

НУБІП України
МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.01 – МР 786 «С» 2022 11.07.22 031 ПЗ
НУБІП України
ЯНЕВИЧ ІГОР ДМИТРОВИЧ

НУБІП України
2022

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ НИ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621.3:631.24(477.81)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
Каплун В.В.
(підпис)
« ___ » _____ 2022 р.

В.О. завідувача кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій
Окушко А.В.
(підпис)
« ___ » _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на тему: РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Магістерська програма / Енергоінжиніринг / Електротехніка та
електротехнології
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми
Д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)
Заблюцький М.М.
(підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської роботи
Д.т.н., проф
(науковий ступінь та вчене звання)
Червінський Л.С.
(підпис) (ПІБ)

Виконав _____ **Яневич І.Д.**
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
 ЦІПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
 ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
 електротехніки, електромеханіки
 електротехнологій

д.т.н. проф. Жильцов А.В.

(підпис)

2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Яневичу Ігорю Дмитровичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Магістерська програма Енергоінжиніринг / Електротехніка та електротехнології /

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: ***Розроблення і дослідження системи бактеріцидного знезараження питної води ультрафіолетовим випромінюванням***

затверджена наказом ректора НУБіП України від 01.02.2021 № 175"С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру 12.11.2021

Вихідні дані до магістерської роботи

«Правила устрою електроустановок»; «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»; «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Системний аналіз існуючих установок для знезараження питної води, зокрема оптичним випромінюванням
2. Аналіз ефективних джерел УФ-випромінювання різних електротехнічних пристроїв для комплексів знезараження та опромінення
3. Розробка електротехнологічної системи бактеріцидного знезараження питної води і схеми керування
4. Висновки та пропозиції по магістерській роботі

Дата видачі завдання 09.9.2021 р.

Керівник магістерської роботи, проф.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

Червінський І. С.

(підпис)

Яневич І.Д.

(підпис)

РЕФЕРАТ

Робота складається з вступу, восьми розділів та основних висновків викладена на 107 аркушах друкованого тексту в тому числі: 34 таблиць, 12 рисунків, з використанням 43 джерел інформації.

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.

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.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СИМВОЛІВ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ..	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ОЧИСТКИ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ.....	10
1.1. Аналіз досліджень бактерицидної дії ультрафіолетового випромінювання.....	10
1.2. Аналіз існуючих систем бактерицидного знезаражування води УФ випромінюванням.....	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДЖЕРЕЛ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОМПЛЕКСІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ.....	16
2.1. Обґрунтування методики розрахунку бактерицидного знезаражування УФ випромінюванням.....	16
2.2 Аналіз електротехнічного комплексу знезараження питної бутильованої води.....	22
2.3 Аналіз електротехнічного комплексу бактерицидного знезараження води в басейнах комплексною дією озону та УФ-випромінювання.....	27
2.4. Аналіз ефективних джерел УФ- випромінювання різних електротехнічних пристроїв для комплексів знезараження та опромінення.....	37
2.4. Електротехнічні пристрої УФ-дії з приєднаними системами керування для комплексів фотобіологічної дії.....	54
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ТА СХЕМИ КЕРУВАННЯ.....	62
3.1. Розрахунок ефективності бактерицидного опромінення питної води... ..	62
3.2. Розроблення системи бактерицидного знезараження води.....	71
ВИСНОВКИ.....	80

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

МГЦЛ – 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

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Для вирішення багатьох завдань у промисловості, медицині, комунальному господарстві, енергетиці, сільському господарстві і т. д., де хімічні методи виявилися безсилі, з різних причин, застосування УФ-випромінювання дало можливість вирішити ряд завдань в агропромисловому комплексі, розуміючи при цьому природу багатьох хімічних, фізичних і біологічних процесів на атомно-молекулярному рівні. Цей розвиток став можливим завдяки розробці і промислового виробництва сучасних потужних високоефективних джерел УФ-випромінювання і електротехнічних пристроїв на їх основі, що дозволило розпочати їх широке використання в електротехнічних системах комплексів бактерицидного знезараження повітря, води, поверхонь і т. д.

Значний внесок у вирішення з проблеми використання УФ-випромінювання в різних сферах діяльності людства існує велика кількість опублікованих робіт, в яких викладені головним чином результати експериментальних наукових досліджень.

Проте використання цих результатів 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 із-за відсутності відомостей про деякі важливі параметри випромінювання й умови функціонування електротехнічних комплексів.

АНАЛІЗ СИСТЕМ ОЧИСТКИ І ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

1.1. Аналіз досліджень бактерицидної дії ультрафіолетового випромінювання.

Короткохвильове УФ-випромінювання спричиняє деструктивну летальну дію на рослинні та живі мікроорганізми, зокрема, на бактерії, віруси, мікроби тощо [1, 2, 3, 6].

За міжнародною термінологією, згідно з [4] випромінювання, здатне знищувати будь-які хроботворні мікроорганізми, називається терміцидним випромінюванням, а здатне знешкоджувати лише бактерії – бактерицидним випромінюванням. В деяких країнах, у тому числі в Україні перший термін не застосовується, а у всіх випадках щодо знешкодження хроботворних мікроорганізмів застосовується прикметник «бактерицидний».

Ефект знешкодження хроботворних мікроорганізмів називається інактивуючою дією. Летальний ефект у високоорганізованих багатоклітинних істотах при реальних значеннях дози, практично не спостерігається. У вірусів летальна дія проявляється у втраті здатності до внутрішньоклітинного розмноження, а в інших мікроорганізмів – в загибелі клітин до першого ділення або частини за все в першому або в наступних генераціях (поколіннях) [3].

Ще в 1929 р. було показано, що спектр дії летальності мікроорганізмів (рис. 1.3) 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 [4]: механічні частинки, солі важких металів, органічні молекули різних розмірів, бактерії, віруси і т.д. Тому основоположними критеріями при створенні апаратно-технологічної схеми електромеханічного комплексу знезараження води на етапах водопідготовки є склад вхідної води та вимоги

до якості води обумовлені технологічним процесом.

Вимоги до питної води останнім часом стають більш жорсткими [Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.], і 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 в залежності від сфери використання води та необхідних параметрів її чистоти. Основними технологічними прийомами є: очистка води від зважених частинок; очистка від марганцю та заліза; видалення органічних забруднень; пом'якшення води; знесолення; видалення біологічних забруднень; коректування складу води.

В таблицях 1.1 та 1.2 наведені мікробіологічні показники безпеки питної води різних підприємств АПК до впровадження технічних систем бактерицидного знезараження з використанням УФ-випромінювання.

Згідно даних (табл. 1.1) не відповідність питної води п.1 (загальне мікробне число) складає 28 %, а за пп. 2-7 не більше 7 %, а згідно даних табл.

1.2 за вмістом патогенних кишкових найпростіших не відповідність питної води складає - 2%.

Для рішення 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.

