологічних об'єктів, які перебувають у воді) забезпечується з мінімальними енергозатратами.

Розрахунок опромінювальної установки зводиться до визначення такої зони опромінювального простору, яка піддається мінімальній бактерицидній опроміненості E_{\min} [1]. У цьому випадку всі інші зони активного об'єму V_a установки будуть зазнавати надлишкової експозиції. Необхідна експозиція H_s ($\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2}$) досягається варіацією E_{\min} ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) або часу t (с):

$$H_s = E_{\min} \cdot t \quad (2.1)$$

Ефективний час t (с) перебування води в установці визначаємо за формулою:

$$t = \frac{V_a}{3600 \cdot Q} = \frac{V - V_1 - V_2}{3600 \cdot Q} \quad (2.2)$$

де V – об'єм опромінювальної порожнини установки, м^3 ;

V_1 – об'єм зануреної частини зовнішньої колби лампи, м^3 ;

V_2 – об'єм застійних зон камери, який сягає до 10 % об'єму опромінювальної

порожнини і залежить від конструкції установки, м^3 ;

Q – продуктивність установки, $\text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$.

Розрахунок параметрів електротехнічної системи знезараження води проточного типу проводимо з урахуванням рекомендацій [18]. Відправним пунктом при цьому є те, що в установці забезпечується необхідна поверхнева експозиція H_s опромінення для інактивації різних видів мікроорганізмів в найбільш віддалених місцях, тобто тих, що найменше опромінюються в камері активного об'єму. Поверхнева експозиція інактивації H_s , а не об'ємна H_v , вибрана тому, що для інактивації мікроорганізмів дані щодо значень H_s визначаються більш простим методом і є відомими величинами (табл. 1.3).

Важливими при розрахунках є світлотехнічні параметри опромінювання. Енергетичну яскравість L_0 зовнішньої поверхні лампи радіусом R_1 визначали експериментально за допомогою УФ-радіометра «Тензор-31». Для врахування природного спаду променевого потоку лампи протягом строку служби (~35 % до 8000 год горіння) застосовуємо коефіцієнт запасу 0,65:

$$L_1 = 0,65L_0 \quad (2.3)$$

Діаметр камери вибираємо з урахуванням даних, де рекомендується, щоб у разі використання ртутних розрядних ламп низького тиску діаметр опромінювальної порожнини був не більше ніж 100 мм.

Довжина опромінювальної порожнини визначається довжиною зануреної частини зовнішньої колби лампи. Схему опромінювальної частини установки із такими елементами, як бактерицидна лампа, кварцовий чохол і стінка камери, показано на рис. 2.1.

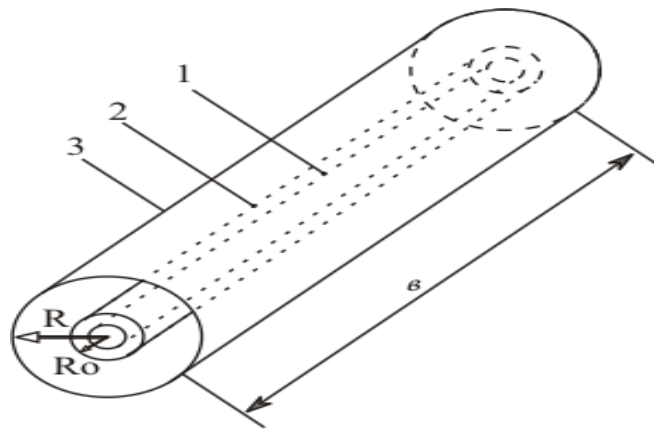


Рис. 2.1 - Схема опромінювальної установки: 1 – бактерицидна лампа; 2 – кварцовий чохол; 3 – стінка камери

Згідно із другим законом опроміненості вона є обернено пропорційною квадрату відстані R від джерела, тобто

$$E \sim \frac{1}{R^2}. \quad (2.4)$$

Згідно з законом Бугера-Ламберта променевий потік (а пропорційно йому і опроміненість) під час проходження крізь шар води вздовж осі x змінюється за формулою:

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-kx}, \quad (2.5)$$

де k – показник послаблення променевого потоку.

Тоді формула для визначення мінімального значення бактерицидної опроміненості $E_{b,\min}$ на внутрішній поверхні стінки камери 3 (рис. 2.1) установки має вигляд:

$$E_{b,\min} = \frac{E_{b,o} \cdot R_0^2}{R^2} \cdot e^{-k(R-R_0)}, \quad (2.6)$$

де $E_{b,o}$ – опроміненість на зовнішній поверхні кварцового чохла 2 (рис. 2.1); R_0 та R – відповідно зовнішній радіус кварцового чохла 2 і внутрішній радіус камери 3.

Показник k послаблення променевого потоку показує, яка частка $\Delta\Phi$ початкового бактерицидного потоку втрачається під час проходження крізь одиницю товщини шару води. Проте оскільки поглинання зменшується

разом зі зниженням інтенсивності бактерицидного потоку, то для розрахунків береться значення показника k_1 послаблення бактерицидного потоку шаром води товщиною 1см. Значення коефіцієнта поглинання за такої товщини змінюється в межах:

- природної води поверхневих джерел – від 0,2 до 0,6;
- питної води артезіанських джерел водопостачання – від 0,05 до 0,2;
- питної води з поверхневих джерел – від 0,15 до 0,3.

За наявності можливості показник k_1 визначається у лабораторних умовах у кожному конкретному випадку.

Тоді мінімальне значення проміжку часу опромінення в годинах, що необхідне для утворення бактерицидної (поверхневої) дози H_b на внутрішній поверхні стінки камери (коли вода в ній є нерухомою) визначається за формулою:

$$t_{min} = \frac{H_b \cdot R^2}{E_{b,0} \cdot R_0^2 \cdot 3600} \cdot e^{k(R-R_0)} \quad (2.7)$$

Якщо ж вода рівномірно (ламінарно, тобто не перемішуючись) тече вздовж камери то за формулою:

$$g = \frac{b}{t}, \quad (2.8)$$

де b – довжина випромінювальної частини лампи, можна визначити мінімальне значення швидкості протікання води (в метрах за годину). Отже:

$$g_{min} = \frac{3600 \cdot E_{b,0} \cdot R_0^2}{H_b \cdot R^2} \cdot e^{-k(R-R_0)} \quad (2.9)$$

Продуктивність Q установки (в метрах кубічних за годину) може бути визначена за формулою:

$$Q = \frac{V}{t_0} \quad (2.10)$$

де V – опромінюваний об'єм води.

В нашому випадку $V = \pi \cdot b \cdot (R^2 - R_0^2)$, тому:

$$Q = \frac{3600\pi \cdot b \cdot E_{b,0} \cdot R_0^2 (R^2 - R_0^2)}{H_b \cdot R^2} \cdot e^{-k(R_2 - R_1)} \quad (2.11)$$

При таких умовах, навіть у разі ламінарної течії, віддалені від джерела УФ дії шари води будуть отримувати необхідну для інактивації дозу.

Використання в формулах (2.7) – (2.11) опроміненості $E_{b,0}$ разом з експоненційним множником має перевагу перед способами, коли за основу береться значення опроміненості, усереднене по товщині шару води, тому що показник $k(R - R_0)$ має значення більше ніж насправді. Завдяки цьому значення опроміненості $E_{b,\min}$ на внутрішній поверхні стінки камери береться завжди з деяким запасом. Теж саме стосується інших параметрів знезараження, а саме t_{\min} , \mathcal{G}_{\min} та Q , в той час як способи з усередненою опроміненістю можуть призвести до недоопромінення шарів води, близьких до стінки камери.

У деяких випадках пропонується для підвищення ефективності знезараження перемішувати воду в камері установки і навіть є спроби побудови математичних моделей таких процесів. Але ніякі механічні «мішалки» всередину камери вмонтовані бути не можуть, непридатними є й магнітні «мішалки», оскільки вода – діамагнетик. Мова може йти про сукупність пластин певної форми (лопатей), прикріплених у певний спосіб до внутрішньої стінки камери, які б спрямовували воду від стінки до лампи з відтискувань її від лампи на периферію камери. Але вода поза такими пластинками буде перебувати в застійному стані та буде ними екранована від випромінювання, і в таких місцях камери мікроорганізми навпаки будуть розмножуватися. І взагалі, можливість перемішування уявляється сумнівною, оскільки, наприклад, маса (і об'єм) шару води товщиною 10 мм, який прилягає до внутрішньої стінки камери діаметром 100 мм, буде більше шару води такої самої товщини, який прилягає до лампового чохла діаметром 30

$$\text{мм в } \frac{100^2 - 90^2}{40^2 - 30^2} = 2.7 \text{ рази.}$$

Слід зазначити, що будь-які розрахунки параметрів установок бактерицидного знезараження УФ випромінюванням слід вважати таким, що мають наближений характер. Причин кілька, а саме [15]:

- закон Бугера-Ламберта є суворо справедливим лише для вузького пучка променів, в той час як у розрахунках розглядають пучки, що падають на одиницю площі (опроміненості);
- закон Бугера-Ламберта є справедливим лише для монохроматичних випромінювань, а спектри бактерицидних ламп як низького, так і високого тиску такими не є;
- не по всій довжині камери вода переміщується (тече) рівномірно, в торцевих зонах поблизу переходів з діаметра вхідної труби утворюються застійні зони, де вода майже не рухається; крім того ці зони опромінюються з одного боку, в той час як в середній ділянці камери – з двох боків по довжині лампи.

У зв'язку з цим в усіх цивілізованих країнах оцінка (атестація) ефективності систем бактерицидного УФ знезараження води проводиться методом біодозиметрії. Сутність цього методу полягає в тому, що експериментальним шляхом визначається (контролюється) значення дози опромінення, необхідної для досягнення потрібного ступеню інактивації мікроорганізмів. На практиці це здійснюється прямим підрахунком кількості живих і мертвих мікроорганізмів в одиниці об'єму проби води (люмінесцентна мікроскопія). Такий підхід є не тільки виправданим, але й необхідним ще й тому, що завдяки природній еволюції, стійкість патогенних мікроорганізмів підвищилась: до хлору в 5 разів; до озону в 2 – 3 рази; до ультрафіолету в 4 рази.

У зв'язку з цим, якщо раніше мінімальним значенням дози УФ знезараження вважалися: 160 – 200 Дж/м² (16 – 20 мДж/см²) для питної води; 280–300 Дж/м² (28–30 мДж/см²) для господарсько-побутових та промислових

стічних вод, то зараз в промислово розвинутих країнах ці значення становлять відповідно 400 Дж/м² та 700 – 1000 Дж/м².

Більш детальний огляд конструктивних особливостей електротехнічних систем УФ-дії для знезараження води розглянуто в розділі 3.

2.2. Аналіз електротехнологічного комплексу знезараження питної бутильованої води

Забезпечення населення якісною водою є однією із актуальних проблем, яка потребує ефективного рішення. На сьогоднішній день споживачі надають перевагу бутильованій воді. Процес отримання і подачі населенню якісної питної води залежить від ряду факторів, основними з яких є: стан водних джерел, санітарно-технічний рівень систем водопостачання на підприємствах і безпосередньо сам процес бутілювання.

Промислове виробництво питної води процес багатоступінчатий. Він включає, по-перше, процес контролю якості питної води на підготовчому етапі. Цей етап є необхідним для підбору та оцінки адекватності тих чи інших методів водопідготовки. В першу чергу аналізуються параметри, що характеризують чистоту та безпечність води – токсикологічну, радіологічну, мікробіологічну, органолептичну. Крім того необхідно встановити, наскільки ця вода відповідає критеріям «фізіологічної повноцінності», тобто містить життєво важливі макро- і мікроелементи в концентраціях, що забезпечують потреби організму.

При виробництві бутильованої води використовують різні її види, добути із різноманітних джерел, в тому числі із струмків, свердловин і комунальних джерел водопостачання. Незалежно від джерела походження або мети застосування, воду перед її подальшим використанням необхідно підготувати. Тому виробництво питної води в більшості випадків починається з водопідготовки із використанням різних методів.

На рисунку 2.2 наведена схема електротехнологічного комплексу

виробництва бутильованої води, продуктивністю від 1,8 м³/год до 6 м³/год, що успішно використовуються на низці підприємств. Принципіальної різниці у порівнянні з більш потужними електротехнологічними комплексами виробництва питної води не існує.

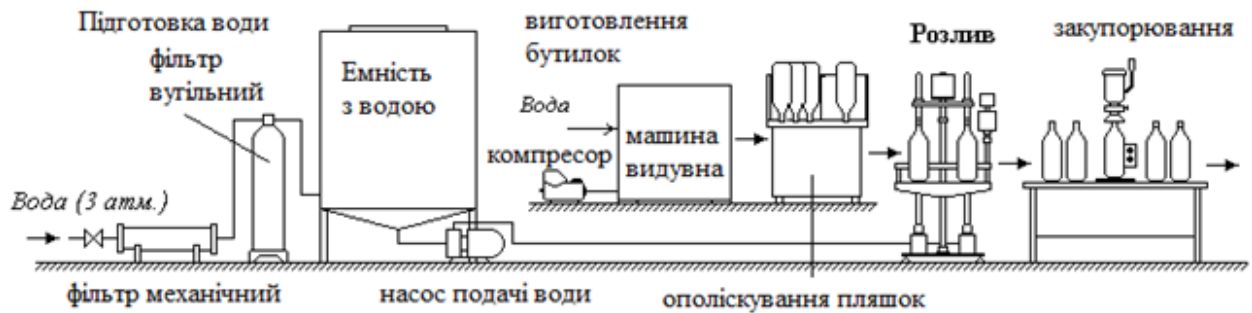


Рис. 2.2 - Типова схема електротехнологічного комплексу виробництва питної води

Спочатку на ділянці водопідготовки вода проходить очистку з допомогою механічного фільтра (рис. 2.1), де осідають тверді механічні включення і частинки, а потім за допомогою вугільного фільтра, де завдяки абсорбції із води видаляють хімічні з'єднання. Очищена вода потрапляє в ємність (накопичуваний резервуар), де зберігається до моменту розливу.

Процес мікробіологічного забруднення води, як показують експериментальні дослідження, відбувається на всіх етапах технологічного процесу: при зберіганні в накопичуваному резервуарі, при розливі в тару тощо. В результаті після розливу в пляшки кількість життєздатних мікроорганізмів швидко збільшується, досягаючи за 3-7 діб $10^4 - 10^5$ КУО/мл. Кількість бактерій і їх метаболічна активність прямо пропорційні відношенню площі поверхні до об'єму ємності, в якій зберігається вода. Це пояснюється тим, що присутні в малих концентраціях поживні речовини абсорбуються і концентруються на поверхні, таким чином стають більш доступними для бактерій. Кількість життєздатних мікроорганізмів на поверхні ПЕТ-бутелів і на ПЕВТ-кришок варіює від 11 до 632 КУО/см² [2]. Миття тари перед розливом не завжди є дієвим заходом, особливо при багаторазовому її використанні. Дезинфіканти, які при цьому

використовуються, частково залишаються на стінках бутилів і впливають на органолептичні якості води.

Для боротьби з мікроорганізмами використовують різні методи боротьби, аналіз яких здійснено в розділі 1. Так, при хімічних способах обробки води для досягнення стійкого знезаражувального ефекту необхідно правильно визначити дозу реагенту, що вводиться, і забезпечити достатню тривалість контакту його з водою. Доза реагенту визначається пробним знезараженням або розрахунковими методами. Відомо, що перевищення дози реагенту додає воді специфічний запах і змінює органолептичні показники.

З фізичних способів обробки питної води найбільшого поширення набуло знезараження ультрафіолетовими променями, бактерицидні властивості яких згубно діють на мікроорганізми. Ультрафіолетові промені знищують не лише вегетативні, але і спорові форми бактерій і не змінюють органолептичні характеристики води.