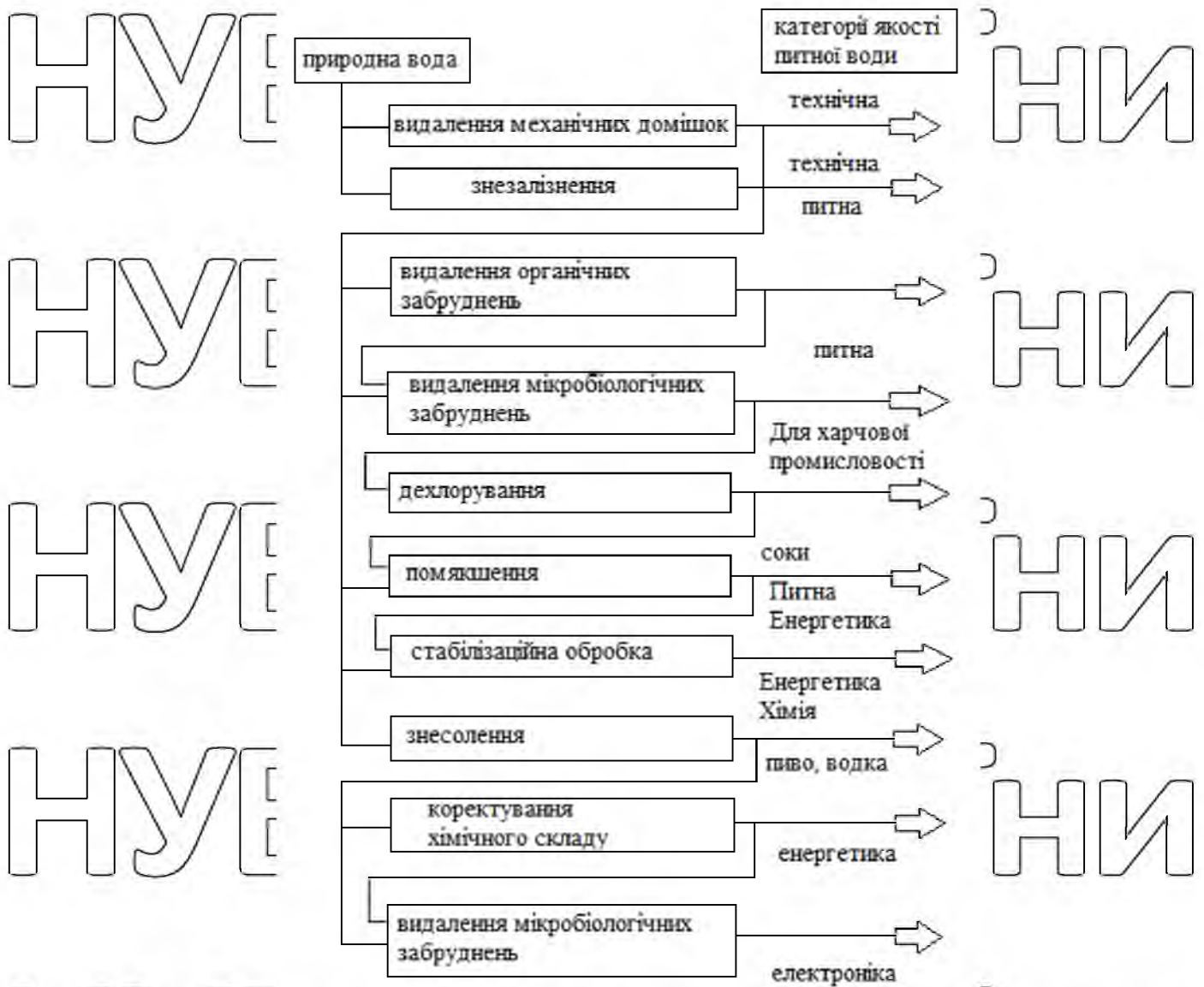


Рис. 1.1. Типова схема технічного комплексу водопідготовки з використанням різних методів.

Метод ультрафіолетового знезараження має ряд істотних переваг перед хімічними реагентними методами [Ошибки! Закладка не определена.], 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 [8].

Таблиця 1.1

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 1.2

Паразитологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників (одиниці виміру)	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Патогенні кишкові найпростіші: ооцисти, криптоспорицій, 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

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 [Ошибка! Закладка не определена.]. Зміни в ДНК мікроорганізмів накопичуються і призводять до уповільнення темпів їх розмноження і подальшого вимирання в першому і наступному поколіннях [7].

1.2. Аналіз існуючих систем бактерицидного знезаражування води УФ випромінюванням.

На рис. 1.3 наведена типова схема розробленого електротехнічного комплексу бактерицидного знезараження питної води [6] з використанням розроблених електротехнічних систем УФ-опромінення. При розрахунках та проектуванні установок знезараження питної води використанні технічні принципи та результати експериментальних робіт [5].



Рис. 1.3. Схема розробленого електротехнічного комплексу знезараження води з використанням ультрафіолетового опромінювання на заключному етапі.

При впровадженні електротехнічних систем бактерицидного знезараження питної води в комплексах бактерицидного знезараження води під дією УФ-випромінювання, вдалося досягти нормативних показників за мікробіологічними показниками (табл. 1.3 та 1.4).

Таблиця 1.3

Мікробіологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників, одиниця вимірювання	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Загальне мікробне число при $t\ 37^{\circ}\text{C}$ - 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

Таблиця 1.4

Паразитологічні показники безпеки питної води

№ з/п	Найменування показників (одиниці виміру)	Нормативи для питної води	Фактичні дані
1	Патогенні вишккові найпростіші: ооцисти, криптоспоридій, ізоспор, цисти лямблій, дизентерійних	відсутність	відсутні

НУБІП	амеб, балантидія кишкового та інших. (клітини, цисти в 50 дм ³)	України
	Кишкові гельмінти (клітини, яйця, личинки в 50дм ³)	
2	Відсутність	Відсутні

Згідно отриманих даних питна вода відповідає всім вимогам

нормативної документації за вмістом мікробіологічних та паразитологічних показників безпеки питної води [Помилка! Закладка не определена.]

НУБІП України
Висновок до розділу. Наведені результати покладено в основу наших подальших досліджень і розрахунків.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2.

НАУБІП УКРАЇНИ

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНИХ ДЖЕРЕЛ УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ РІЗНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ КОМПЛЕКТІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ТА ОПРОМІНЕННЯ

2.1. Обґрунтування методики розрахунку установки бактерицидного знезараження УФ випромінюванням

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

Розрахунок опромінювальної установки зводиться до визначення такої зони опромінювального простору, яка піддається мінімальній бактерицидній опроміненості E_{\min} [1]. Тому 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 врахуванням рекомендацій [Ошибка! Закладка не определена.]. Відправним пунктом є те, що в установці забезпечується необхідна поверхнева експозиція H_s опромінення для інактивації різних видів мікроорганізмів в найбільш віддалених місцях, 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 (табл. 1.2).

Енергетична яскравість L_0 зовнішньої поверхні лампи радіусом R_1 визначалася 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 [Ошибка! Закладка не определена.], де рекомендується, щоб в разі використання ртутних розрядних ламп низького тиску діаметр опромінювальної порожнини не був більше ніж 100 мм.

Довжину опромінювальної порожнини визначати довжиною занурювальної частини зовнішньої колби лампи. Схему опромінювальної частини установки показано на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Схеми опромінювальної установки: 1 – бактеріцидна лампа; 2 – кварцовий чохол; 3 – стінка камери

Оскільки згідно з другим законом опроміненості вона є обернено пропорційною квадрату відстані R від джерела, тобто

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

а 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. 2.4) 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. 2.4); 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. Але оскільки поглинання зменшується разом зі зниженням інтенсивності бактерицидного потоку для розрахунків береться значення показника k_1 послаблення бактерицидного потоку шаром води товщиною 1 см.

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 такої можливості показник k визначається у лабораторних умовах в кожному конкретному випадку.

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

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

де b – довжина випромінювальної частини лампи, можна визначити мінімальне значення швидкості (в метрах за годину) протікання води. 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 (коли шари води не перемішуються), 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 експоненціальним 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 $E_{b, \text{min}}$ на внутрішній поверхні стінки камери береться

завжди з деяким запасом. Теж саме стосується інших параметрів знезараження, а саме t_{min} , Q_{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 побудувати математичні моделі таких процесів [Ошибка! Закладка не определена.]. Але ніякі механічні «мішалки» всередину камери вмонтовані бути не можуть, непридатними є й магнітні «мішалки», оскільки вода – діаманетик. 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 відтискування 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 примарною, 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 мм в $\frac{100^2 - 90^2}{40^2 - 30^2} = 2.7$ рази.

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

– закон Бугера-Ламберта є суворо справедливим лише для вузького пучка променів, в той час як у розрахунках розглядають пучки, які 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.

В зв'язку з цим в усіх цивілізованих країнах оцінка (атестація) ефективності систем бактерицидного УФ-зnezараження води проводиться методом біодозиметрії [Ошибка. Закладка не определена.]. 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.

В зв'язку з цим, якщо раніше мінімальним значенням дози УФ-зnezараження 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 зnezараження води розглянуто в розділі 3.

2.2 Аналіз електротехнічного комплексу знезараження питної бутильованої води

Забезпечення населення якісною водою одна із актуальних проблем, яка потребує ефективного рішення. На сьогоднішній день споживачі надають перевагу бутильованій воді. Так 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 – токологічну, радіологічну, мікробіологічну, органічну. Крім того необхідно встановити, наскільки ця вода відповідає критеріям «фізіологічної повноцінності», тобто містить життєво важливі макро- і мікроелементи в концентраціях, що забезпечують потреби організму.

У виробництві бутильованої води використовують різні 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 з використанням різних методів.

На рисунку 2.5 наведена схема електротехнічного комплексу виробництва бутильованої води, продуктивністю від 1,8 м³/год до 6 м³/год, що успішно використовуються на ряді підприємств, а також на ПРАТ «Миргородський завод продуктів «Калинка». Принципіальної різниці між більш потужними електротехнічними комплексами виробництва питної води не існує.

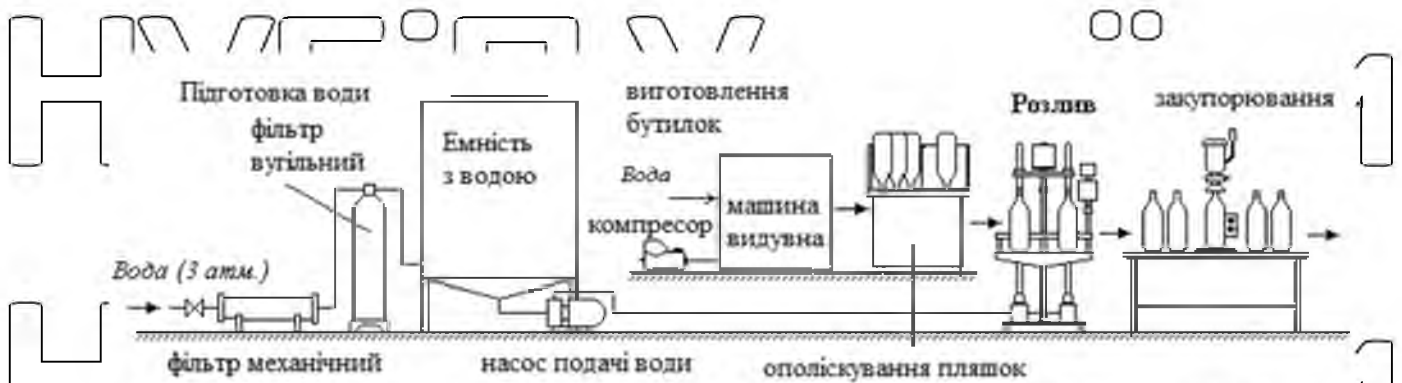


Рис. 2.5 Типова схема електротехнічного комплексу виробництва питної води

На ділянці водопідготовки вода проходить очистку з допомогою механічного фільтра (рисуюнок 2.5), 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 емність (накопичувальний резервуар), де зберігається до моменту розливу.

Процес мікробіологічного забруднення води, як показують експериментальні дослідження, відоувається на всіх етапах технологічного процесу, а саме при зберіганні в накопичуваному резервуарі, при розливі в тару і т. д. Так, після розливу в пляшки кількість життєздатних мікроорганізмів швидко збільшується, досягаючи за 3-7 днів $10^4 - 10^5$ КУО/мл. Кількість бактерій, і їх метаболічна активність прямо пропорційні відношенню площі поверхні до об'єму емності, 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 мікросорганізмів 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 бутелів і впливають на органолептичні властивості 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 глибоко діють на мікроорганізми. Ультрафіолетові промені знищують не лише вегетативні, а й спорові форми бактерій і не змінюють органолептичні властивості води.

Дані про переваги та недоліки вище описаних методів представлені в таблиці 2.5. Звідки слідє, що використання ультрафіолетового випромінювання в електротехнічних комплексах бактерицидного знезараження води на основному та заключному етапі технологічного процесу (рис. 2.1.) – це вирішення задачі знезараження при підготовці питної води із різних джерел водопостачання [1].

Таблиця 2.5

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	- сильний окислювач та дезінфектант; - ефективний проти вірусів патогенної мікрофлори; - сприяє видаленню	- утворює побічні продукти, а саме: органічні кислоти, кетони, пероксиди; - необхідність використання біологічно активних фільтрів для видалення утворених побічних продуктів;

<p>НУБІП</p>	<p>мутності з води; - видаляє сторонні присмаки і запахи</p>	<p>- не забезпечує запорукової знезаражувальної дії; - вимагає високих початкових витрат на обладнання;</p>
<p>НУБІП</p>	<p>НУБІП</p>	<p>- озон, реагуючи зі складними з'єднаннями, розщеплює їх на фрагменти, які є поживним середовищем для мікроорганізмів у системах розподілу води</p>
<p>НУБІП</p>	<p>НУБІП</p>	<p>НУБІП</p>
<p>Хлорування застосовують у газоподібному вигляді, тому слід дотримуватися найсуворіших заходів безпеки</p>	<p>- ефективний окислювач і дезінфектант; - характерна післядія; - запобігає зростанню водоростей; руйнує органічні сполуки; - характерний для видалення неприємного смаку і запахів</p>	<p>- підвищені вимоги до перевезення і зберігання; - потенційний ризик для здоров'я у разі витікання; утворення побічних продуктів дезінфекції; - погіршує органолептичні показники</p>
<p>НУБІП</p>	<p>НУБІП</p>	<p>НУБІП</p>
<p>Ультрафіолетове опромінення – процес технологічно полягає в опроміненні води ультрафіолетом,</p>	<p>- не потребує зберігання та транспортування хімікатів; - не утворює побічних</p>	<p>- знезаражувальна активність залежить від каламутності води, її жорсткості</p>

який здатний вбивати різні типи мікроорганізмів продуктів; не змінює органолептичні показники води

За основу технологічного процесу обрано спосіб знезараження УФ-опроміненням з використанням розроблених електротехнічних систем, що детально розглянуті в розділі 5. Розроблена технологія дозволяє здійснювати знезараження тари і води одночасно в процесі бутелювання.

На рис. 2.6 наведена схема розробленого електротехнічного комплексу знезараження питної води в процесі бутелювання з використанням УФ-випромінювання.

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

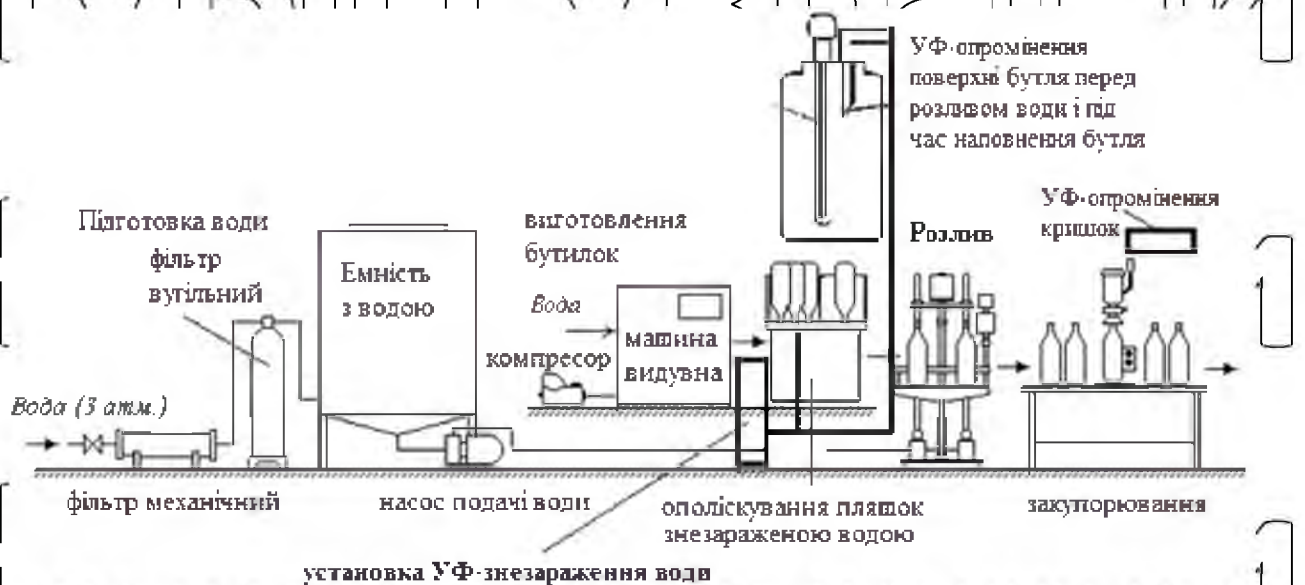


Рис. 2.6 Схема розробленого електротехнічного комплексу знезараження питної води в процесі бутелювання.

Послідовність знезараження води, пластикових бутлів та кришок для

герметизації бутлів включає наступні етапи: вода яка 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.

Більш детально процес знезараження питної води в процесі бутельовання розглянуто в розділі 5.2 дисертаційної роботи, де проведені необхідні розрахунки поверхневих доз опромінення з використанням розроблених електротехнічних систем ультрафіолетової дії.

2.3 Аналіз електротехнічного комплексу бактерицидного знезараження води в басейнах комплексною дією озону та УФ-випромінення

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 кишечник 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 воду в ванні басейну, тобто створити систему проточного водозабезпечення басейну водою питної якості [Ошибка! Закладка не определена.], 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 чотирихкратну циркуляцію всього обсягу води в басейні через систему очистки і знезараження]. В [23] рекомендується 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 поверхні води в басейні через 2-3 дні покривається плівкою, а на стінках появляється слизь. Далі 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 [16]. В басейні можуть попадати шкідливі та небезпечні неорганічні та органічні речовини, які не тільки

забруднюють воду але можуть призвести до захворювання. Для того, щоб вода, яка знаходиться в басейні відповідала необхідним параметрам, вона має проходити підготовку, що обов'язково містить: підігрівання води, рециркуляцію, механічну очистку та знезараження (дезінфекцію).