Дані про переваги та недоліки вище описаних методів представлені в таблиці 2.1. Звідки слідує, що використання УФ випромінювання в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження води на основному та заключному етапі технологічного процесу (рис. 2.2) – це вирішення задачі знезараження при підготовці питної води із різних джерел водопостачання [1].

Таблиця 2.1

Переваги та недоліки існуючих методів знезараження питної води

Найменування методу та його характеристика	Переваги	Недоліки
Озонування використовується для знезараження та поліпшення кольору, смаку і усунення запаху	<ul style="list-style-type: none"> - сильний окислювач та дезінфектант; - ефективний проти вірусів патогенної мікрофлори; - сприяє видаленню мутності з води; - видалляє сторонні присмаки і 	<ul style="list-style-type: none"> - утворює побічні продукти, а саме: органічні кислоти, кетони, пероксиди; - необхідність використання біологічно активних фільтрів для видалення утворених побічних продуктів; - не забезпечує залишкової знезаражувальної дії; - вимагає високих початкових витрат на обладнання; - озон, реагуючи зі складними

	запахи	з'єднаннями, розщеплює їх на фрагменти, які є поживним середовищем для мікроорганізмів у системах розподілу води
Хлорування застосовують у газоподібному вигляді, тому слід дотримуватися найсуворіших заходів безпеки	<ul style="list-style-type: none"> - ефективний окислювач і дезінфектант; - характерна післядія; - запобігає зростанню водоростей; - руйнує органічні сполуки; - характерний для видалення неприємного смаку і запахів 	<ul style="list-style-type: none"> - підвищенні вимоги до перевезення і зберігання; - потенційний ризик для здоров'я у разі витікання; - утворення побічних продуктів дезінфекції; - погіршує органолептичні показники
Ультрафіолетове опромінення – процес технологічно полягає в опроміненні води ультрафіолетом, який здатний вбивати різні типи мікроорганізмів	<ul style="list-style-type: none"> - не потребує зберігання та транспортування хімікатів; - не утворює побічних продуктів; - не змінює органолептичні показники води 	- знезаражувальна активність залежить від каламутності води, її жорсткості

За основу технологічного процесу обрано спосіб знезараження УФ опроміненням з використанням розроблених електротехнічних систем, що детально розглянуті в розділі 3. Розроблена технологія дозволяє здійснювати знезараження тари і води одночасно в процесі бутелювання.

На рис. 2.3 наведена схема розробленого електротехнологічного комплексу знезараження питної води в процесі бутелювання з використанням УФ випромінювання.

Електротехнологічний комплекс знезараження питної води в процесі бутелювання складається з двох технологічних процесів: знезараження питної води та знезараження внутрішньої поверхні пакувальної тари та кришок.

Послідовність знезараження води, пластикових бутлів та кришок для герметизації бутлів включає наступні етапи: вода, що розливається в бутель,

пропускається через установку ультрафіолетового знезараження; внутрішня поверхня бутля УФ опромінюється, перед розливом води; при наливанні води в бутель вода і поверхня його додатково УФ опромінюється; поверхня кришок для герметизації бутлів знезаражується.

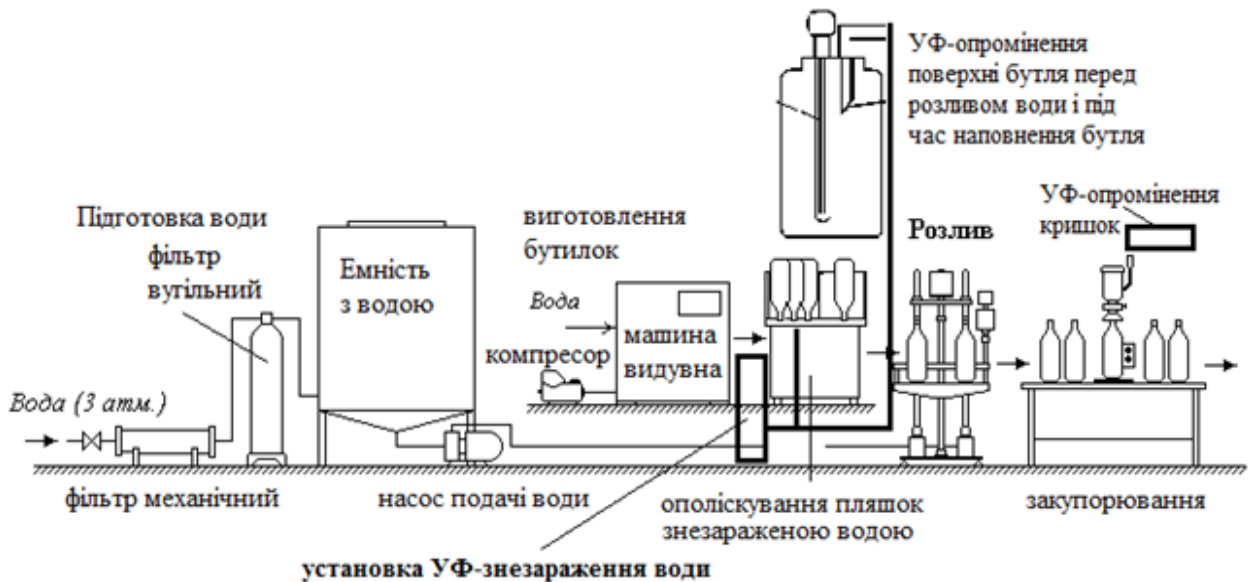


Рис. 2.3 - Схема розробленого електротехнологічного комплексу знезараження питної води в процесі бутелювання

Більш детально процес знезараження питної води в процесі бутелювання розглянуто в розділі 3, де проведені необхідні розрахунки поверхневих доз опромінення із використанням розроблених електротехнологічних систем ультрафіолетової дії.

2.3. Аналіз електротехнологічного комплексу бактерицидного знезараження води в басейнах комплексною дією озону та ультрафіолетового випромінювання

Сьогодні будівництво басейнів є невід'ємною частиною соціальних програм розвитку інфраструктури міст і населених пунктів, оскільки передбачаються в проектах сучасних медичних центрів, лікарень, санаторіїв, дитячих дошкільних закладів, шкіл та інших об'єктів. Для значної частини

населення користування басейнами стає нормою і показником здорового способу життя.

Вода басейнів безпосередньо впливає на здоров'я відвідувачів. Але поряд з оздоровчими ефектами існує можливість шкідливого впливу води в басейні на організм людини, зокрема подразнюючої дії хімічних домішок в воді на шкіру та слизові оболонки, інтоксикації при попаданні шкідливих речовин в дихальні шляхи та при випадковому попаданні води в шлунково-кишковий тракт. Існує також вірогідність зараження захворюваннями інфекційної природи, які можуть передаватись через воду басейнів для плавання та купання.

Експлуатація басейнів потребує проведення комплексу заходів по фільтруванню та дезінфекції води. Вимоги до якості води в басейнах для плавання та купання встановлені в [1,3]. Надзвичайно актуальною задачею при дезінфекції води є застосування технологій, що не приводять до утворення в процесі знезараження токсичних сполук, при цьому повністю знищуючи патогенну мікрофлору і не впливають на здоров'я людей. Мікробіологічні показники води повинні забезпечувати неможливість передачі через воду небезпечних кишкових захворювань, а також аденовірусних інфекцій, корости, кон'юнктивітів, отитів, синуситів, вірусних гепатитів, дизентерії.

Для забезпечення відповідності основних показників води вимогам санітарних норм необхідно або забезпечити постійну заміну води в ванні басейну, тобто створити систему проточного водозабезпечення басейну водою питної якості, або створити систему циркуляційного водозабезпечення з очисткою і знезараженням води. З точки зору санітарної безпеки більш прийнятною є система проточного водозабезпечення, однак вона потребує великих витрат води і енергоресурсів. З економічної точки зору більш прийнятною є циркуляційна система, при якій проходить постійна чистка води, що знаходиться в басейні.

У відповідності з вимогами нормативних документів і практичного

досвіду для забезпечення необхідного рівня очистки і знезараження води, необхідно протягом доби забезпечити не менш як чотириохкратну циркуляцію всього обсягу води в басейні через систему очистки і знезараження. В [31] рекомендується здійснювати повний водообмін: для спортивних басейнів не більше 8 годин, для оздоровчих – не більше 6 годин, для дітей старше 7 років - 2 години, а для дітей до 7 років – 0,5 години.

Навіть при наповненні басейну питною водою, що повністю відповідає вимогам, при відсутності відповідної підготовки поверхня води в басейні через 2-3 дні покривається плівкою, а на стінках появляється слизь. В подальшому вода набуває зеленого відтінку, якого їй надає наявність водорості, і з'являється неприємний запах. Одна людина, навіть після попереднього прийняття душу, заносить в басейн до 50 тисяч мікроорганізмів [25]. В басейн можуть попадати шкідливі та небезпечні неорганічні та органічні речовини, які не тільки забруднюють воду, але й можуть призвести до захворювання. Для того, щоб вода, яка знаходиться в басейні, відповідала необхідним параметрам, вона має проходити підготовку, що обов'язково містить операції: підігрівання, рециркуляцію, механічну очистку та знезараження (дезінфекцію).

Знезараження – це знищення забрудників та продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, водоростей, бактерій, вірусів, потожирових виділень. Для цього застосовуються різні технології та методи, що поділяються за способом дії на мікроорганізми [3]:

- реагентні методи – дезінфекція досягається шляхом внесення в воду біологічно активних хімічних сполук (хлорування, бромовання, озонування, використання кисневоємних реагентів, комбінованих препаратів типу хлор+кисень тощо);
- безреагентні методи – оброблення води фізичним впливом (висока температура, ультрафіолет тощо);
- комбіновані методи – комбінація реагентних і безреагентних методів.

Сьогодні найбільш широкого застосування знаходять комбіновані методи: УФ опромінення у поєднанні з хлоруванням та УФ опромінення у поєднанні з озонуванням [32]. Застосування комбінованих методів дезінфекції води в басейнах визвано необхідністю зменшення застосування реагентів, перш за все хлору, який утворює продукти з органічними та неорганічними домішками, що вносяться в воду відвідувачами басейнів, та що знаходяться в складі води. Утворення побічних продуктів пов'язано з високою реакційною здатністю галогенів (хлору і броду), активно вступаючи в реакцію з домішками в воді вони утворюють вторинні галогеноорганічні сполуки. Це відноситься і до озону, який також здатний утворювати вторинні продукти реакції. В басейні вода має постійне надходження органічних речовин, які вносяться купальниками, і є джерелом побічних продуктів дезінфекції, що ускладнює процес дезінфекції і забезпечення токсикологічної безпеки води в басейні. На сьогодні відомо більше сотні різних продуктів дезінфекції в басейнах для плавання.

Розглянемо найбільш поширені схеми електротехнологічних комплексів водопідготовки води в басейнах.

На рис. 2.4 представлена схема електротехнологічного комплексу водопідготовки води в басейні з періодичною обробкою гіпохлоридом натрію, який періодично подається в басейн для знезараження (дезінфекції).

На ділянці водопідготовки вода проходить очистку за допомогою промивного фільтра (рисунок 2.4), де осідають тверді механічні включення і частинки, а потім за допомогою вугільного фільтра, де завдяки абсорбції із води видаляють хімічні з'єднання. Після цього очищена вода потрапляє в басейн, де періодично вводиться гіпохлорид натрію для бактерицидного знезараження води в басейні. Використання хімічних методів, а саме гіпохлориду натрію, приводить до негативних наслідків. Крім того, хлорування води з високим вмістом сполук броду та йоду призводить до високого вмісту бром- та йодвмісних побічних продуктів, які, як правило, ще більш цитотоксичні і мутагенні, ніж хлорвміщуючі. Так як багато із побічних

продуктів є летучими і легко випаровуються із води, вони через шкіру і легені попадають в організм людини. Окремі сполуки здатні визивати мутагенну і канцерогенну дію.



Рис. 2.4 - Типова схема електротехнічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням гіпохлориду натрію

Оцінка небезпечності деяких сполук, що утворюються при хлоруванні води в басейнах та розрахунковий прогноз їх токсичності наведений в [25]. Серед проблем пов'язаних з потенційною небезпекою для здоров'я людей побічних продуктів дезінфекції є їх видалення. З технологічної точки зору знизити концентрацію і видалити уже утворені токсичні побічні продукти можна шляхом окислення з наступною повною або частковою деструкцією токсичних молекул. Ефективні технології окислення базуються на використанні ОН радикалів. Технологія, що використовується в окислювальних процесах, відрізняються за способами отримання ОН радикалів в воді. Найбільш розповсюдженими методами отримання ОН радикалів для знезараження води є:

- використання реакції взаємодії озону і УФ випромінення (озон/УФ);
- використання реакцій пероксиду водню (H_2O_2) і озону;

- використання реакцій взаємодії пероксиду водню і УФ випромінення ($H_2O_2/УФ$).

Незважаючи на те, що хлорування досі є самим поширеним методом знезараження води, його використання постійно скорочується через недостатню ефективність існуючих схем хлорування по відношенню до ентеровірусів і найпростіших, утворенню небезпечних для здоров'я побічних продуктів, зокрема хлорамінів, галогеновмісних сполук та нітрозамінів, а також погіршення органолептичних показників води і негативного впливу хлору на слизові оболонки та дихальні шляхи.

Альтернативою хлору, як дезінфектанту, може бути озон. Озонування води - один із ефективних методів знезараження води киснем, він не тільки чинить бактерицидну дію на патогенну мікрофлору, але і здатний руйнувати багато присутніх у воді хімічних речовин: відбувається деструкція високомолекулярних органічних з'єднань, усунення присмаку і запахів.

На рис. 2.5 представлена схема електротехнологічного комплексу водопідготовки води в басейні з використанням озону для знезараження (дезінфекції).

Така схема з використанням методу озонування може застосовуватися як на всіх, так і на окремих етапах попередньої, проміжної і фінішної обробки води, але тільки у тому випадку, коли інші, більш прості і дешеві технології не можуть вирішити поставленого завдання. Це досить дорога і складна технологія. Особливо затратною є стаття електроенергії.

Особливістю озону є легкість його розпаду з утворенням атомарного кисню – одного з найбільш сильних окислювачів. Атомарний кисень знищує бактерії, спори, віруси, руйнує розчинені у воді органічні речовини. Це дозволяє використовувати озон не тільки для знезараження, але і для видалення токсичних органічних речовин, тобто для дезодорації води. При озонуванні мінеральний склад, рН і лужність води залишаються без змін.

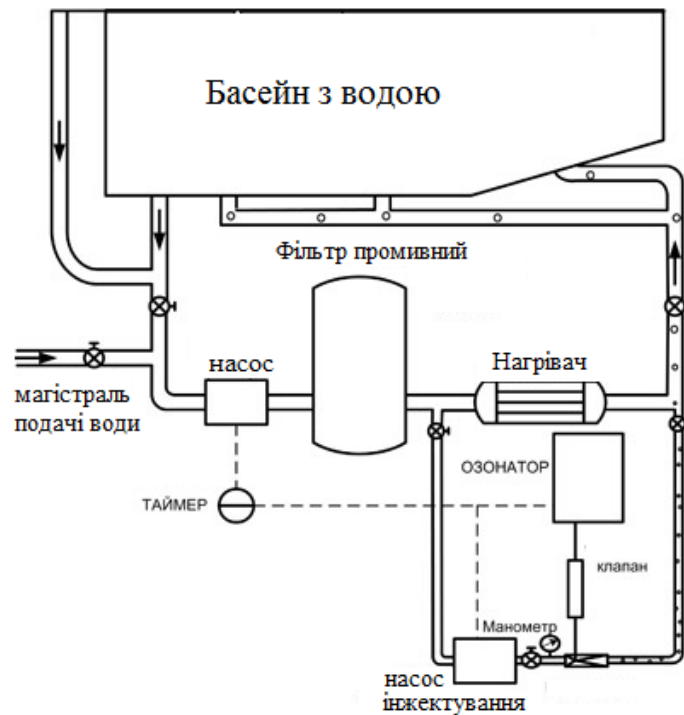


Рис. 2.5 - Типова схема електротехнічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням озонування

Знезаражуюча дія озону ефективніша за дію хлору в 15-20 раз, а на спорові форми бактерій приблизно в 300-600 раз [28]. Переваги озону перед хлором при знезараженні води полягають у тому, що озон покращує органолептичні властивості води і забезпечує бактерицидний ефект при меншому часі контактування, проте, на відміну від хлору він має не тривалу післядію.