Знезараження – це знищення забрудників та продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, водорості, бактерій, вірусів, токсичних виділень. Для цього застосовуються різні технології та методи, що поділяються за способом дії на мікроорганізми [Ошибка! Закладка не определена.]:

- реагентні методи – дезінфекція досягається шляхом внесення в воду біологічно активних хімічних сполук (хлорування, бромовання, озонування, використання кисневовміщуючих реагентів, комбінованих препаратів типу хлор+кисень та інш.);
- безреагентні методи – оброблення води фізичним впливом (висока температура, ультрафіолет та інш.);

- комбіновані методи – комбінація реагентних і безреагентних методів.

Сьогодні найбільш широкого застосування знаходять комбіновані методи : УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням та УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням [Ошибка! Закладка не определена.]. 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 більш поширені схеми електротехнічних комплексів водопідготовки води в басейнах.

На рис. 2.7 представлена схема електротехнічного комплексу водопідготовки води в басейні з періодичною обробкою гіпохлоридом натрію, який періодично подається в басейн для знезараження (дезінфекції).

На ділянці водопідготовки вода проходить очистку з допомогою промивного фільтра (рисунок 2.7), 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 (див. п. 1.4.1). Крім того, хлорування води з високим вмістом сполук бром- та йоду призводить до високого вмісту бром- та йодвмісних побічних продуктів, які як правило 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 [Ошибка! Закладка не определена.].

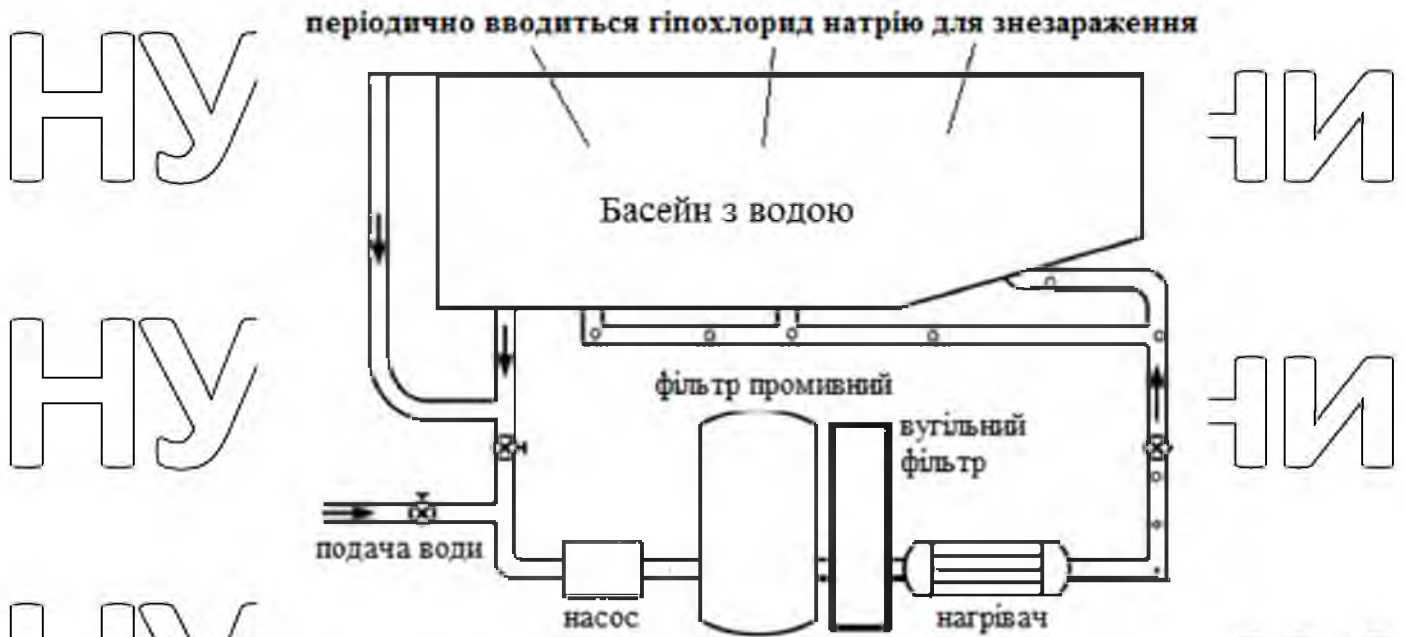


Рис. 2.7 Типова схема електротехнічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням гіпохлориду натрію.

Оцінка небезпечності деяких сполук, що утворюються при хлоруванні води в басейнах та розрахунковий прогноз їх токсичності наведені в [Ошибка! Зкладка не определена]. Серед проблем пов'язаних з потенційною небезпечкою

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 реакції пероксиду водню (H_2O_2) і озону;

- використання реакції 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 вод 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 надає 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. 2.8 представлена схема електротехнічного 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 в 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.

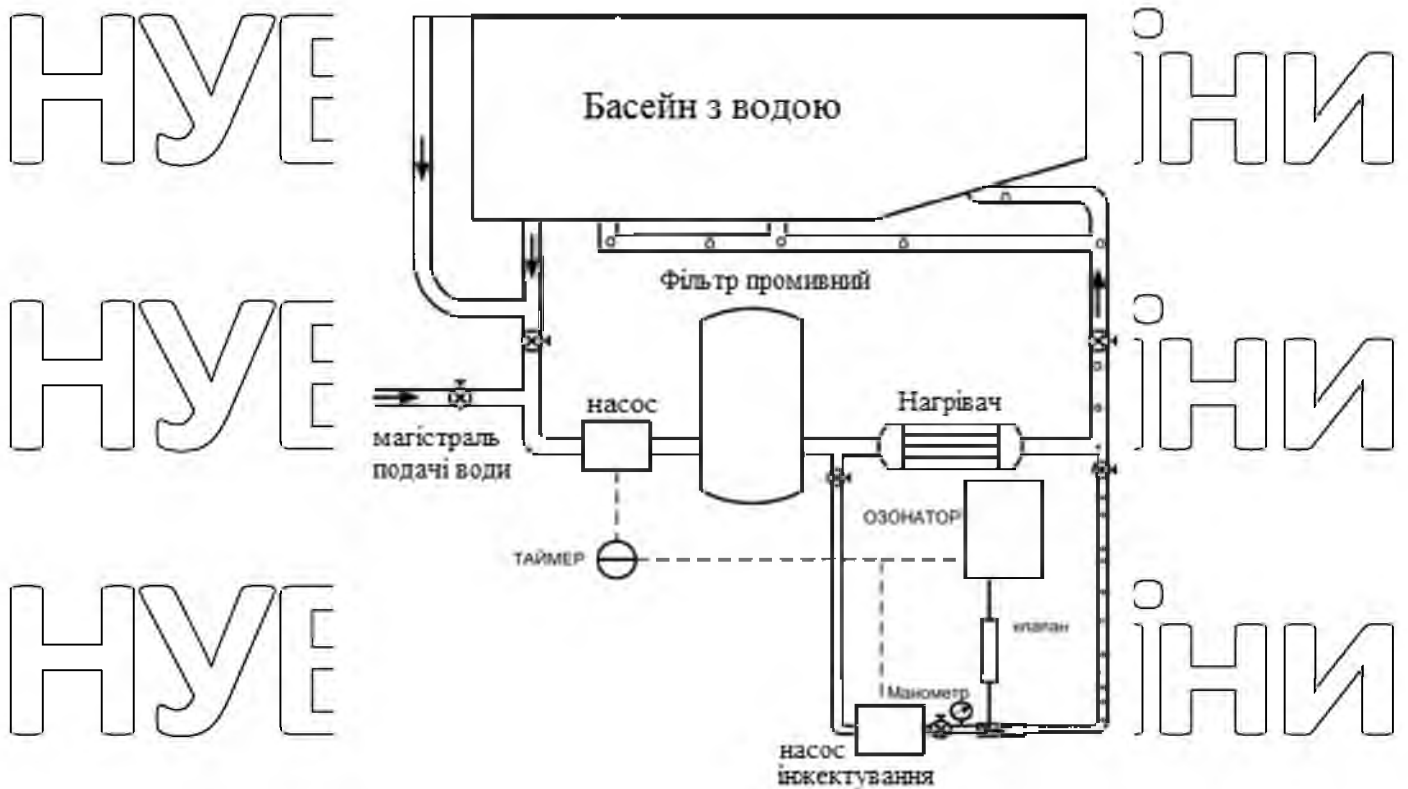


Рис. 2.8. Типова схема електротехнічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням озонування.

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.

Знезаражуюча дія озону в 15-20 разів ефективніша за дію хлору, а на спорові форми бактерій приблизно в 300-600 разів [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 діяльність.

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 з іншими технологіями, в тому числі з УФ-знезараженням [28].

Ультрафіолет не створює побічних продуктів дезінфекції, його доза може бути збільшена до значення, що забезпечують епідеміологічну безпеку як по бактеріях так і по вірусах [Ошибка! Закладка не определена.]. 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 для знезараження води в басейні є відсутність післядії випромінювання.