Озонування поширене в багатьох індустріально розвинених країнах: США, Франція, Японія, Фінляндія, Німеччина. Найчастіше застосовується первинне озонування в невеликих дозах (1,5-2,0 мг/л), що дозволяє для досягнення високих результатів з водопідготовки комбінувати його з іншими технологіями, в тому числі з УФ знезараженням [36].

Ультрафіолет не створює побічних продуктів дезінфекції, його доза може бути збільшена до значення, що забезпечують епідеміологічну безпеку як по бактеріях так і по вірусах. Вплив УФ на віруси значно сильніший, ніж в разі використання хлору. Економічно цей вид знезараження досить ефективний, але одним із недоліків, який не дозволяє ефективно

використовувати його для знезараження води в басейні, є відсутність післядії випромінювання.

При впливі озону на клітинну стінку *Giardia* відбувається зміна цитоплазматичної мембрани і ультраструктурних елементів організмів. При порівнянні знезаражуючої дії озону і хлору по $0,1 \text{ мг/дм}^3$ кожного було встановлено, що для повного знищення 60 тис. кишкових паличок в 1 л води необхідно 5 секунд для озону і 15 тис. сек для хлору [14]. Необхідний час для прояву бактерицидного ефекту озону в воді, близько 10 хвилин. Високий віруліцидний ефект озону відзначається при значеннях концентрації 0,5-0,8 мг/л і експозиції біля 10 хвилин. Дослідження останніх часів показали високу ефективність озону при знищенні присутніх у воді цист найпростіших. Механізм бактерицидної дії озону полягає в інактивації бактеріальних ферментів, необоротному порушенні структури ДНК клітини впливом на ці структури атомарного кисню, що утворюється при розпаді озону. Переваги озону перед хлором при знезараженні води полягають у тому, що озон покращує органолептичні властивості води і забезпечує бактерицидний ефект при меншому часі контактування, проте, на відміну від хлору він не має післядії.

Озон може бути отриманий в результаті електричного розряду. Цей спосіб знайшов найбільше застосування в промисловості, але вартість його висока. Тому при розробці електротехнологічного комплексу бактерицидного знезараження водопідготовки води для басейнів враховані переваги та недоліки вище розглянутих методів і запропоновано технічно новий підхід - використати комбінований метод озонування з УФ-дією. При цьому використовувати озон, отриманий в результаті ультрафіолетового випромінювання електротехнічного пристрою.

На рис. 2.6 представлена схема електротехнологічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням комбінованого методу - комплексної дії озону та ультрафіолету.

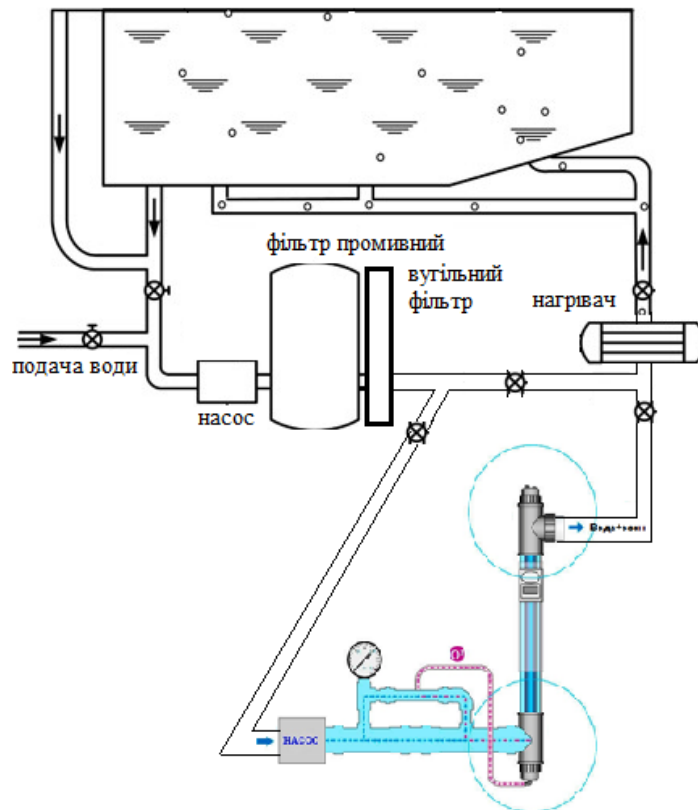


Рис. 2.6 - Схема розробленого електротехнологічного комплексу знезараження води в басейнах комплексною дією озону та ультрафіолету

Таким чином, згідно розробленого електротехнологічного комплексу водопідготовки води в басейні, знезараження води відбувається під дією озону, а потім під дією УФ випромінювання. Озон виробляється джерелом УФ-дії без використання додаткових пристроїв. Внаслідок розпаду озону відбувається збагачення води киснем.

Озон діє комплексно, приводячи до покращення фізико-хімічних і бактеріологічних показників води. Така схема обробки дозволяє забезпечити надійне бактерицидне знезараження.

При УФ опроміненні молекул розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням радикалів атомарного кисню і ОН [2]. 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)). Швидкість розпаду озону приблизно в 1000 разів вище, ніж у H_2O_2 .

На сьогодні доведено, що існує три шляхи реакції УФ/О₃, що призводять до генерації гідроксильних радикалів •ОН 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 у поєднанні з озоном можна застосовувати і при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок. Ці процеси ефективно йдуть при дуже високих УФ-дозах порядку 500-600 мДж/см², що набагато більше, ніж необхідно для глибокого знезараження.

При експериментальних дослідженнях в ході впровадження електротехнологічного комплексу знезараження води в басейнах встановлено, що 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. Дана схема електротехнічного комплексу знезараження води (рис. 2.6) успішно пройшла випробування при знезараженні води в басейнах об'ємом до 100 м³.

РОЗДІЛ 3.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДЖЕРЕЛ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ КОМПЛЕКСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

3.1. Аналіз ефективних джерел УФ - випромінювання різних електротехнічних пристроїв для комплексів знезараження та опромінення

Проведемо аналіз складових електротехнічних систем джерел УФ випромінювання різних угруповань щодо поліпшення їх параметрів і характеристик для підвищення ефективності використання цих електротехнічних пристроїв в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінення.

Основними чинниками, що визначають ефективність електротехнічних пристроїв ультрафіолетового випромінювання в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження та УФ опромінення, є: спектр випромінювання, потужність електротехнічного пристрою, ККД, робочий (корисний) і повний ресурс, спад потоку УФ випромінювання в процесі служби електротехнічного пристрою, компактність і вартість джерела та пристроїв керування, безпеку і технологічність використання [3, 16]. Кількісні значення параметрів електротехнічних пристроїв забезпечують ефективність дії електротехнічних комплексів бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінення.

Розрядні електротехнічні пристрої УФ випромінювання

Серед різних типів джерел УФ випромінювання найбільш широкого застосування отримали ртутні розрядні електротехнічні пристрої. Це пояснюється тим, що розряд в парах ртуті випромінює в усіх діапазонах УФ спектру, ртуть має високу потужність пару, що дозволяє створити різні

конструкції електротехнічних пристроїв з тиском пару від 1,3 Па до $1,3 \cdot 10^6$ Па, ртуть хімічно мало активна і майже не взаємодіє з матеріалами колби та електродів, що забезпечує досить високу надійність і строк служби джерела. У залежності від тиску пару ртуті розрізняють електротехнічні пристрої низького тиску від 1,3 Па до $1,3 \cdot 10^3$ Па (10^{-3} мм рт. ст. до кількох мм рт. ст.), електротехнічні пристрої високого тиску від $1,3 \cdot 10^3$ Па до $1,3 \cdot 10^6$ Па (від кількох мм рт. ст. до 10 атмосфер) і надвисокого тиску більше $1,3 \cdot 10^6$ Па (більше 10 атмосфер).

Ртутні газорозрядні лампи низького тиску

Структура енергетичних рівнів ртуті надзвичайно сприятлива для високоефективного генерування резонансного випромінювання в УФ діапазоні спектру (184,9 нм та 253,7 нм [16]).

Ртутні електротехнічні пристрої низького тиску через невеликі градієнти потенціалу і малі густини струму мають високий вихід резонансного випромінювання, але мають великі розміри при малих потужностях. Для підвищення потужності та зменшення розмірів електротехнічного пристрою (при збереженні високих ККД виходу резонансного випромінювання) необхідно підвищувати питому потужність (Вт/см), що можна досягти за рахунок збільшення сили струму або градієнту потенціалу (В/см).

На основі розряду низького тиску створено великий асортимент електротехнічних пристроїв УФ-дії. У таблиці 3.1 представлені технічні параметри деяких ртутних бактерицидних джерел низького тиску [15].

Крім джерел з переважним випромінюванням резонансних ліній створені також електротехнічні пристрої з більш довгохвильовим УФ випромінюванням за рахунок фотолюмінісцентного перетворення короткохвильового випромінювання.

В таблиці 3.2 представлені параметри еритемних електротехнічних пристроїв та пристроїв типу ЛУФ [15].

Таблиця 3.1

Основні технічні параметри ртутних електротехнічних пристроїв
низького тиску

Електротехнічний пристрій (тип джерела)	P, Вт	I, А	Номинальний бактерицидний потік, Вт	Строк служби, год	Геометричні розміри, мм	Матеріал колби
озонні						
ДБ-15	15	0,33	2,5	5000	451x30	УФ 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	УФ скло

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

Таблиця 3.2

Параметри еритемних електротехнічних пристроїв і електротехнічних пристроїв типу ЛУФ

Електротехнічні пристрої (тип джерела)	P, 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.

На рис. 3.1 наведені спектри випромінювання деяких типів електротехнічних пристроїв УФ-дії в яких використані фотолюмінофори [15].

Крім трубчастих ртутних розрядних джерел низького тиску, в яких для забезпечення необхідних для підтримання розряду концентрацій електронів використовують електроди з емітерним покриттям, розроблені також безелектродні електротехнічні пристрої.

Для роботи ртутних розрядних джерел низького тиску в умовах підвищених температур розроблені конструкції, в яких ртуть замінена на амальгаму (сплави ртуті з металами).

При оптимальних параметрах конструкції та режимах функціонування (діаметр розрядної трубки-колби, тиск пару ртуті та інертного газу, сила струму та інш.) можна отримати вихід з випромінюванням в резонансних лініях ртуті до 60 % всієї електричної потужності, що підводиться до електротехнічного пристрою [32].

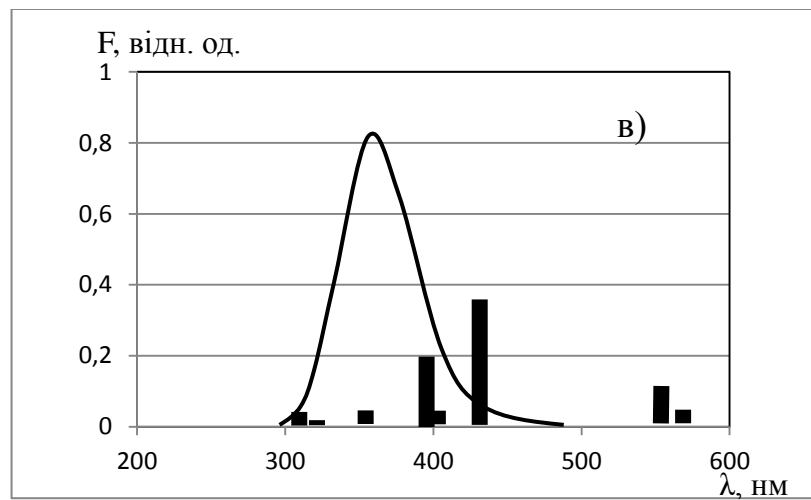
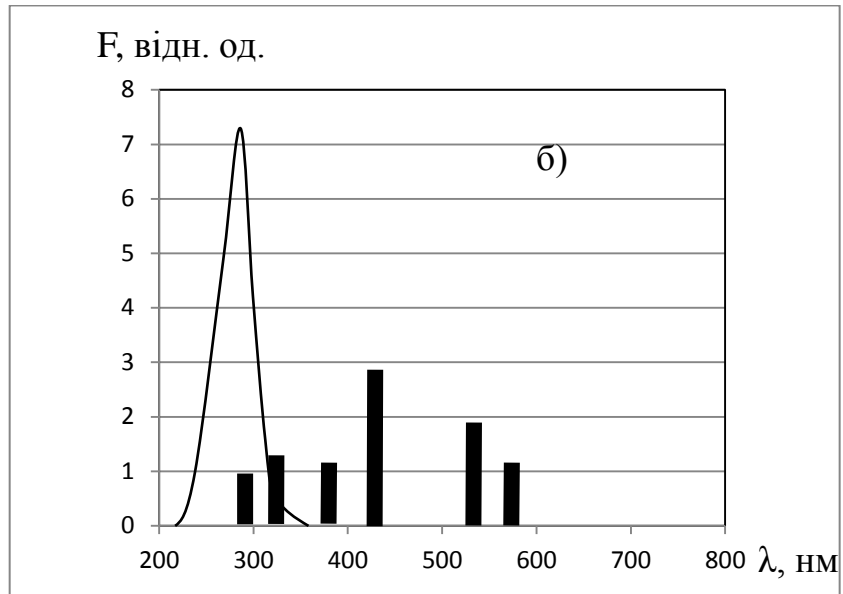
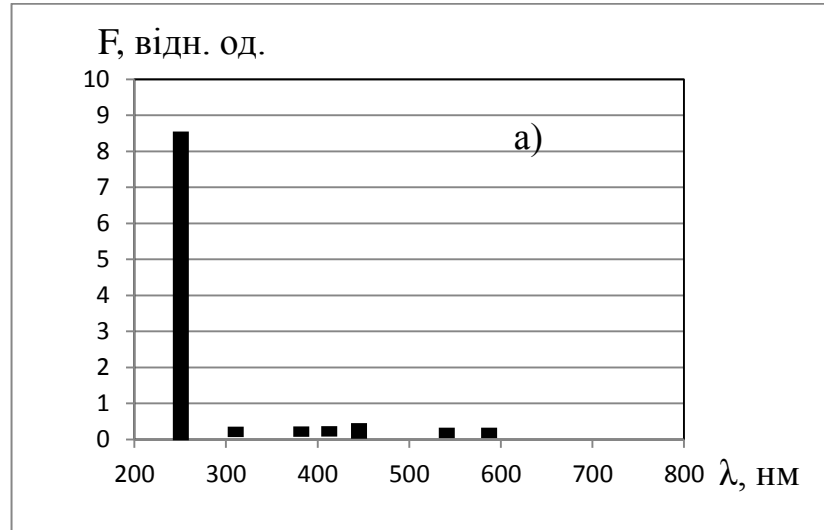


Рис. 3.1 - Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв низького тиску: а) – бактерицидної; б) – еритемної; в) – типу ЛУФ-40

Ртутні газорозрядні лампи високого тиску

До газорозрядних електротехнічних пристроїв високого тиску відносяться джерела, в яких робочий тиск пару (газу) складає $3 \cdot 10^4 - 10^6$ Па ($0,2 \cdot 10^2$ мм рт. ст. до $7,5 \cdot 10^2$ мм рт. ст.). Як джерела УФ-випромінювання в цій категорії найширшого застосування знайшли ртутні електротехнічні пристрої високого тиску.