При впливі озону на клітинну стінку цист *Giardia* відбувається зміна цитоплазматичної мембрани і ультраструктурних елементів організмів. При порівнянні знезаражуючої дії озону і хлору по 0,1 мг/дм³ 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 [5]. 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 найбільшого застосування в промисловості, але вартість його висока.

Тому при розробці електротехнічного 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 використати озон отриманий в результаті ультрафіолетового випромінювання електротехнічного пристрою.

На рис. 2.9 представлена схема електротехнічного комплексу водопідготовки води для басейнів з використанням комбінованого методу комплексна дія озону та ультрафіолету.

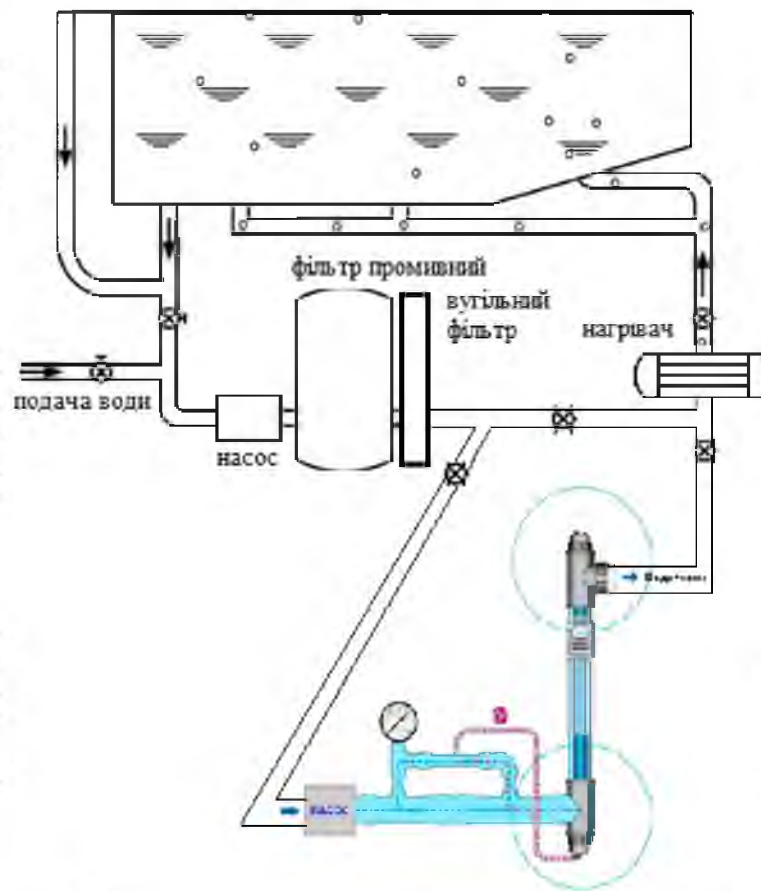


Рис. 2.9. Схема розробленого електротехнічного комплексу знезараження води в басейні комплексною дією озону та ультрафіолету

Таким чином, згідно розробленого електротехнічного 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 [Ошибка! Закладка не определена.].

При УФ-опроміненні молекул розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням радикалів атомарного кисню і OH [Ошибка! Закладка не определена.]. Їх реакційна здатність (окислення) у багато разів вище, ніж у озону. Коефіцієнт екстинкції O_3 на довжині хвилі 254 нм дорівнює 3300 л / (моль·см), і він набагато вище, ніж у H_2O_2 [18,6 л/(моль·см)]. Приблизно, швидкість розпаду озону в 1000 разів вище, ніж у H_2O_2 .

У даний час поведено, що існує три шляхи реакції UVC/O_3 , що призводять до генерації гідроксильних радикалів $\bullet\text{OH}$ через утворення збуджених атомів кисню, перекису водню і пергідроксильних іонів. Насправді існує набагато більше шляхів генерації вільних радикалів, але складність хімічного процесу не дозволяє в деталях вивчити всі хімічні реакції, їх кінетику і процес напрацювання гідроксильних іонів.

Процес знезараження води комбінованим методом УФ-випромінювання в поєднанні з озоном можна застосовувати і при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок. Ці процеси ефективно йдуть при дуже високих УФ-дозах 500-600 мДж/см², що набагато більше, ніж необхідно для глибокого знезараження.

При експериментальних дослідженнях в ході впровадження електротехнічного 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. 2.9) успішно пройшла випробування при знезараженні води в басейнах об'ємом до 100 м³.

Озонування води насамперед вирішує завдання фізико-хімічної очистки, дозволяє знизити витрати реагентів, забезпечує первинний бар'єр від мікробного забруднення. Відомо [Ошибка! Закладка не определена], якщо водні розчини містять органічні сполуки, абсорбуючі УФ-світло, то УФ-випромінювання зазвичай не дає ніякого ефекту через екранування озону оптично активними сполуками. Використовуючи технологію УФ/О₃, можна досягти повної мінералізації органічних сполук з коротким молекулярним ланцюгом.

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

В даному підрозділі здійснено 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 [Ошибка! Закладка не определена.].

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 [Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.]. Кількісні значення параметрів електротехнічних

пристроїв забезпечують ефективність дії електротехнічних комплексів бактерицидного знезараження та ультрафіолетового опромінення.

2.3.1 Розрядні електротехнічні пристрої УФ-випромінювання

Серед різних типів джерел УФ-випромінювання ртутні розрядні електротехнічні пристрої отримали найбільш широке застосування. 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 (10^{-3} мм рт. ст. до десятків атмосфер), ртуть хімічно мало активна і майже не взаємодіє з матеріалами колби та електродів, що забезпечує досить високу надійність і строк служби джерела. В 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) [Ошибка! Закладка не определена.].

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 [Ошибка! Закладка не определена.]).

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 3.3 представлені технічні

параметри деяких ртутних бактерицидних джерел низького тиску [Ошибка!

Закладка не определена.]

НУБІП України

Таблиця 2.3

Основні технічні параметри деяких ртутних електротехнічних пристроїв низького тиску

Електротехнічний пристрій (тип джерела)	P, Вт	I, А	Номинальний бактерицидний потік, Вт	Срок служби, год	Геометричні розміри, мм	Матеріал колби
озонні						
ДБ-15	15	0,33	2,5	3000	451x30	увіглеве 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***	10 00	10,0	150	-	1200x10	увіюлеве скло

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

Крім джерел з переважним випроміненням резонансних ліній створені електротехнічні пристрої з більш довгохвильовим УФ-випроміненням за рахунок фотолумінісцентного перетворення короткохвильового випромінення.

В таблиці 2.4 представлені параметри еритемних електротехнічних пристроїв та пристроїв типу ЛУФ [Ошибка! Закладка не определена.]

Таблица 2.4

Параметри еритемних електротехнічних пристроїв і електротехнічних пристроїв типу ЛУФ

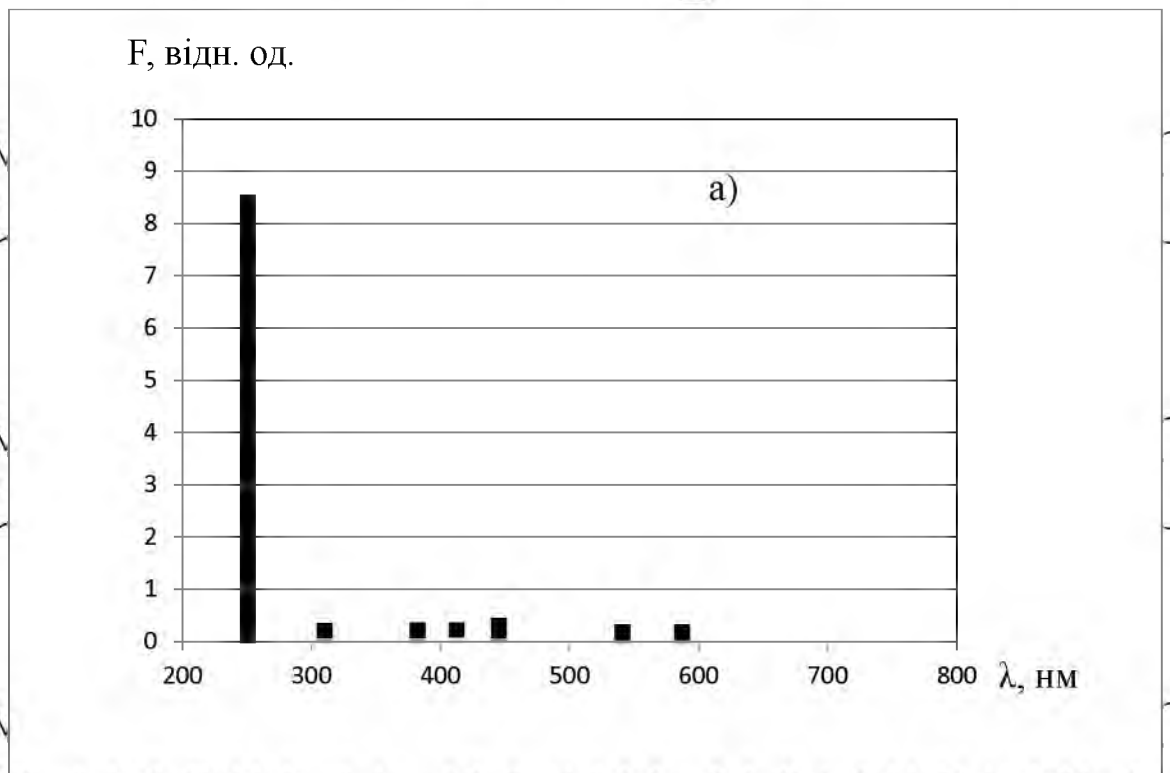
Електротехнічні пристрої (тип джерела)	Р, В	U, В	Спектральний діапазон випромінювання, нм	Потік випромінювання в спектральному діапазоні, Вт	Строк служби год	Геометричні розміри, мм
ЛЭ-30	30	10 4	280-315	9,5*	5000	908x30
ЛЭР 40	40	10 3	280-315	14,0*	3000	1213x40
ЛУФ 80	80	10 2	300-400	9,2	4000	1213x40
ЛУФ 80-2	80	10 2	300-400	10,0	7500	1213x40