Найбільш типовими ртутними розрядними електротехнічними пристроями УФ-дії високого тиску є джерела типу ДРТ (дугова, ртутна, трубчата). Вони представляють собою трубку із кварцового скла на кінцях якої впаяні вольфрамові активовані електроди. Загальний вигляд джерела наведено на рис. 3.2, розміри та електричні характеристики – в таблиці 3.3.



Рис. 3.2 - Загальний вигляд електротехнічного пристрою, дугового ртутного, типу ДРТ

Таблиця 3.3

Розміри та електричні характеристики дугових ртутних електротехнічних пристроїв типу ДРТ

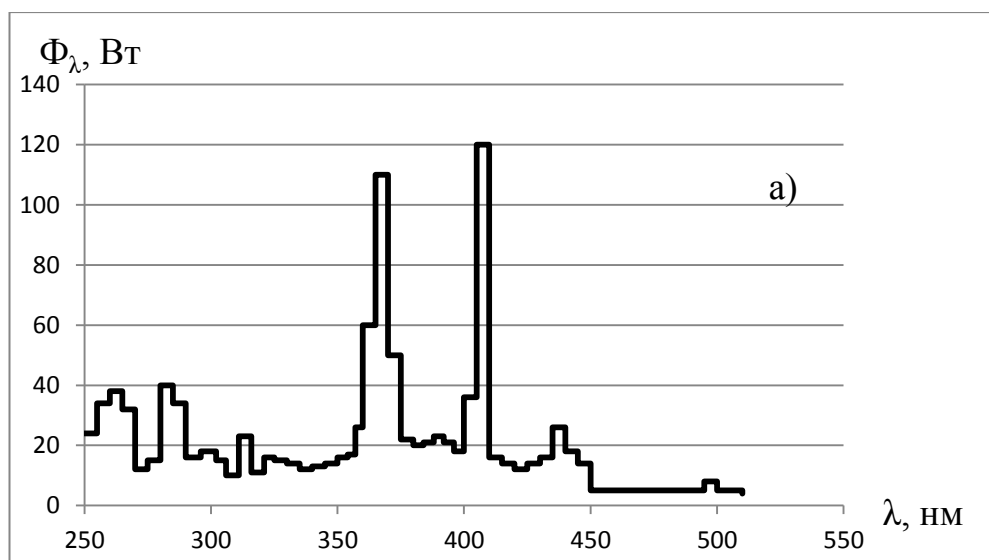
Величина	ДРТ 240	ДРТ 400	
Потужність, Вт	240	400	
Напруга, В	120	120	
Сила струму, А	робоча	2,3	3,7
	пускова	4,2	6
Довжина частини, що світиться, мм	105	100	
Повна довжина джерела, мм	227	257	
Діаметр трубки, мм	18	20	
тиск, атм.	1	1,2	
Час повторного розгоряння, хв.	15	15	
Час повторного запалювання, хв	10	10	

Металогалогенні електротехнічні пристрої високого тиску

Найбільш ефективними джерелами УФ-дії є металогалогенні електротехнічні пристрої, що мають високий ККД перетворення електричної енергії в УФ-випромінювання і можливість в широких межах регулювати спектр.

Принцип роботи металогалогенних електротехнічних пристроїв базується на створенні необхідного тиску парів випромінюючих добавок за рахунок введення їх у вигляді легко випаровуваних сполук – галоїдних солей. За достатньої температури стінок колби в об'ємі розрядної трубки створюється певний тиск парів введених солей, котрі, дифундуючи в область розряду під дією високої температури, розкладаються на галоген і галогенні радикали, а в підсумку – метали. Атоми металу збуджуються і випромінюють. Під час зворотної дифузії окремі компоненти в області пониженої температури рекомбінують до вихідних сполук. Найбільш детально фізичні основи роботи металогалогенних електричних пристроїв викладено в [16].

Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв ДРІ та ДРТІ із різними випромінюючими добавками представлені на рис. 3.3.



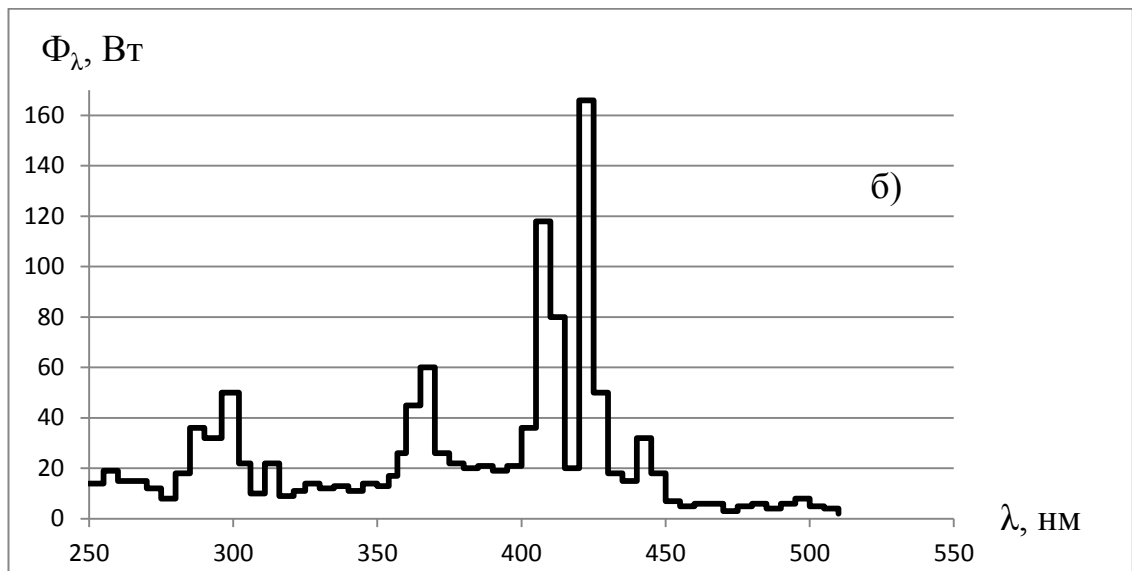


Рис. 3.3 - Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв ДРІ та ДРТІ із різними випромінюючими добавками: а) - з йодидами свинцю; б) - з йодидами галію, свинцю

В останній час з'явився новий напрямок, котрий передбачає заміну високотоксичної ртуті, що використовується в ролі буферного наповнення металогалогенних електротехнічних пристроїв, на екологічно чистий ксенон, а також металогалогенні джерела з полікоровими розрядними трубками [16].

Металогалогенні електротехнічні пристрої МГЛ є найбільш складними електротехнічними пристроями з точки зору фізико-хімічних процесів, тому проведемо більш детальний аналіз шляхів підвищення виходу випромінювання в УФ-області спектру та інших експлуатаційних параметрів.

Безелектродні електротехнічні пристрої УФ-випромінювання

На сьогодні створені ефективні та потужні джерела бактерицидного випромінювання на основі індукційного розряду трансформаторного типу [16]. Їх ККД і потужності УФ-випромінювання подібні електродним електротехнічним пристроям низького тиску. Проте через необхідність формування розряду в замкнутому контурі, їх геометрія стає менш зручною і дорогою для застосування в електротехнічних комплексах при знезараженні

води. Тим не менше, дані джерела випромінювання мають перспективи застосування в електротехнічних комплексах для знезараження повітря і поверхонь.

Багато розробників безелектродних електротехнічних пристроїв стверджують, що строк служби таких виробів істотно вище, ніж у електротехнічних пристроях низького тиску за рахунок відсутності електродних вузлів. Проте це не зовсім так, для джерела з розрядом в парах ртуті та інертного газу при низькому тиску дійсно, відсутність електродного вузла може продовжити фізичний строк служби електротехнічного пристрою, але ця обставина ніяк не впливає на корисний строк, що визначається взаємодією плазми розряду з поверхнею колби і осадженням атомів ртуті на стінках. Потемніння кварцового скла через деградацію стінки та наявності на ній ртуті повинно рівною мірою проявлятися як у електродних, так і в безелектродних джерелах випромінювання.

В безелектродному електротехнічному пристрою можна знижувати тиск наповнюючого газу, збільшуючи ефективність розряду. До переваг безелектродного електротехнічного пристрою можна також віднести відсутність катодного і анодного падіння напруги. Лімітуючим чинником фізичного ресурсу горіння системи «джерело-ПРА» в цьому випадку виступає не тільки потемніння стінки колби, а й вихід з ладу електронних компонентів пускорегулюючих пристроїв керування. При живленні безелектродних електротехнічних пристроїв частотами вище 400 МГц можуть відбуватися процеси руйнування внутрішньої стінки кварцу за рахунок взаємодії високочастотної плазми з кварцом при високих температурах. Це призводить до погіршення запалювання електротехнічного пристрою і спаду інтенсивності УФ-випромінювання [3].

В даний час зусилля дослідників і розробників індукційних електротехнічних пристроїв спрямовані, в першу чергу, на проектування безелектродних джерел світлового діапазону випромінювання для освітлення. Одним з небагатьох прикладів серійних джерел випромінювання

подібного типу може служити люмінесцентний електротехнічний пристрій трансформаторного типу Osram Endura (рис. 3.4) [18].

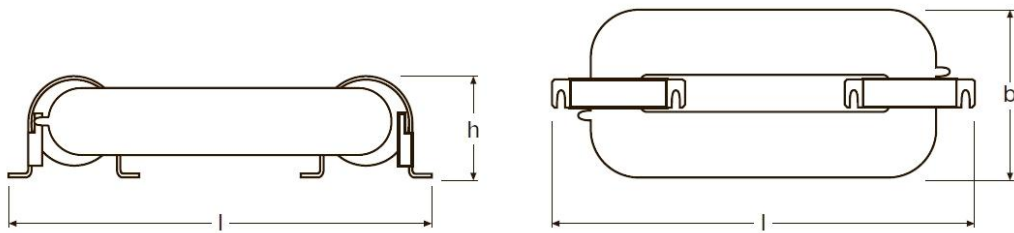


Рис. 3.4 - Електротехнічний пристрій Endura 100 W/840, торгової марки «Osram»

Розроблено також електротехнічний пристрій трансформаторного типу з розрядом низького тиску для генерації бактерицидного випромінювання на довжині хвилі 254 нм. Його застосування для знезараження води поки що обмежене через складність створення додаткового захисного кварцового чохла і складності конструювання обладнання. Крім того, забезпечення відповідного контакту в магнітопроводах індукційних котушок є складним завданням при наявності вібрацій. Подібні електротехнічні пристрої також виробляють компанії Philips і General Electric.

Фірмою Toshiba розроблені безелектродні індукційні електротехнічні пристрої УФ-випромінювання потужністю до 500 Вт [2]. ККД таких електротехнічних пристроїв може досягати 30%. Проте широкого застосування на даний час вони не знайшли через складність пускорегулюючого апарату і великих габаритів випромінювача.

Стримуючим чинником широкого впровадження електротехнічних пристроїв з високочастотним розрядом є обмежений вибір дозволених промислових і побутових частот, складність приладів живлення джерел в діапазоні частот вище 10 МГц та їх висока вартість, наявність сильних електромагнітних полів поблизу джерел живлення і випромінювання, великі втрати потужності на пристроях узгодження. При живленні джерела струмом в діапазоні частот 100-500 кГц необхідно застосовувати електротехнічні

пристрої із замкнутим магнітним витком, що призводить до технічних складнощів у застосуванні таких електротехнічних пристроїв для комплексів знезараження води.

Амальгамні електротехнічні пристрої УФ-випромінювання

На даний час світові лідери у виробництві амальгамних електротехнічних пристроїв пропонують джерела УФ-випромінювання потужністю від 50 до 1000 Вт з ККД від 25 до 42%, при розрядних струмах 1-7 А, спадом УФ-випромінювання до кінця строку служби 5-30% і корисним строком служби до 8000-18000 год [2].

Настільки широке різноманіття амальгамних електротехнічних пристроїв пов'язано з тим, що такі джерела набувають все більшого поширення в різних технологічних процесах, головними з яких залишаються електротехнічні комплекси знезараження води, повітря і поверхні. За останні 20 років ринок обладнання, як і ринок самих амальгамних електротехнічних пристроїв бактерицидної дії, переживає бурхливе зростання.

До основних лідерів у виробництві таких специфічних електричних джерел світла, як амальгамний електротехнічний пристрій, можна віднести наступні компанії: Philips Lighting (Нідерланди), LSI/Lighttech (США/Угорщина), First Light (США), Heraeus Nobelight (Німеччина), Ushio (Японія) та НВО «ЛІТ» (Росія).

У багатьох випадках амальгамний електротехнічний пристрій низького тиску є не тільки оптимальним рішенням для електротехнічних комплексів знезараження води і повітря, а часто і єдино можливим, тому що за сукупністю ключових показників: ефективність (бактерицидна, а також і енергетичний ККД), екологічність (вміст ртуті та інших шкідливих матеріалів), строк служби джерела і ЕПРА, спад УФ-випромінювання, вартість джерела і ЕПРА, одинична потужність - це джерело, яке не має наближеної альтернативи.

Амальгамний електротехнічний пристрій є складним електровакуумним пристроєм. Крім високого ККД він повинен володіти високим ресурсом і працювати 1-2 роки без помітного зниження потужності УФ-випромінювання при зміні температури зовнішнього середовища 0-70 °С. Розміри електротехнічного пристрою і його потужність залежать від конкретних сфер використання. Для запобігання утворенню озону в повітрі колба джерела виготовлена з кварцу, легованого окисом титану (приблизно 200 ppm), що поглинає озonoутворююче випромінювання з довжиною хвилі 185 нм. Такі електротехнічні пристрої називають безозоновими, і спектр УФ-випромінювання складається з однієї лінії 254 нм. Однією з основних цілей виробників є збільшення потужності бактерицидних амальгамних електротехнічних пристроїв при збереженні ККД генерації УФ-випромінювання 254 нм близько 35-40% і корисним строком служби не менше 12000-16000 годин для використання в електротехнічних комплексах знезараження води і повітря.

Застосування амальгами (розчин ртуті в іншому металі) дозволяє підтримувати оптимальний тиск парів ртуті в розряді низького тиску при набагато більших струмах і, відповідно, потужностях, ніж в традиційних електротехнічних пристроях низького тиску із застосуванням рідкої ртуті (тиск насичених парів над рідкою ртуттю істотно вище, ніж над амальгамою при однаковій температурі).

Амальгама представляє собою твердий або рідкий розчин ртуті в одному або декількох металах. Перші дослідження використання амальгами в люмінесцентних джерелах проводилися ще в кінці 50-х рр. ХХ ст. Проте амальгамні електротехнічні пристрої низького тиску стали використовуватися тільки в кінці 90-х рр. ХХ ст. в якості потужних високоефективних джерел бактерицидного випромінювання.