* - еритемний потік, мер

На рис. 2.4 наведені спектри випромінення деяких типів

електротехнічних пристроїв УФ-дії в яких використані фотопомінофори
 [Ошибка! Закладка не определена].

Крім трубчастих ртутних розрядних джерел низького тиску, в яких для забезпечення необхідних для підтримання розряду концентрацій електронів використовують електроди з емітерним покриттям, розроблені безелектродні електротехнічні пристрої. Особливості конструкції та функціонування цих електротехнічних пристроїв розглянути в розділ 3.2.



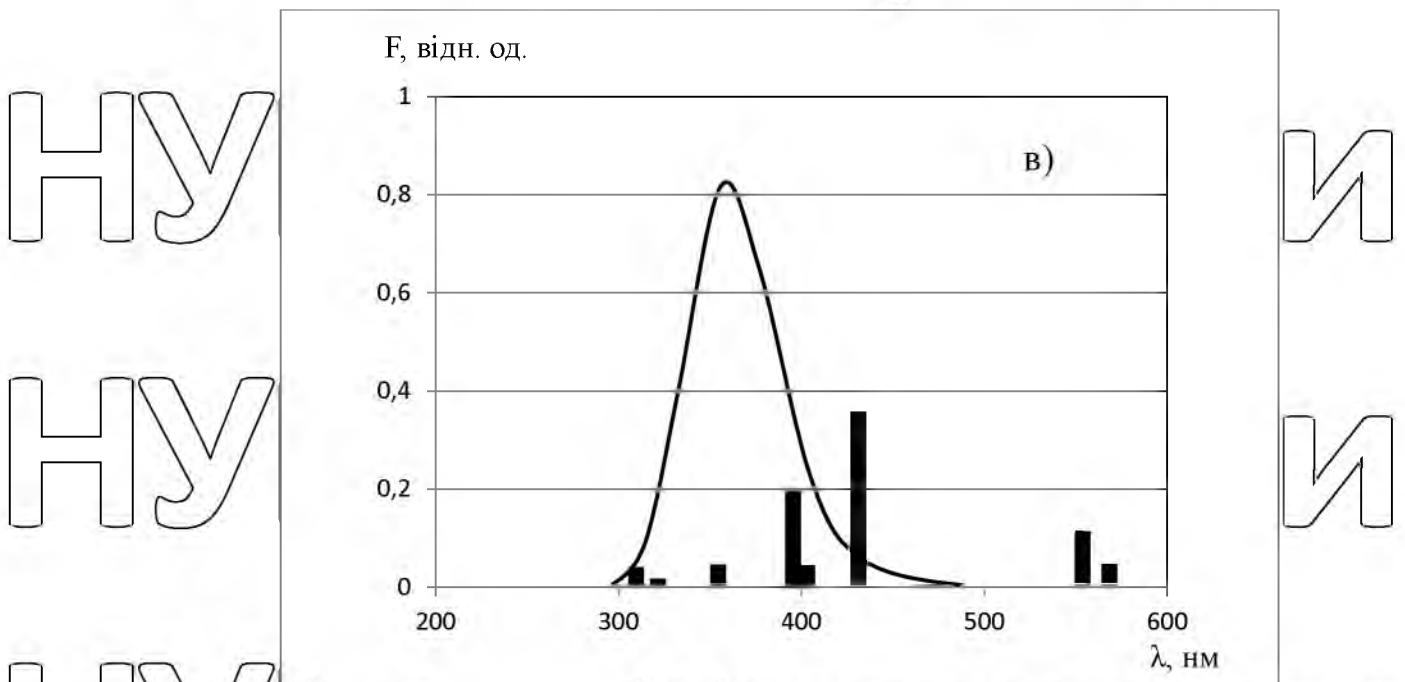
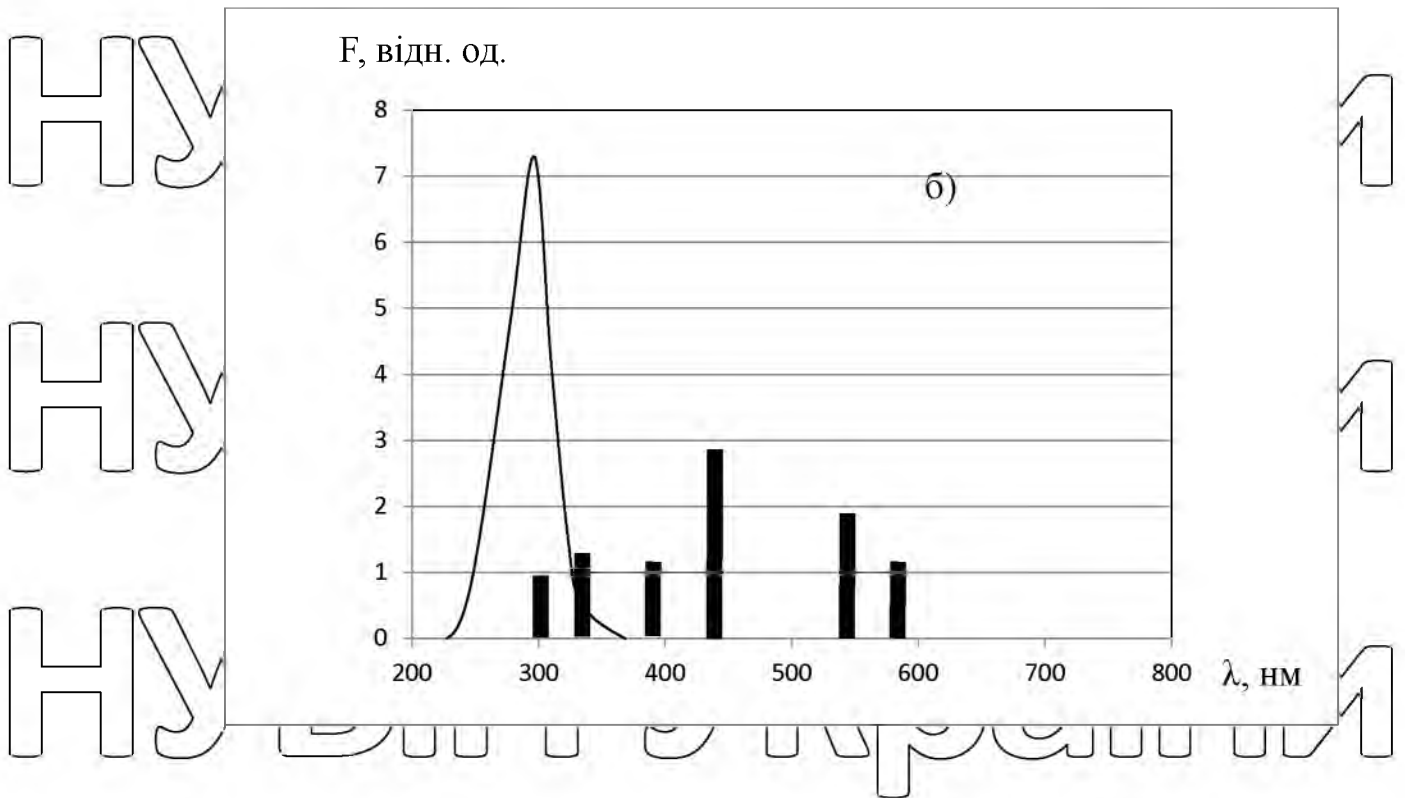


Рис. 2.10. Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв низького тиску: а) – бактерицидної; б) – еритемної; в) – типу ЛУФ-40

Для роботи ртутних розрядних джерел низького тиску в умовах підвищених температур розроблені конструкції в яких ртуть замінена на

амальгаму (сплави ртуті з металами). Ці електротехнічні пристрої розглянуті в розділі 3.3.