При виробництві амальгамних електротехнічних пристроїв в колбу закладається твердий сплав ртуті з іншими металами. Тиск насичених парів ртуті над цим сплавом істотно менше, ніж над чистою ртуттю, тому при

кімнатній температурі концентрація ртуті в колбі мала. При запаленні амальгамного джерела відбувається розігрів стінок колби до температур 80-130°C. Саме при цих температурах тиск насичених парів ртуті над амальгамою виходить на оптимальний рівень 0,7-1,5 Па для забезпечення максимальної ефективності генерації УФ-випромінювання ртутною дугою низького тиску. Як і в ртутного електротехнічного пристрою, основна енергія випромінювання припадає на резонансні лінії ртуті 185 і 254 нм. Чим менше молярна частка ртуті в розчині, тим менше тиск насиченої пари ртуті буде над поверхнею розчину. Компоненти амальгами в джерелі випромінювання повинні надавати мінімальний вплив на розряд і не взаємодіяти з елементами конструкції і стінкою джерела. Досягається це використанням металів, парціальний тиск яких над розчинами набагато нижче, ніж тиск ртуті, а хімічна активність при впливі плазми мінімальна. При застосуванні амальгами оптимальний тиск парів ртуті досягається при більш високих температурах колби джерела, а, отже, і при більш високих потужностях розряду. Таким способом можна підняти погонну електричну потужність розряду до 2-3 Вт/см і зберегти високий ККД перетворення електричної потужності в УФ-випромінювання, властивий ртутним джерелам низького тиску. Застосування амальгами дозволяє підняти як робочу температуру колби, так і збільшити діапазон зовнішніх температур, при яких зберігається висока світловіддача електротехнічного пристрою.

Основною характеристикою амальгами є залежність тиску насичених парів від температури. Застосовуючи різні склади амальгам, можна отримати області стабілізації тиску парів ртуті в різних температурних діапазонах. Ширина діапазону температур зі стабільним тиском парів ртуті також визначається складом амальгами. Застосовуючи чотирьохкомпонентну амальгаму можна забезпечити оптимальний тиск парів ртуті 0,7-1,5 Па в надзвичайно широкому діапазоні температур 60-150 °C. Таким чином, для необхідної потужності електротехнічного пристрою можна підібрати свій оптимальний склад амальгами.

Таким чином, УФ-обладнання на базі таких потужних амальгамних електротехнічних пристроїв зі спеціальними властивостями забезпечує економічний режим роботи при зменшеній (наприклад, в нічний час) витраті води.

Найважливішою характеристикою є число включень-виключень електротехнічного пристрою, яке залежить від конструкції електродного вузла джерела, алгоритму роботи ЕПРА і їх взаємного узгодження. Правильний вибір алгоритму запуску ЕПРА в стартовий період, оптимальна конструкція електрода, здатна працювати з заданим ЕПРА струмом джерела, дозволяють досягати терміну служби електротехнічних пристроїв до 25 тис. годин, при цьому число вмикань-вимикань може досягати 50-100 тис. циклів, що цілком порівняно вже і з безелектродними варіантами амальгамних електротехнічних пристроїв. Однак слід відзначити, що в більшості випадків цілком достатньою є величина 2-5 тис. включень протягом всього строку служби електротехнічних пристроїв. Деякі компанії крім можливості виробництва амальгамних джерел УФ-випромінювання можуть пропонувати і готові рішення, тобто комплект «джерело + оригінальний ЕПРА» вже з оптимально підібраними параметрами.

Слід також відзначити, що сучасні тенденції розвитку амальгамних електротехнічних пристроїв визначаються відповідними завданнями, так, наприклад, задача зниження вартості електротехнічних УФ-пристроїв і зменшення експлуатаційних витрат при заміні джерела призводить до задачі створення амальгамного електротехнічного пристрою з високою одиничною потужністю, що дозволяє знизити кількість вузлів, зробити пристрій більш компактним і дешевим при тій же витраті і якості, наприклад в електротехнічних комплексах знезараження води. З іншого боку, підвищення потужності електротехнічних пристроїв призводить до зниження його ККД, а також і до ще більшого зниження сумарного ККД системи «джерело + ЕПРА» за рахунок зниження ККД пристрою керування.

Можна навести й кілька інших прикладів, коли вимоги до джерела УФ-випромінювання визначає сфера застосування, наприклад, для знезараження технологічної води теплообмінників або теплоцентралей потрібні електротехнічні пристрої з можливістю ефективною роботи в гарячій воді (40-70 °С), для знезараження повітря в системах вентиляції і кондиціонування виключно важлива надійність і здатність роботи при великих швидкостях обдування, для задач знезараження баластних вод кораблів і суден - компактність і висока питома потужність.

Тому завдання вибору електротехнічного пристрою є комплексною задачею з урахуванням первинних капіталовкладень в устаткування, витрат на заміну джерела і ЕПРА та експлуатаційних витрат.

Напівпровідникові діоди

Джерелами УФ-випромінювання є також світлодіоди. Щоб створити світлодіоди або лазерні діоди, що випромінюють в УФ-області, необхідно використовувати матеріали з шириною забороненої зони більше 3eВ. Для приладів УФ-діапазону застосовуються широкозонні напівпровідники, такі як GaN, AlGaN і AlN. Так, наприклад, кристал з AlGaN може бути вирощений з детальним складом в широкому діапазоні, від GaN (3,42 eВ) до AlN (6,2 eВ). Рекомбінація електронно-діркових пар в таких матеріалах відбувається переважно з виділенням кванта світла. Енергія кванта пропорціональна ширині забороненої зони, тобто енергія, яку повинен затратити заряд для проходження через цю зону. Це дозволило створити світлодіоди УФ-діапазону.

В даний час провідні фірми пропонують до апробації світлодіоди з різними довжинами хвилі випромінювання 250-280 нм в максимумі поглинання бактерицидної кривої. Середня потужність УФ-випромінювання 0,5-2 мВт з ККД 0,01 - 0,015% при довжинах хвиль 250-255 нм; ККД 0,3-0,4% при довжинах хвиль 280-290 нм; ККД до 15% при імпульсному режимі випромінювання (тривалість імпульсу до 100 мкс) в області довжин хвиль

395-410 нм і випромінюваної імпульсної потужності до 0,5 Вт. Такий низький ККД перетворення електричної енергії пояснюється рядом чинників, основними з яких є безвипромінювальна рекомбінація зарядів на дислокаціях, що не потрапили в активний шар, розбіжність постійних решіток напівпровідника і підкладки, підвищений опір р-n-переходів. Тому серйозною проблемою при створенні напівпровідникових приладів спектрального УФ-діапазону є отримання високолегованих шарів AlGaIn n- і р- типу з високим вмістом AlN і забезпечення достатньо низької робочої напруги і малої потужності споживання. На сьогодні такі роботи активно проводяться.

Час роботи УФ-світлодіодів в теперішній час складає від декількох сотень до десятків тисяч годин. Зменшення величини УФ-випромінювання становить 15-30% після 500-1000 годин роботи.

Недоліки: вкрай низький ККД, низька потужність УФ-випромінювання, що не перевищує декількох міліват, низький ресурс - сотні годин, висока вартість - кілька сотень доларів для бактерицидного діапазону (довжина хвилі 250-265 нм), незважаючи на падіння вартості останнім часом. Наприклад, світлодіод UVTOP275 (Sensor Electronic Technology, Inc.) [14] з потужністю УФ-випромінювання 0,3 мВт коштує 220 дол. (раніше не менше 500 дол.), але все одно ця ціна є неймовірно високою, причому строк служби таких світлодіодів не більше 1000 год. Реальний же ресурс (за даними Roithner Laser Technik) - не більше 300 год. При потужності 0,3 мВт енергоспоживання складає (номінал) 150 мВт, таким чином, ККД дорівнює 0,2%.

Переваги: невеликі розміри, можливість монтажу великої кількості випромінювачів в плоских структурах, монохроматичність випромінювання, можлива передача випромінювання по оптоволоконному кабелю. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування світлодіодів бактерицидного УФ-діапазону для знезараження в даний час недоцільно, так

як вони поступаються за параметрами практично всім газорозрядним джерелам УФ-випромінювання.

3.2. Електротехнічні пристрої УФ-дії з приєднаними системами керування для комплексів фотобіологічної дії

На сьогодні розроблені конструкції бактерицидного джерела для оптичних опромінювальних пристроїв з вмонтованою системою керування [30].

Бактерицидний електротехнічний пристрій представляє собою газорозрядну трубку наповнену інертним газом і ртуттю, на протилежних кінцях якої знаходяться електродні вузли, кожен з яких складається з електрода і двох виводів.

Оскільки бактерицидні джерела не можуть працювати напряму від мережі, для їх роботи використовують спеціальні допоміжні пристрої, відомі як пускорегулюючі апарати (ПРА) або сучасні електронні пускорегулюючі апарати (ЕПРА). Тому бактерицидні електротехнічні пристрої відносять до групи джерело - джерело із зовнішнім ПРА або ЕПРА, що випускаються із спеціальними 2-х і 4-х штирковими цоколями, які підключаються до мережі за допомогою спеціальних патронів.

В зовнішній колбі 2-х штиркового джерела розміщений стартер, і для підключення такого джерела до мережі потрібен індуктивний пускорегулюючий апарат. З електронним пускорегулюючим апаратом такі джерела підключати не можна, оскільки вмонтований стартер в зовнішній трубці не дозволить електротехнічному пристрою включитися, а 4-х штиркові електротехнічні пристрої можна підключити як з індуктивним пускорегулюючим апаратом так і з електронним пускорегулюючим апаратом, хоча існують бактерицидні джерела, які призначені до використання тільки з ЕПРА.

Для опромінювання рідин при зануренні, джерело поміщають в чохол

із кварцового скла (рис. 3.5, 3.6). Під'єднання до мережі здійснюють через допоміжні пристрої: електронний або індуктивний баласт.

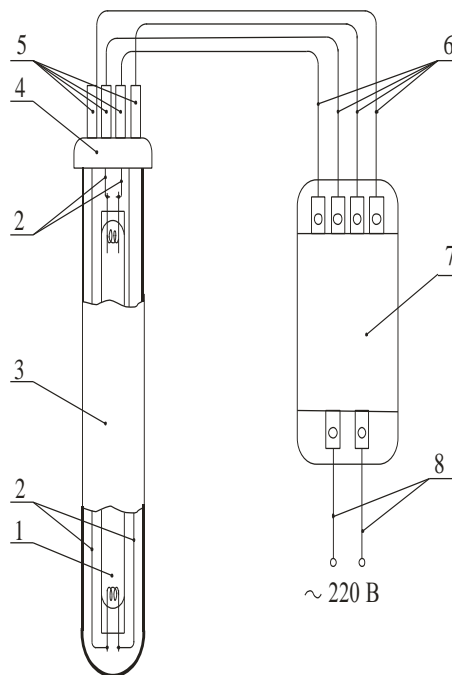


Рис. 3.5 - Схема пристрою – опромінювача з електронним баластом:
 1 – кварцова розрядна трубка; 2 – монтажні траверси; 3 – кварцовий чохол; 4 – керамічний цоколь; 5 – приєднувальні колодки; 6 – з'єднувальні дроти; 7 – електронний пускорегулюючий пристрій; 8 – приєднувальні дроти

Конструкція бактерицидного електротехнічного пристрою [32] (представляє собою газорозрядну трубку наповнену інертним газом і ртуттю, на протилежних кінцях якої знаходяться електродні вузли. Для підключення до мережі таких електротехнічних пристроїв використовують пускорегулюючу апаратуру (індуктивний баласт і стартер або тільки електронний баласт), тобто стандартні схеми включення для люмінесцентних двоцокольних джерел світла. Використовують такі електротехнічні пристрої УФ-дії в електротехнічних комплексах для опромінювання повітря, поверхонь і рідин (без контакту з рідиною).

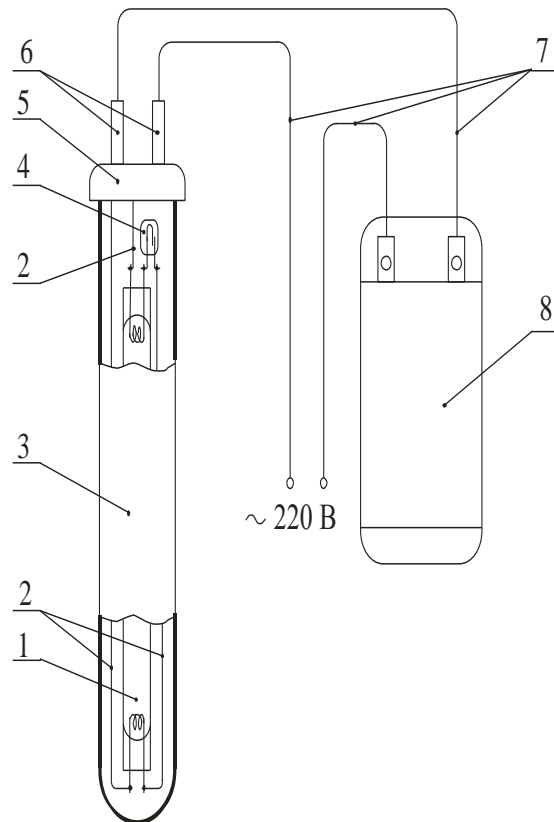


Рис. 3.6 - Схема джерела – опромінювача з індуктивним пускорегулюючим апаратом і стартером: 1 – кварцова розрядна трубка; 2 – монтажні траверси; 3 – кварцовий чохол; 4 – стартер; 5 – цоколь; 6 – приєднувальні колодки; 7 – з'єднувальні дроти; 8 – електромагнітний пускорегулюючий пристрій

Запропонована конструкція бактерицидного електротехнічного пристрою представляє собою безкорпусний пристрій (рис. 3.7), який складається із газорозрядної трубки з кварцового скла 1, наповненої інертним газом і ртуттю, яка поміщається в трубку більшого діаметра – чохол 3, один кінець якої запаяний, а до іншого приєднано пластмасовий корпус з вмонтованим баластом 4 та цоколем 5, які з'єднано за допомогою монтажних траверс 2 з виводами газорозрядної трубки. Простір між газорозрядною трубкою і зовнішньою кварцовою колбою, товщина якої не перевищує 1,5 мм, а діаметр 23 мм наповнено сумішшю кисню і азоту при тиску від 1500 до 80000 Па.

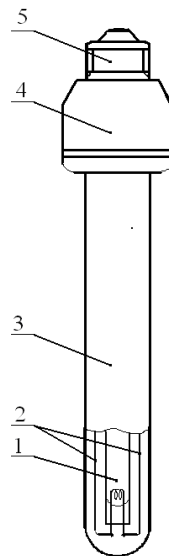


Рис. 3.7 - Схема бактерицидного електротехнічного пристрою:

1 – розрядна трубка з увіолевого або кварцового скла; 2 – монтажні траверси;
3 – кварцовий чохол; 4 – баласт в пластмасовому корпусі; 5 – цоколь Е 27

Для отримання максимального ультрафіолетового потоку в бактерицидній області температура суміші азоту і кисню, якою наповняється простір між газорозрядною трубкою і чохлом не повинна перевищувати 45°C , тому величина зазору вибирається в діапазоні від 1,0 до 5 мм.

При приєднанні до електричної мережі бактерицидний електротехнічний пристрій не потребує використання додаткових спеціальних пристроїв, оскільки в приєднаному пластмасовому корпусі з цоколем знаходяться всі необхідні елементи для запалювання і роботи електротехнічного пристрою.

Винахід відноситься до світлотехніки, а саме до конструктивних особливостей бактерицидного електротехнічного пристрою, та поверхонь для знищення бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів.

На основі запропонованого технічного рішення [32] розроблена конструкція бактерицидних електротехнічних пристроїв різної потужності від 8 до 60 Вт, що використовуються в комплексах знезараження питної води, рідин, повітря та поверхонь на різних підприємствах України.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ І СХЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1. Розрахунок ефективності бактерицидного опромінення питної води

При конструюванні електротехнічних систем бактерицидного знезараження води потрібно вирішити ряд завдань, що пов'язані з вивченням гідродинамічного потоку, зменшенням втрати напору, досягненням максимального перемішування водневого середовища в зоні опромінення тощо.

Фізичний процес поширення оптичного випромінювання в водному середовищі (поглинаюче середовище) описується законом Бугера-Ламберта-Бера [5], згідно з яким, для паралельного пучка випромінювання з довжиною хвилі λ та інтенсивністю I_0 що пройшов у поглинаючому середовищі відстань l , інтенсивність визначається формулою:

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l}, \quad (4.1)$$

де k_λ - коефіцієнт поглинання середовища, який залежить від довжини хвилі.