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 випроміненням в резонансних лініях ртуті до 60 % всієї електричної потужності, що підводиться до електротехнічного пристрою [Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.].

Ртутні газорозрядні лампи високого тиску

До розрядних електротехнічних пристроїв високого тиску відносяться джерела, в яких робочий тиск пару (газу) складає $3 \cdot 10^3 - 10^6$ Па ($0,2 \cdot 10^2$ мм рт. ст. до $7,5 \cdot 10^2$ мм рт. ст.) [Ошибка! Закладка не определена.]. 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.2.11, розміри та електричні характеристики – в таблиці 2.6.



Рис. 2.11 Загальний вигляд електротехнічного пристрою, дугового ртутного, типу ДРТ

Таблиця 2.6

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	3,7
	пускова	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-випромінення 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 випаровуючих 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 [Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.]

Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв ДРТ та ДРТГ із різними випромінюючими добавками представлені на рис. 2.12.

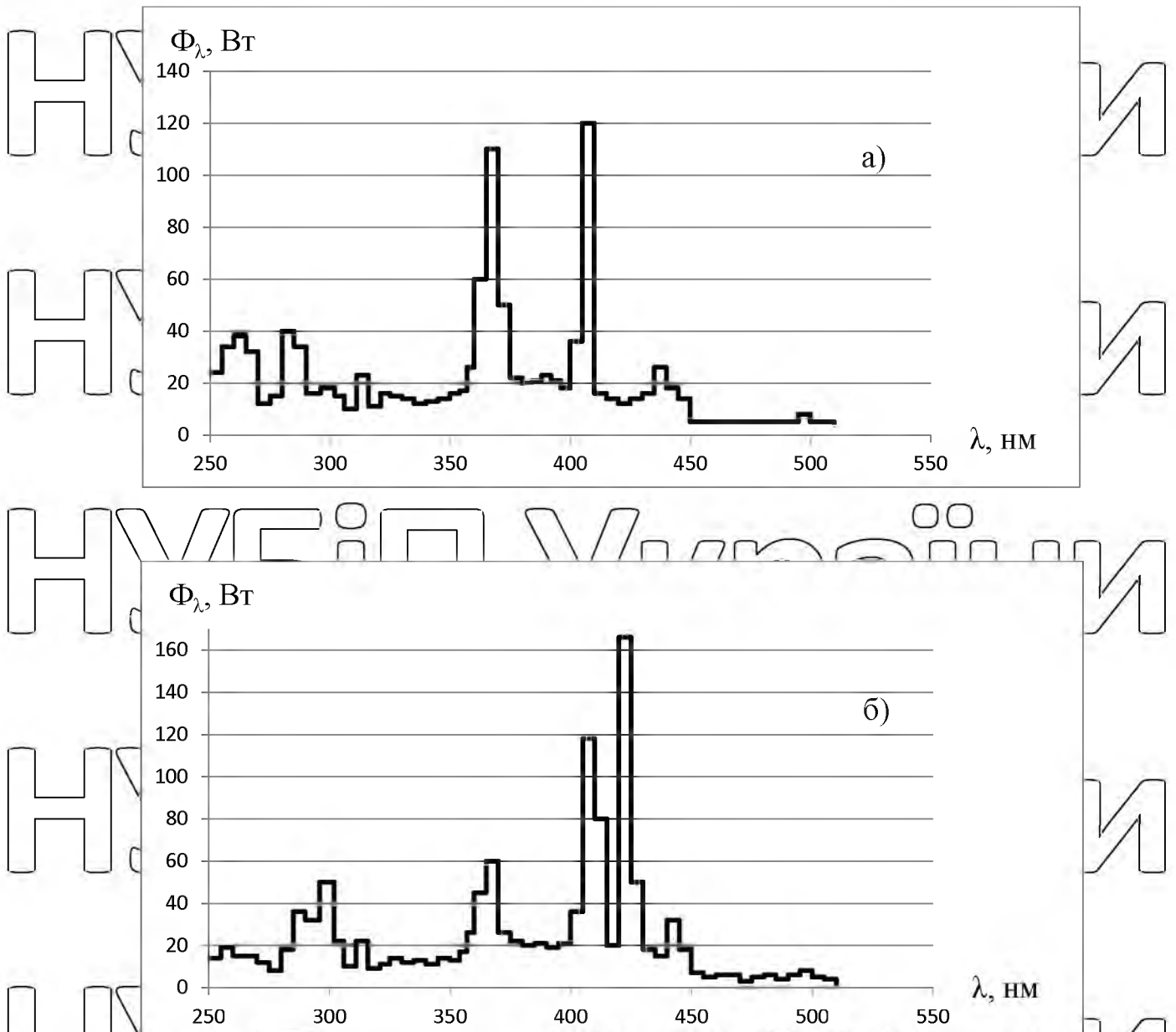


Рис.2.13 Спектри випромінювання електротехнічних пристроїв ДРІ та ДРТІ із різними випромінюючими добавками: а) - з йодидами свинцю; б) - з йодидами галію, свинцю.

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 полікоробовими розрядними трубками [Ошибка! Закладка не определена.].

Зважаючи на те, що металогалогенні електротехнічні пристрої МГЛ з точки зору фізико-хімічних процесів є найбільш складними електротехнічними пристроями, доцільно окремо провести більш детальний аналіз шляхів підвищення виходу випромінювання в УФ-області спектру та інших експлуатаційних параметрів.

Безелектродні електротехнічні пристрої УФ-випромінювання

В даний час створені ефективні та потужні джерела бактерицидного випромінювання на основі індукційного розряду трансформаторного типу [Ошибка! Закладка не определена.]. Їх ККД і потужності УФ-випромінювання подібні електродним електротехнічним пристроям низького тиску [Ошибка! Закладка не определена., Ошибка! Закладка не определена.]. 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 [Ошибка! Закладка не определена.], 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 келби 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 знизити 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. 3.11) [9].

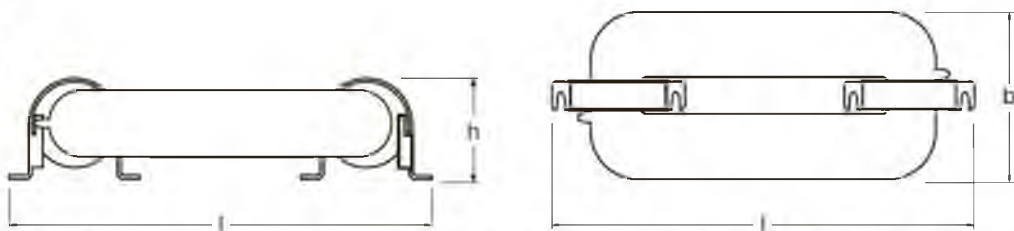


Рис. 2.14 Електротехнічний пристрій Endura 100 W/840,

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 [Ошибка! Закладка не определена.]. ККД таких електротехнічних пристроїв може досягати 30%.

Проте широкого застосування в 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

В 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 [Ошибка! Закладка не определена.].

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. Можна сказати, що за останні 20 років (з 2000 р) ринок обладнання, як втім 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), OSI/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 єдиною можливістю, 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 токах 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 досліди 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 [31].

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 оптимальне 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. На рис. 1.12 показано, що застосовуючи чотирьохкомпонентну амальгаму можна забезпечити оптимальний тиск парів ртуті 0,7-1,5 Па в надзвичайно широкому діапазоні температур 60-150 °С. 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 строку служби електротехнічних пристроїв до 25 тис. годин, при цьому число вмикань-виключень може досягати 50-100 тис. циклів, що цілком порівняно вже і з безелектродними варіантами амальгамних електротехнічних

пристроїв. Однак можна відзначити, що в більшості випадків цілком достатньою є величина 2-5 тис. включень протягом всього строку служби електротехнічних пристроїв. Деякі компанії, про які згадувалося вище, крім можливості виробництва амальгамних джерел УФ-випромінювання можуть пропонувати і готові рішення, тобто комплект «джерело + оригінальний ЕПРА» вже з оптимально підібраними параметрами.

Взагалі варто було б 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 узлів, 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 пропорційна 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 AlGaN n- і р- типу з високим вмістом AlN і забезпечення достатньо низької робочої напруги і малої потужності споживання. В даний час такі роботи активно проводяться.

Час роботи УФ-світлодіодів в теперішній час складає від декількох сотень до десятки 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.) [5] 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 оптичному 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.

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

В роботах [Ошибка! Закладка не определена.] запропонована конструкція бактерицидного джерела для оптичних опромінювальних пристроїв з вмонтованою системою керування.