Для зручності, при розрахунку електротехнічних систем знезараження, використовують коефіцієнт проникнення k , який завжди менше 1, що характеризує спад інтенсивності УФ-випромінювання з довжиною хвилі 253,7 нм, при проходженні в водному середовищі певної відстані, наприклад 50 мм, яка визначає допустимий спад величини інтенсивності [3]. У такому випадку інтенсивність I_0 в середовищі з коефіцієнтом проникнення k на пройденій відстані l :

$$I = I_0 k^{\frac{l}{50}}, \quad (4.2)$$

де l - має розмірність [мм]. Коефіцієнт проникнення для кожного середовища

визначається експериментально-дослідним шляхом.

Для проведення розрахунків при проектуванні електротехнічних систем УФ-дії необхідно знати просторовий розподіл інтенсивності випромінювання УФ-лампи, або у разі знезараження води, системи «УФ-лампа+кварцовий чохол» $I(k, x, y)$, де k - коефіцієнт проникнення; x , y - координати в площині, перпендикулярній поздовжній осі лампи.

Розрахунок розподілу інтенсивності проводимо за допомогою чисельних методів. УФ-випромінювач, тобто лампа, поділяється на велику кількість точкових джерел випромінювання: чим більша їх кількість, тим достовірніше результат розрахунку. В такому випадку для кожної фіксованої відстані від осі джерела випромінювання розраховується внесок від кожної випромінюючої точки. При цьому враховується залежність коефіцієнта заломлення і відбиття від довжини хвилі. Якщо розглядати багатолампову систему, розрахунок середньої опроміненості враховує перекривання однієї лампи іншими. Результатом розрахунку є залежність інтенсивності від відстані до осі джерела випромінювання і від координати уздовж осі джерела випромінювання.

Інтенсивність опромінювання є функцією дози H , розрахунок якої представляє складну задачу. В загальному випадку, для розрахунку необхідні наступні дані: розподіл інтенсивності УФ-випромінювання в камері знезараження і розрахунок течії потоків води. Для спрощення вирішення даної задачі користуються різними моделями [3].

Скористуємося загальноприйнятою розрахунковою моделлю, модель повного перемішування, яка дозволяє розрахувати середню дозу, що необхідна для інактивації мікроорганізмів.

Принцип моделі повного перемішування полягає в тому, що кожна елементарна частинка рідини проходить через всі точки УФ-опромінення і перебуває в кожній з них рівні проміжки часу. У моделі повного перемішування середня доза визначається наступною формулою:

$$\langle H \rangle = \langle I \rangle \cdot \langle t \rangle, \quad (4.3)$$

де $\langle I \rangle$ - усереднена інтенсивність в камері знезараження; $\langle t \rangle$ - середній час перебування рідини в камері знезараження.

Середня інтенсивність обчислюється наступним чином:

$$\langle I \rangle = \frac{L}{V} \iint I(k, x, y) dx dy, \quad (4.4)$$

де V - об'єм зони знезараження; L - довжина дуги лампи (міжелектродна відстань); $I(k, x, y)$ - інтенсивність в поперечному перерізі камери опромінювання в точці з координатами x, y для коефіцієнта проникнення УФ-випромінювання k . Середній час перебування рідини в камері знезараження визначається наступним відношенням:

$$\langle t \rangle = \frac{V}{Q}, \quad (4.5)$$

де Q - продуктивність установки. Таким чином, в моделі повного перемішування середня доза бактерицидного знезараження з врахуванням формул (4.4) і (4.5) визначається:

$$\langle H \rangle = \frac{v \cdot L}{Q} \iint I(k, x, y) dx dy, \quad (4.6)$$

де v - коефіцієнт запасу для врахування застійних зон (як правило $v \cong 0.8$). Врахування застійних доз є обов'язковим, оскільки конструкція установки нездатна забезпечити рівномірність потоку для всіх ділянок в камері знезараження.

Перевага запропонованої моделі повного перемішування полягає у відносній простоті розрахунку і у відсутності залежності від чутливості мікроорганізмів до УФ-випромінювання. Для електротехнічних систем знезараження, що використовуються для бактерицидного знезараження води цього недостатньо, оскільки модель повного перемішування не дозволяє врахувати вплив різних конструктивних елементів (пристроїв для перемішування, решіток і т. п.). Для усунення цього недоліку пропонуємо використати гідродинамічне моделювання або експериментальний метод, що

дозволяє вимірювати функцію розподілу часу перебування, по якій можна оцінювати ефективність установки бактерицидного знезараження.

Моделювання руху потоків води в установках УФ-знезараження відбувається шляхом чисельного рішення системи рівнянь, що складається з рівняння Нав'є-Стокса.

Розрахунок бактерицидної дози знезараження проводимо наступним чином: об'єм води, що потрапляє в камеру опромінювання і заповнює її, розіб'ємо на елементарні об'єми (струмені), для кожної точки такого струменя відомі компоненти швидкості і координати. Якщо кількість струменів рівна n , а кожний струмінь розділений на i елементарних відрізків, тоді, за визначенням, доза опромінення i -го відрізка n -го струменя визначається:

$$H_i^n = I_i(k) \cdot t_i, \quad (4.7)$$

де t_i - час проходження елементарним об'ємом i -го відрізка; I_i - УФ-інтенсивність на відрізку i , що залежить від коефіцієнту пропускання води k . УФ-інтенсивність в будь-якій точці може бути обчислена шляхом підсумовування інтенсивностей всіх ламп.

Доза, отримана n -м струменем, буде дорівнювати:

$$H^n = \sum_i H_i^n \quad (4.8)$$

Дезактивація мікроорганізмів УФ-випромінюванням підпорядковується експоненціальному закону, тобто якщо в кожному елементарному об'ємі води на вході міститься N_0 бактерій (вважаємо, що кількість бактерій на вході розподілена рівномірно), то на виході отримаємо кількість бактерій для n -го струменя:

$$N_n = N_0^n \cdot e^{-qH^n}, \quad (4.9)$$

де q - коефіцієнт, що характеризує чутливість бактерій до ультрафіолету і є індивідуальним для кожного виду бактерій, вірусів і т. д. Тоді загальна кількість бактерій на виході установки N :

$$N = \sum_n N_i, \quad (4.10)$$

а на вході установки:

$$N_0 = \sum_n N_0^n, \quad (4.11)$$

Загальна кількість бактерій на виході установки дозволяє отримати ефективну дозу бактерицидного знезараження H_{ef} :

$$H_{ef} = \frac{\ln N / N_0}{-q}, \quad (4.12)$$

де N_0 - загальне число бактерій на вході в установку.

Бактерицидна доза, що отримана вищесказаним чином, враховує чутливість мікроорганізмів до УФ-випромінювання, а також вплив елементів конструкції на ультрафіолетовий потік і, як наслідок, на ефективність бактерицидного знезараження. Запропонована модель гідродинамічного протікання води дозволяє виявити ділянки неефективного знезараження на етапах проектування та розробки камери УФ-опромінювання електротехнічної системи.

Крім того, в інших випадках для вирішення питання бактерицидного знезараження води потрібно враховувати показник спаду бактерицидного потоку із-за проникності води, тобто коефіцієнт проникності або коефіцієнт поглинання, які впливають на ефективність знезараження.

Для характеристики проникності води для ультрафіолетових променів використаємо показник, який розглядали вище (4.2) – коефіцієнт проникності k , спад якого враховано при розрахунках мінімальної бактерицидної ефективності опромінення води (4.6). На рис. 4.1 наведена схема вимірювання коефіцієнта проникності води.

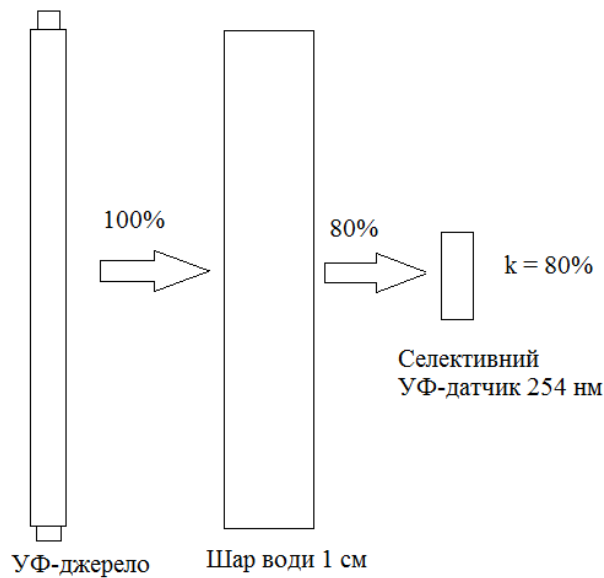


Рис. 4.1 - Схема вимірювання коефіцієнта проникності води селективним УФ-датчиком

Вода різного складу по різному поглинає УФ-випромінювання різних довжин хвиль. Експериментально встановлено, що при довжинах хвиль менше 230 нм коефіцієнт поглинання води починає різко зростати і збільшується в 5-7 раз при довжині хвилі 280 нм, а у порівнянні з поглинанням на довжині хвилі 254 нм він зростає на порядок і більше (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Результати поглинання УФ питною водою та молекулами ДНК в залежності від довжини хвилі

Довжина хвилі, нм	Коефіцієнт поглинання питною водою	Коефіцієнт поглинання молекулами ДНК
200	0,65	-
210	0,5	1,2
220	0,2	0,65
230	0,06	0,43
240	0,03	0,7
260	0,02	1,0
280	0,01	0,5
300	0	0

Оскільки закон поглинання випромінювання має експоненціальний характер, то УФ-випромінювання в області спектру 200-300 нм буде

практично повністю поглинатися на відстані в десятки раз менше, ніж випромінювання з довжинами хвиль більшими від 240 нм. Через сильне поглинання водою внесок короткохвильового випромінювання 200-230 нм в процес знезараження малий, незважаючи на ріст поглинання короткохвильового випромінювання молекулами ДНК [2]. Тому знезараження у воді здійснюється в основному УФ-випромінюванням в діапазоні 240-280 нм з максимумом в області 260 нм, що близько до довжини хвилі 254 нм ртутних кварцових ламп низького тиску, перевагу яким і надано за результатами дослідження.

Діапазон фізико-хімічних показників якості води, при яких можливе використання методу УФ-знезараження, є достатньо значним. Проте присутність у воді ряду органічних і неорганічних речовин, що поглинають УФ-випромінювання, приводять до зниження фактичної дози УФ-опромінення, що діє на мікроорганізми. Вплив якості води на коефіцієнт пропускання випромінювання необхідно враховувати при виборі електротехнічних систем УФ-дії.

Коефіцієнт пропускання залежить від товщини шару води, а також від вмісту в ній розчинених органічних і неорганічних з'єднань і наявності звислих часток.

Так, на рис. 4.2 приведена експериментально отримана залежність коефіцієнту поглинання ультрафіолетового випромінювання α від наявності у воді звислих частинок.

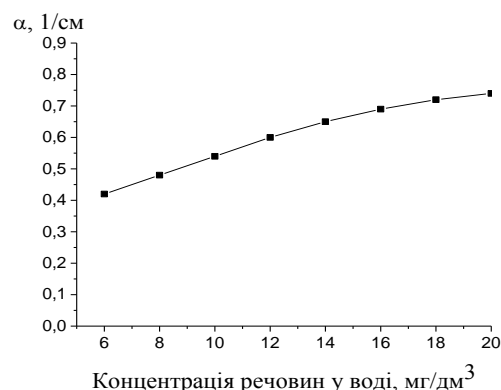


Рис. 4.2 - Залежність коефіцієнту поглинання УФ-випромінювання α в залежності від наявності у воді звислих речовин

Вимірювання проводилися в ультрафіолетовій області випромінювання С за допомогою радіометра «Тензор-31», згідно з методикою [20].

Коефіцієнт поглинання α характеризує долю ультрафіолетової енергії, яка була поглинута водою, при проходженні УФ-променів через шар води:

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{E}{E_0}, \quad (4.13)$$

де α - коефіцієнт поглинання ультрафіолетового випромінювання, см^{-1} ; x - товщина шару води, см ; E_0 – УФ-опроміненість на поверхні води, $\text{мВт}/\text{см}^2$; E – УФ-опроміненість після проходження шару води товщиною x .

В ході проведення експериментальних робіт встановлено, що чим нижче коефіцієнт пропускання, тим більшу кількість електротехнічних пристроїв УФ-дії потрібно задіяти, і тим більші затрати електроенергії. Залежність ефективної дози опромінення від коефіцієнта пропускання ступенева, тому різниця в коефіцієнті пропускання в 10 % (наприклад між 60% і 70%) приводить до зміни кількості електротехнічних пристроїв (ламп) та електроенергії в 1.5-2 рази. Тому розрахунок електротехнічних систем УФ-дії виконуємо з врахуванням мінімального значення коефіцієнту пропускання води, щоб знезараження забезпечувалося в усіх випадках.

Звичайно, що УФ-пропускання на довжині хвилі 254 нм використовується в якості основного параметру води при проектуванні систем УФ-знезараження. Спектр УФ-пропускання також важливий для УФ-реакторів, які використовують поліхроматичні джерела випромінювання (наприклад, ртутні лампи середнього тиску), тому що інші довжини хвиль, крім 254 нм, впливають на якість знезараження [2].

На рис. 4.3 показані коефіцієнти пропускання УФ-випромінювання для різних типів води.

На рис. 4.4 представлена залежність поглинання ультрафіолетового випромінювання від товщини шару дистильованої води.

Як видно з представленої залежності, інтенсивність УФ-променів знижується зі збільшенням товщини шару води, через який вони проходять,

тому зменшення УФ-дозы викликане поглинанням водою потрібно завжди враховувати при проектуванні установок.

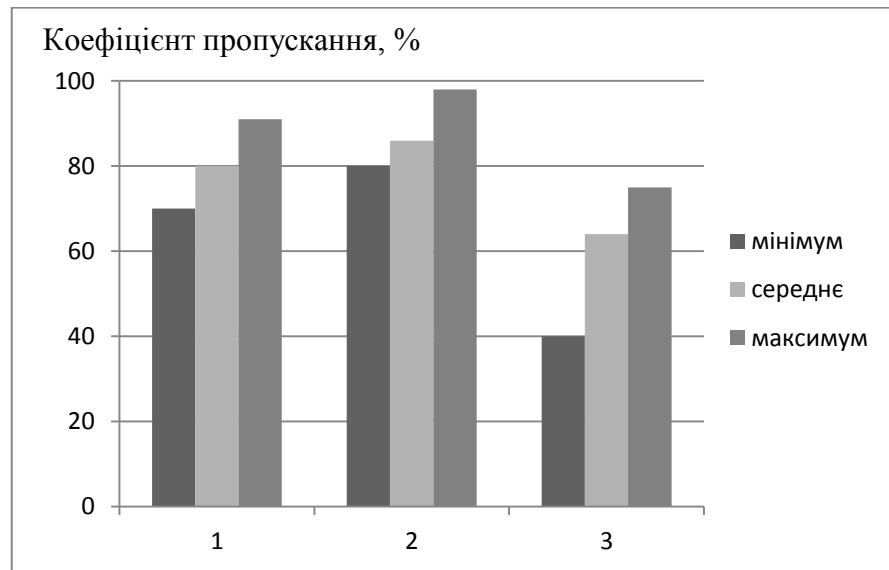


Рис. 4.3 - Коефіцієнт пропускання для різних типів води на довжині хвилі 254 нм.: 1 – водопровідна вода; 2 – підземна вода; 3 – стоки води

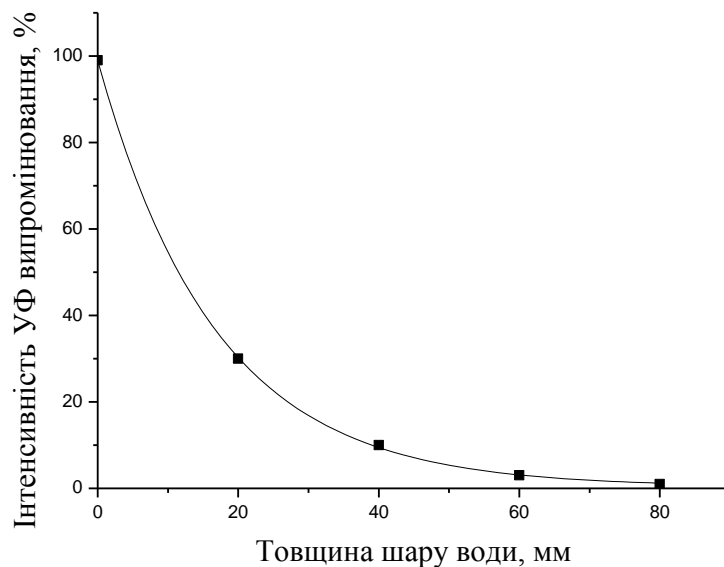


Рис. 4.4 - Залежність УФ-випромінювання від товщини шару води

В роботі [3] рекомендується рівень остаточної інтенсивності УФ-променів вибирати в інтервалі 15 – 20 %. Такий рівень остаточної інтенсивності УФ-опромінення гарантує надійні показники знезараження. Цьому рівню, як показують експериментальні вимірювання та дослідження, відповідає товщина шару води приблизно 35 мм. При таких показниках в

достатньо повній мірі стає можливим ефективно використання всього внутрішнього об'єму, тобто об'єму між УФ-джерелом та стінками камери опромінення, через яку проходить вода. При більш високому рівні остаточної інтенсивності УФ-променів (більше 20%) значна частка ультрафіолетової енергії може бути невикористаною. Відповідно, при меншому рівні остаточної інтенсивності УФ-випромінювання, зростає кількість води, яка не отримує необхідної для знезараження кількості УФ-енергії.

При розрахунках електротехнічних систем знезараження використовували значення мінімальної експозиції, що більш, ніж у 5 разів вище наведених нормативів [22], тобто $70 \div 100$ мДж·см⁻². Енергетична яскравість L_0 зовнішньої поверхні джерела радіусом R_1 визначали експериментально за допомогою УФ радіометра «Тензор-31» за методикою [3].

4.2. Розроблення системи бактерицидного знезараження води

Запропонована електротехнічна система бактерицидного знезараження питної води (рис. 4.5) укомплектована електротехнічним пристроєм – опромінювачем, який пагубно діє на бактерії, віруси та інші мікроорганізми.

Електротехнічна система складається із циліндричної камери - (1), в порожнині якої розміщене бактерицидне джерело УФ-дії –(2). Вода в камеру подається через вхідний патрубок 9, що розміщений у нижній частині камери, а відведення знезараженої води здійснюється через патрубок (3). З мережею живлення джерело УФ-дії(2) з'єднується за допомогою вилки (15) з під'єднувальними дротами та дротом заземлення через автоматичний вимикач (14), електромагнітний баласт (12), дроти (8) з колодками (6). Автоматичний вимикач, електромагнітний пускорегулюючий апарат та індикаторна лампа 1(3) розташовані в пластмасових коробках, закріплених на рамі. Датчиком подачі напруги на джерело УФ-дії є індикаторна лампа, а те, що джерело працює, має показувати безмерехтливе світіння її частини, виступаючої за межі фланця (7).

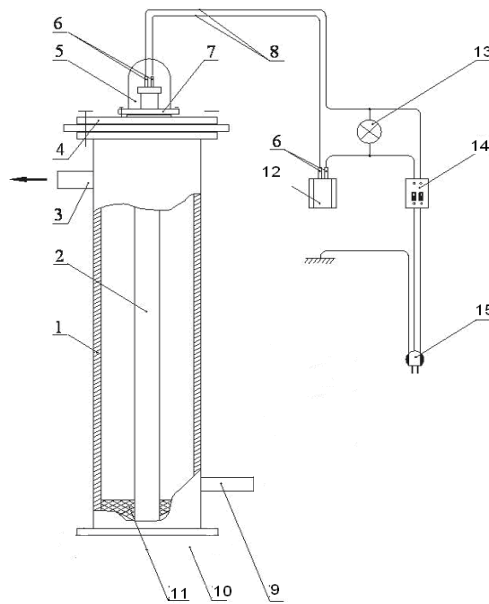


Рис. 4.5 - Схема установки бактерицидного знезараження питної води:

1 – камера; 2 – джерело УФ-дії; 3 – верхній патрубок; 4 – верхній фланець для джерела; 5 – ковпак; 6 – колодки; 7 – фланець з кільцевим ущільнювачем; 8 – дроти; 9 – нижній патрубок; 10 – нижній суцільний фланець; 11 – гумовий упор; 12 – електромагнітний баласт; 13 – індикаторна лампа; 14 – автоматичний вимикач; 15 – вилка з під'єднувальними дротами та дротом заземлення

Внутрішній діаметр опромінювальної камери 100 мм. Довжина опромінювальної порожнини визначається довжиною занурювальної частини зовнішньої колби джерела УФ-дії.

Вихідні дані для розрахунку та результати розрахунку установок знезараження води продуктивністю 1 та 3 м³ приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Вихідні дані для розрахунку та результати розрахунку електротехнічних систем знезараження води продуктивністю 1 та 3 м³

Назва параметру	Величина параметру
Доза опромінення, мДж·см ⁻² , не менше	100
Енергетична яскравість зовнішньої поверхні на R_1 , мВт·см ⁻²	975
Радіус зовнішньої поверхні джерела R_1 , мм	23,5
Радіус опромінювальної камери R_2 , мм	50
Довжина камери l , мм	400; 800
Продуктивність Q , м ³ ·год ⁻¹ , не менше	1; 3

На рис. 4.6 представлені експериментальні зразки електротехнічних комплексів знезараження питної води продуктивністю 1 та 5 м³/год.

Знезараження води здійснюється під час її протікання через камеру завдяки ультрафіолетовому опроміненню. Пульт управління складається із пускорегулюючої апаратури для джерела УФ-дії та сигналізації у випадку відхилення від заданого режиму. Відбір знезараженої води може здійснюватися через 2 хвилини після запуску електротехнічної системи (час, необхідний для виходу на заданий режим джерела та знезараження первинного об'єму води в камері опромінення).

Найменшу опроміненість внутрішньої поверхні камери електротехнічної системи розраховуємо із умов забезпечення поверхневої дози при заданому об'ємі проходження води через камеру $H_s \geq 100 \frac{м \cdot Дж}{см^2}$].



а)

б)

Рис. 4.6 - Експериментальні електротехнічні системи знезараження питної води, продуктивністю: а) 1 м³/год.; б) 5 м³/год.

Як видно з опису електротехнічної системи, у порівнянні з відомими електротехнічними пристроями, їх конструкція суттєво спрощена, що не потребує додаткових затрат на обслуговування та більш безпечна.

На рис. 4.7 схематично представлена електротехнічна система бактерицидного знезараження води продуктивністю до 20 м³/год].

Система складається з 4 однакових камер опромінювання, в кожній з яких знаходиться електротехнічний пристрій ДРБО 60, і комплектується блоком керування, в якому знаходиться електронно-пускова апаратура, електроніка контролю роботи бактерицидних джерел УФ-дії - світлодіодна індикація.

Конструктивні особливості даної електротехнічної системи, дають можливість використовувати її в технологічному процесі очищення води безперервно. Перекритий шаровий кран подачі води в нижній частині і зворотний клапан у верхній частині камери опромінення, забезпечують можливість виконання робіт щодо заміни бактерицидного джерела, яке вийшло з ладу. Внутрішній діаметр камери знезараження складає 92 мм при діаметрі джерела 23 мм, що створює товщину шару води меншу ніж 35 мм і забезпечує необхідну дозу УФ-опромінення поблизу стінок камери.

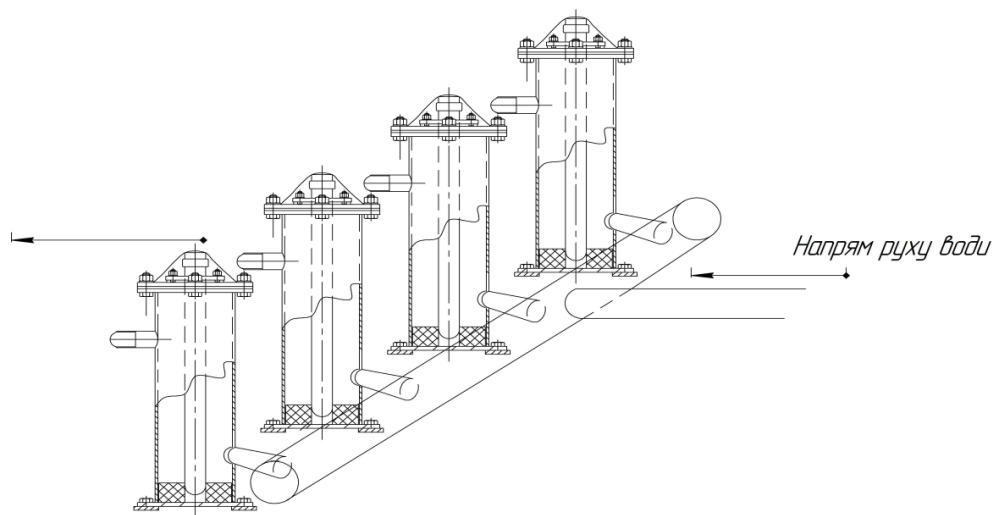


Рис. 4.7 - Схема електротехнічної системи знезараження питної води, продуктивністю до 20 м³/год.

На рис. 4.8 представлений експериментальний зразок електротехнічного комплексу знезараження питної води продуктивністю до

20 м³/год.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Безпечна експлуатація освітлювальних і опромінювальних установок

Недотримання правил технічної експлуатації освітлювальних і опромінювальних установок знижує ефективність їх роботи, створює небезпеку ураження електричним струмом людей і тварин. Теплові явища, що виникають при аварійних режимах роботи установок, можуть визвати небезпечний перегрів окремих їх частин і призвести до пожежі або вибуху.

При прийомі освітлювальної чи опромінювальної установки в експлуатацію перевіряють:

- фактичну освітленість чи опроміненість, що забезпечується установкою і відповідність її нормованому значенню;
- відповідність використаних марок проводів, площі їх поперечного перерізу і способів прокладання, закладеним в проектній документації;
- виконання схем з'єднання проводів і рівномірність розподілу навантаження по фазах;
- відповідність проекту захисних апаратів;
- надійність закріплення ізолюючих опор, апаратури, деталей, конструкцій;
- відповідність величини опору ізоляції проводки нормативним документам.

Основне завдання експлуатації освітлювальних і опромінювальних установок полягає в забезпеченні ефективності їх роботи та підтримці в справності всіх елементів установки.

Для забезпечення заданих рівнів освітленості чи опромінюваності, створюваних установкою, необхідно періодично контролювати величини

напруги в мережі, стан світильників і опромінювачів. При великих відхиленнях або коливаннях напруги необхідно в'яснити причину і усунути її. Важливе значення має своєчасне чищення світильників і опромінювачів, оскільки через пил їх освітленість може знижуватись в 1,5...2 рази і більше. Частота чищень світильників і опромінювачів залежить від умов навколишнього середовища: в приміщеннях з великим виділенням пилу – чотири рази в місяць; в приміщеннях з малою запиленістю - два рази в місяць; в установках зовнішнього освітлення – три рази на рік.

Стан ізоляції слід перевіряти не рідше одного разу в два роки для приміщень з нормальним середовищем і не рідше одного разу в рік в приміщеннях з важкими умовами середовища. Опір ізоляції проводів вимірюють на ділянці між двома суміжними запобіжниками або за останнім запобіжником при ввімкнених вимикачах, витягнутих плавких вставках і викручених лампах. Значення опору ізоляції повинно бути не менше 0,5 МОм.

Для ефективної роботи опромінювальних установок складають графік режиму опромінення, який повинен передбачати не менше ніж дворазове опромінення протягом світлового періоду доби. При відхиленні напруги мережі більше ніж на 5 % в режим опромінення повинні вноситись відповідні поправки для забезпечення заданої дози опромінення. Опроміненість, створювану джерелами УФ випромінювання, необхідно періодично перевіряти відповідним приладом (уфіметром, уфідозиметром). По мірі старіння ламп необхідно відповідно збільшувати тривалість опромінення. При зниженні опроміненості в результаті старіння ламп більше ніж на 30 % їх необхідно замінити новими.

Зворотньо–поступальний рух опромінювачів в рухомих установках для УФ опромінювання повинен здійснюватися автоматично. При зупинці опромінювачів напруга мережі повинна автоматично вимикатись.

При роботі з ввімкненими джерелами УФ випромінювання персоналу необхідно надівати окуляри з димчатого або товстого безколірного скла і

запобігати дії опромінення на незахищені частини тіла. Приміщення, в яких працюють джерела УФ випромінювання, необхідно періодично вентилювати для видалення озону і окислів азоту, що утворюються в повітрі під впливом фотонів ультрафіолетового випромінювання.

5.2. Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом

Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом в освітлювальних мережах та опромінювальних установках визначаються “Правилами техніки безпеки при експлуатації електрообладнання споживачем”.

Споживання електроенергії освітлювальним та опромінювальним обладнанням повинно забезпечуватися від окремого розподільного щитка шафного типу з дверцятами, які закриваються.

Щиток повинен мати вхідний рубильник або автоматичний вимикач для вимикання всієї мережі, а також автоматичні вимикачі або запобіжники, які забезпечують захист від перевантажень або коротких замикань окремих груп.

У щитках потрібно вказувати номер освітлювальної (опромінювальної) групи або установки та номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача або плавкої вставки запобіжника.

Найменша висота підвісу світильників з лампами розжарювання допускається 2,5...3 м, а світильника з люмінесцентними лампами 2,5 м за умови, що контактні частини захищені від випадкового дотикання.

При підключенні патронів світильників та опромінювачів до електричної мережі гвинтову різьбу приєднують до нульового проводу, а центральний контакт – до фазного проводу.

До апаратів управління та арматури світильника проводи або кабелі дозволяється приєднувати за допомогою наконечників або спеціальних затискачів.

Приєднання проводів або кабелів з алюмінієвими жилами дозволяється

за наявності у світильників контактної арматури, спеціально призначеної для алюмінієвих проводів. Одножильні проводи перерізом до 10 мм^2 та багатожильні з перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ дозволяється приєднувати без наконечників, однак кінці багатожильних проводів необхідно обпаювати.

З'єднання та відгалуження проводів, прокладених в трубах, виконується в з'єднувальних коробках. Основним заходом захисту від ураження електричним струмом в освітлювальних і опромінювальних установках служить занулення. До частин, що підлягають зануленню відносяться: корпуси світильників, понижувальних трансформаторів, каркаси освітлювальних щитків, металеві оболонки і броня кабелів, металеві рукава і труби електропроводки, лотки, короба, троси.

Пройдення електричного струму через тіло людини небезпечно для її здоров'я і навіть для життя. Ступінь ураження людини або тварини залежить від трьох причин: величини струму, шляху проходження струму та тривалості проходження струму. Основною з цих причин є величина струму, який проходить через тіло. Величина струму за законом Ома прямо пропорційна напрузі і обернено пропорційна опору кола. Тому не можна точно стверджувати, яка напруга небезпечна для людини. Так струм $0,003 \text{ А}$ викликає болісне відчуття і тремтіння пальців, $0,005 \dots 0,01 \text{ А}$ – судороги м'язів, при цьому руки важко самостійно відірвати від проводу, при струмі $0,02 \dots 0,025 \text{ А}$ ($20 \dots 25 \text{ мА}$) руки паралізуються, а при $0,05 \dots 0,08 \text{ А}$ настає параліч органів дихання. А якщо тривалість проходження струму більше 3 с , припиняється діяльність серця.

Опір тіла різних людей не однаковий. Навіть у однієї людини опір змінюється в залежності від стану шкіри: суха, чиста, непошкоджена, товщини шкіри, а також від загального стану людини: спокійна, збуджена, в стані сп'яніння. Людина в спокійному стані має найбільший опір, який коливається від однієї тисячі Ом до десятків і навіть сотень тисяч Ом в залежності від перерахованих вище факторів.

Під напругу людина може потрапити за різних обставин:

- внаслідок дотикання до неізольованих струмопровідних частин електроустановки;
- внаслідок пробою ізоляцію струмопровідних частин;
- внаслідок грозового розряду, який влучив в електроустановку;
- внаслідок доторкання до заземлювача, на якому тимчасово з'явилась напруга.

Найбільш небезпечним є дотикання до двох струмопровідних частин або двох проводів, тому що в цьому випадку напруга дотику буде лінійною (в 1,73 рази вищою ніж доторкання до однієї фази). Важливе значення має шлях через тіло, яким пройшов струм: між пальцями однієї руки, від однієї руки до другої, через руку і ногу, через дві ноги і т.д. Найбільшу небезпеку являє випадок, коли лінія струму проходить через серце (права рука – груди – ліва нога).

Для захисту від дотику до струмопровідних частин передбачають: розташування струмопровідних частин на недоступній висоті, обладнання захисною огорожею, вивішування попереджувальних плакатів, користування захисними засобами (діелектричні рукавички, калоші, боти, підставки, килимки). Особливі вимоги висуваються до ізоляції струмопровідних частин, яка повинна мати опір не менш як 1000 Ом на 1В робочої напруги (для 220 В – 220 000 Ом, 380 В – 380 000 Ом. Періодично стан ізоляції треба перевіряти мегомметром напругою 500 В, при цьому контролюють опір ізоляції між фазою і корпусом та між двома фазами.

Надійним захистом від ураження електричним струмом є захисне заземлення – з'єднання з землею усіх металевих частин електроустановки, що нормально не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під напругою внаслідок пробою ізоляції. Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 – 10 Ом, тоді при дотику людини, опір якої 1000 – 20 000 Ом, більша частина струму піде через заземлення, опір якого менше. Заземлюються корпуси електродвигунів і трансформаторів, арматура світильників, щити керування, шафи, пульти керування.

В установках до 1000В з глухо заземленою нейтраллю (більшість сільськогосподарських установок) повинен бути металевий зв'язок корпусів електроустановок із заземленою нейтраллю. Цей вид захисту називається зануленням.

Електричний струм крім того створює пожежну небезпеку, яка виникає в таких випадках:

- 1) коли виникає коротке замикання провідників різних фаз. При цьому протікає великий струм к.з., провідник швидко нагрівається, ізоляція може швидко загорітися, а метал провідника – розплавитися і привести до пожежі;
- 2) при тривалому перевантаженні лінії, коли температура провідника поступово підвищується і може досягти температури загорання;
- 3) коли ненадійний електричний контакт в місці з'єднання провідників, що викликає сильний нагрів в місцях з'єднання;
- 4) при тривалому горінні електричної дуги в електроапаратах (рубильниках, автоматичних вимикачах, пускачах).

Для запобігання цим причинам електроустановки повинні бути обладнані захисними апаратами: запобіжниками, автоматичними вимикачами, тепловими реле, дугогасними пристроями.

При ураженні людини електричним струмом смерть часто буває лише уявною (немає дихання, припинилось серцебиття). Ніколи не треба відмовлятися від надання допомоги потерпілому при наявності таких ознак ураження, оскільки лише лікар може вирішити питання про недоцільність подальших зусиль.

Першою дією при наданні допомоги повинно бути відокремлення потерпілого від дії електричного струму. Це і вимкнення установки, відрив потерпілого від струмоведучих частин за одяг ізоляційними предметами (суха дошка, палиця), підкладання під потерпілого сухих ізоляційних предметів, якщо він лежить на землі чи на металевому обладнанні.

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1. Капітальні вкладення розраховуємо за формулою:

$$K_b = K_p + K_y + K_o, \quad (6.1)$$

де K_p – витрати на обладнання, грн.;

K_y – витрати на монтаж, грн.;

K_o – витрати на навчання персоналу, документація, грн..

$$K_b = (400 \cdot 50) + (8 \cdot 15) + 10000 = 30120 \text{ грн.}$$

2. Споживання електроенергії

$$C_e = P_{л(б.п.)} \cdot K_{гд(б.п.)} \cdot K_{д(б.п.)} \cdot K_{од}, \quad (6.2)$$

де $P_{л(б.п.)}$ - потужність ламп, кВт;

$K_{гд(б.п.)}$ – кількість годин роботи на добу, год;

$K_{д(б.п.)}$ – кількість днів;

$K_{од}$ – кількість ламп, шт..

$$C_{еб} = 100 \cdot 16 \cdot 160 \cdot 100 = 25600 \text{ кВт}$$

$$C_{еп} = 50 \cdot 161 \cdot 60 \cdot 8 = 1024 \text{ кВт}$$

3. Економія електроенергії

$$E_l = C_{еб} - C_{еп} \quad (6.3)$$

$$E_l = 25600 - 1024 = 24576 \text{ кВт}$$

4. Вартість електроенергії

$$V_e = C_{e(п.б.)} \cdot Ц \quad (6.4)$$

$$V_{еб} = 25600 \cdot 1,30 = 33280 \text{ грн.}$$

$$V_{еп} = 1024 \cdot 1,30 = 1331,2 \text{ грн.}$$

5. Економія електроенергії

$$E_e = V_{еб} - V_{еп} \quad (6.5)$$

$$E_e = 33280 - 1331,2 = 31948,8 \text{ грн.}$$

6. Споживання ел. енергії УФ установки

$$C_{еуф} = P_l \cdot K_r \cdot K_{днів} \cdot K_{уст}, \quad (6.6)$$

де P_l - потужність ламп, кВт;

K_r – кількість годин роботи установки, год.;

$K_{\text{днів}}$ – кількість днів роботи установки;

$K_{\text{уст}}$ – кількість установок, шт..

$$C_{\text{еуф}} = 2 \cdot 2 \cdot 160 \cdot 1 = 640 \text{ кВт}$$

7. Вартість ел. енергії

$$V_e = C_{\text{еуф}} \cdot \text{Ц}, \quad (6.7)$$

де Ц – ціна 1 кВт ел. енергії, грн..

$$V_e = 640 \cdot 1,3 = 832 \text{ грн}$$

8. Визначення продуктивності

Відповідно до досліджень, після впровадження устаткування продуктивність зростає на 10 – 13 %.

Отже, середня прибутковість ферми на 100 голів складає 150000 грн., відповідно після впровадження устаткування:

$$P_p = P_{pб} \cdot 1,1 \quad (6.8)$$

$$P_p = 150000 \cdot 1,1 = 165000 \text{ грн.}$$

9. Економічний ефект від зростання продукції

$$\Phi_{\text{пр}} = P_p - P_b \quad (6.9)$$

$$\Phi_{\text{пр}} = 165000 - 150000 = 15000 \text{ грн.}$$

10. Амортизаційні відрахування за термін служби 5 років від вартості установки 10000 грн.

$$A_b = B_b \cdot H_a, \quad (6.10)$$

де B_b – балансова вартість установки, грн.(10000);

H_a – норма амортизації (20%)

$$A_b = 10000 \cdot 0,2 = 2000 \text{ грн}$$

11. Заробітна плата оператора

Обов'язки оператора покладено на технолога, відповідно збільшимо заробітну плату на 15%. Середню заробітну плату приймаємо 2000 грн.

$$З_{\pi} = T_c \cdot K_d \cdot K_M, \quad (6.11)$$

де T_c – тарифна ставка, грн.;

K_d – коефіцієнт доплати, %;

K_M – кількість місяців

$$З_{\pi} = 2000 \cdot 0,15 \cdot 5,3 = 1590 \text{ грн}$$

12. Витрати загальні

$$B_3 = B_e + A_B + З_{\pi} \quad (6.12)$$

$$B_3 = 832 + 2000 + 1590 = 4422 \text{ грн}$$

13. Річний економічний ефект

$$P_{\text{еф}} = E_e + \Phi_{\text{пр}} - B_3 \quad (6.13)$$

$$P_{\text{еф}} = 31948,8 + 15000 - 4422 = 45526,8 \text{ грн}$$

14. Термін окупності

$$T_{\text{ок}} = K_B / P_{\text{еф}} \quad (6.14)$$

$$T_{\text{ок}} = 30120 / 45526,8 = 0,66 \text{ року}$$

Таблиця 6.1

Результати розрахунків

Показники	Базовий	Плановий	Відхилення
Кап. вкладення	-	30120	30120
Споживання ел.ен.	25600	1248	23936
Вартість ел.ен.	33280	2163,2	-31116,8
Заробітна плата	-	1590	+1590
Амортизаційні відрахування	-	2000	+2000
Річний економічний ефект	45526,8		
Термін окупності	0,66		

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих технічних засобів очистки питної води показав доцільність і економічну ефективність бактерицидного знезараження питної води із застосуванням ультрафіолетового випромінювання. Попереднє озонування води, з наступним її очищенням, значно покращує прозорість води для УФ випромінювання, що робить застосування ультрафіолетового знезараження більш економічним.

2. На основі аналізу штучних джерел УФ-випромінювання різних угруповань обґрунтовано доцільність використання ртутних розрядних електротехнічних пристроїв низького тиску для різних опромінювальних систем в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінення, завдяки високому виходу резонансного випромінювання в УФ-діапазоні спектру 184,9 нм та 253,7 нм. При використанні електронних схем керування досягнуто збільшення терміну служби джерел низького тиску в електротехнічних пристроях УФ-дії з 5-9 тис. годин до 16-18 тис. годин.

3. Одним з найбільш ефективних УФ-джерел випромінювання є металогалогенні електротехнічні пристрої, що мають високий ККД перетворення електричної енергії в УФ-випромінювання і можливість в широких межах регулювати спектр випромінювання. В залежності від характеру задачі можливо змінювати питому потужність, геометрію пальника, кількість ртуті та випромінюючих домішок, силу струму в джерелі випромінювання.

4. Обґрунтовано впровадження в існуючу технологію підготовки питної води технологію бактерицидного опромінення потоку води в поверхневому об'ємі захисного кварцевого корпусу лампи з паралельним та зустрічним напрямком векторів швидкості руху рідини (v) і потоку випромінювання (Φ), що дозволило забезпечити мінімальні втрати оптичної енергії у поєднанні з високою якістю і рівномірністю обробки води.

Розроблено електротехнологічний комплекс для фотоактивації живильного розчину в гідропонній теплиці.

5. Встановлено значення фактичної дози бактерицидного опромінення, яку отримує живильний розчин протягом фотоактивації. Для часу опромінення 20...40 с на поверхні розчину забезпечується доза 44...88 мДж/см², що відповідає вимогам технологій бактерицидного знезаражування питної води, де мінімальнонеобхідною вважається доза у 40 мДж/см².

6. Обґрунтовано масогабаритні розміри експериментальної опромінювальної установки на базі дугової ртутної лампи ДРТ–400 для гідропонної теплиці. Експериментальна установка електротехнологічного комплексу має габаритні розміри: 25 x 15 x 10 см. Продуктивність установки для фотоактивації розчину становить 375 см³ за один полив при технологічних вимогах швидкості руху розчину в камері обробки: в межах 0,125...0,32 л/с для ділянки теплиці в 20 м².

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвійчук В.А. Технології наукових досліджень. Навч. посібник / Матвійчук В.А., Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Є. - Вінниця: ВНАУ, Л 49 2015. - 190 с..
2. Матвійчук В. А. Електротехнології в АПК: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. П. Стаднійчук. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 272 с.
3. Матвійчук В. А. Діагностування електрообладнання: навчальний посібник / В. А. Матвійчук, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько. ВНАУ – Вінниця:ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 140 с.
4. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. – 340 с.
5. Публікація CIE 17.4-1987 international lighting (ILV) – Joint publication IEC/CIE, Geneva, 1987 міжнародний словник світлотехнічних термінів – Сумісне видання MEK/МКО, Женева, 1987.
6. Chervinsky LS. Primary mechanism of action of optical radiation on living organisms. Int Journal Biosen Bioelectron. 2018; 4(4): 204.
7. Stephen, B. Germicidal ultraviolet irradiation. Modern and effective methods to combat pathogenic microorganisms [Text] / B. Stephen, Jr. Martin, D. Chuck, James D. Freihaut, William P. Bahnfleth, Josephine Lau, Ana Nedeljkovic-Davidovic // ASHRAE JOURNAL. – 2008 – Vol. 50 (8). – С. 18–20.
8. Lee, B. Effects of installation location on performance and economics of in-duct ultraviolet germicidal irradiation systems for air disinfection [Text] / B. Lee, P. William P. Bahnfleth // Building and Environment. – 2013 – Vol. 67. – С. 193-201.
9. Gray, N. F. Ultraviolet Disinfection / N. F. Gray // Microbiology of Waterborne Diseases (Second Edition). - 2014. – P. 617-630.
10. Семенов А. О. Методи знезараження води і водних розчинів / А. О. Семенов, Л. В. Берлінова // Науковий вісник полтавського університету

економіки і торгівлі. Серія «Технічні науки». – 2011. – № 1(52). – С. 39–43.

11. Kowalski W.J. Ultraviolet germicidal Irradiation Handbook. UVGI for air and Surface Disinfection. Springer-Verlag Heidelberg, 2009.

12. Bolton J.R, Cotton C.A. The ultraviolet disinfection handbook. American water works association, 2008.

13. Семенов А. О., Сахно Т. В. Дослідження УФ-опромінювачів знезараження води закритого типу. Актуальні проблеми теорії і практики експертизи товарів: VII Міжнародна науково-практична Інтернет конференція, м. Полтава, 2–3 квітня 2020 року: тези доповіді. С. 282-285.

14. Sources and Applications of Ultraviolet Radiation. Von R. Phillips. Academic Press, London, 1983. 434 p.

15. Fridman A. Decreasing operating room contamination of surfaces and air with pulsed xenon ultraviolet disinfection / A. Fridman, L. A. Bruno-Murtha, R. Osgood, J. McAllister // American Journal of Infection Controlю 2013. V. 41 (6) – p. 36. June 2013 Volume 41, Issue 6, Supplement, Page S36

16. Пат. 80079 Україна, МПК C02F 1/32 (2006.01). Пристрій бактерицидного знезараження повітря в приміщеннях / А. О. Семенов, Г. М. Кожушко, Н. В. Семенова; замовник і патентовласник ВНЗ Укоопспілки «Полт. ун-т екон. і торг». – № 201213896; заявк. 06.12.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.

17. Червінський Л.С. Правила улаштування електроустановок. Розділ 6. Електричне освітлення / Червінський Л.С., Квіцинський і др./ Видання офіційне. Міненерговугілля України. Київ .2014 - 40С.

18. Червінський Л.С. Електротехнології та електроосвітлення: Навчальний посібник / Чміль А.І., Червінський Л.С, Борщ Г.М., Сторожук Л.О., Книжка Т.С/.. – К.: ЦП «Компринт», 2017. – 660 с.:

19. Червінський Л.С. Електротехнічні системи електроспоживання. /Червінський Л.С., Чміль А.І., Сторожук Л.О. і др./ частина 1. Навч посібник.- Київ. 2018.- 670с.