Бактерицидний електротехнічний пристрій представляє собою газорозрядну трубку-колку (далі 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 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 колбі 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 [Ошибка! Закладка не определена.], джерело поміщають в чохол із кварцового скла (рис. 2.16, 2.17). Під'єднання до мережі здійснюють через допоміжні пристрої: електронний (рис. 2.20) або індуктивний баласт (рис. 2.21).



Рис. 2.16. 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.

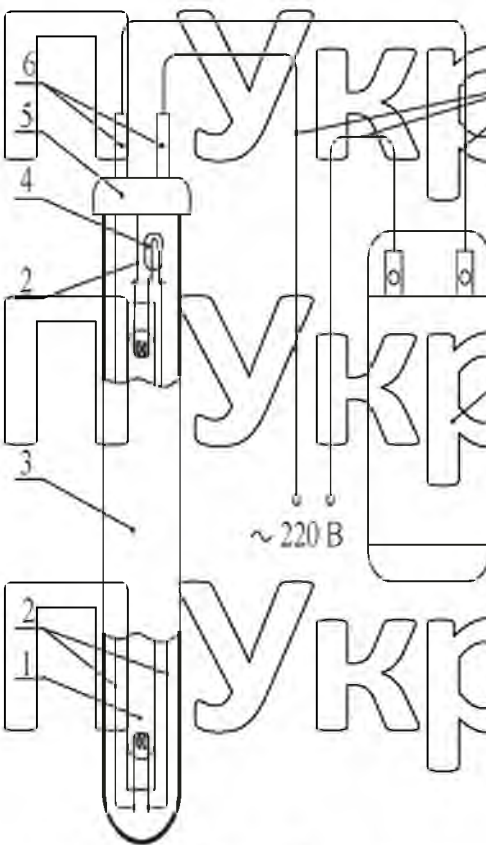


Рис. 2.17. Схема джерела – опромінювача з індуктивним пускорегулюючим апаратом і стартером: 1 – кварцова розрядна трубка; 2 – монтажні траверси; 3 – кварцовий чохол; 4 – стартер; 5 – цоколь; 6 – приєднувальні колодки; 7 –

з'єднувальні дроти; 8 – електромагнітний пускорегулюючий пристрій

Характеристики пускорегулювальних апаратів для розрядних джерел світла та схеми їх вмикання наведені в [34]. Конструкція бактерицидного електротехнічного пристрою [Ошибка! Закладка не определена.]

(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 пшів, поверхонь і рідин (без контакту з рідиною).

Запропонована конструкція бактерицидного електротехнічного пристрою представляє собою безкорпусний пристрій [Ошибка! Заставка не определена.] (рис. 2.22), який складається з газорозрядної трубки з кварцового скла 1, наповнену 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.

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

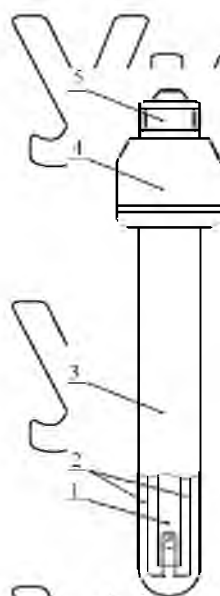


Рис. 2.22. Схема бактерицидного електротехнічного пристрою.

1 – розрядна трубка з увіолевого або кварцового скла; 2 – монтажні траверси;

3 – кварцовий чохол; 4 – баласт в пластмасовому корпусі; 5 – цоколь Е 27.

При приєднанні до електричної мережі бактерицидний електротехнічний пристрій не потребує використання додаткових спеціальних пристроїв, оскільки в приєданому 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 [Опшибка! Закладка не определена.] 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.

Висновки до розділу 2

1. Серед різних типів джерел УФ-випромінювання ртутні розрядні джерела світла отримали найбільш широке застосування. Розряд в парах ртуті має високу потужність, що дозволяє створити різні конструкції електротехнічних пристроїв з тиском 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 електротехнічного пристрою.

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

випромінення в УФ-діапазоні спектру 184,9 нм та 253,7 нм. При використанні електронних схем керування досягнуто збільшення строку служби джерел світла низького тиску в електротехнічних пристроях УФ-дії з 5-9 тис. годин до 16-18 тис. годин.

3. Амальгамні електротехнічні пристрої характеризуються малим вмістом ртуті, джерелом випромінювання яких є дуговий розряд в парах ртуті та інертних газів. За рахунок використання амальгам підтримується оптимальний постійний тиск парів ртуті при значно більших струмах, і відповідно потужностях, чим у традиційних електротехнічних пристроях низького тиску. Використання багатоконпонентних амальгамних електротехнічних пристроїв дозволяє отримувати джерела випромінювання з декількома максимумами потужності випромінювання за температурою.

Вибір амальгами здійснюється експериментальним шляхом, що не завжди є простою задачею для вирішення. Це і обмежує широке використання амальгамних джерел світла в різних сферах діяльності людства з метою бактерицидного знезараження.

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

5. На основі індукційного розряду трансформаторного типу створені ефективні та потужні джерела бактерицидного випромінювання. Їх характеристики по ККД і потужності УФ-випромінювання подібні електродним електротехнічним пристроям низького тиску. Строк служби таких виробів істотно вище, ніж у електротехнічних пристроїв низького тиску за рахунок відсутності електродних вузлів. Лімітуючим чинником фізичного ресурсу горіння системи джерела - ГРА в цьому випадку виступає не тільки потемніння стінки колби, а й вихід з ладу електронних компонентів

пускорегулюючих пристроїв. При живленні безелектродних електротехнічних пристроїв частотами вище 400 МГц відбуваються процеси руйнування внутрішньої стінки кварцу за рахунок взаємодії високочастотної плазми з кварцом при високих температурах, що призводить до погіршення запалювання електротехнічного пристрою і спаду інтенсивності УФ-випромінювання. ККД таких електротехнічних пристроїв може досягати 30%, проте широкого застосування не знайшли через необхідність формування розряду в замкнутому контурі і через складність пускорегулюючого апарату і великих габаритів випромінювача.

6. Світлодіоди, що випромінюють в УФ області мають 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). При потужності 0,3 мВт енергоспоживання складає (номінал) 150 мВт - ККД дорівнює 0,2%. Світлодіоди в УФ-області мають невеликі розміри, можливість монтажу великої кількості випромінювачів в плоских структурах, монохроматичність випромінювання, можлива передача випромінювання по оптоволоконному кабелю.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ І СХЕМИ

КЕРУВАННЯ

НУБІП України

3.1. 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 і т.п.

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

$$I = I_0 e^{-k_\lambda l} \quad (3.1)$$

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 провідній відстані l :

$$I = I_0 k^{\frac{l}{50}} \quad (3.2)$$

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 [Ошибка! Закладка не определена.]

Скористуємося загальноприйнятою розрахунковою моделлю, модель -

повного перемішування, яка дозволяє розрахувати середню дозу, що необхідна для інактивації мікроорганізмів [Ошибка! Закладка не определена].

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:

$$\langle H \rangle = \langle I \rangle \cdot \langle t \rangle \quad (3.3)$$

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

Середня інтенсивність обчислюється наступним чином:

$$\langle I \rangle = \frac{L}{V} \iint I(k, x, y) dx dy \quad (3.4)$$

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:

$$\langle t \rangle = \frac{V}{Q} \quad (3.5)$$

де Q - продуктивність установки. Таким чином, в моделі повного перемішування середня доза бактерицидного знезараження з врахуванням формул (3.4) і (3.5) визначається:

$$\langle H \rangle = \frac{v \cdot L}{Q} \iint I(k, x, y) dx dy \quad (3.6)$$

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

відносно 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 вирішення цього недоліку пропонуємо використати гідродинамічне моделювання або експериментальний метод, що дозволяє вимірювати функцію розподілу часу перебування, по якій можна судити про 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 опромінювання i -го відрізка n -го струменя визначається:

$$H_i^n = I_i(k) \cdot t_i \quad (3.7)$$

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:

$$H^n = \sum_i H_i^n \quad (538)$$

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:

$$N_n = N_0^n \cdot e^{-qH^n} \quad (3.9)$$

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 :

$$N = \sum_n N_i \quad (3.10)$$

а на вході установки:

$$N_0 = \sum_n N_0^n \quad (3.11)$$

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

$$H_{ef} = \frac{\ln N / N_0}{-q} \quad (3.12)$$

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 (формула 3.2) - коефіцієнт проникності k , спад якого враховано при розрахунках мінімальної

бактерицидної ефективності опромінення води (формула 3-6). На рис. 3.2 наведена схема вимірювання коефіцієнта проникності води.

Вода різного складу порізнemu поглинає УФ-випромінювання різних довжин хвиль [Ошибка! Закладка не определена.]. 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 в порівнянні з поглинанням на довжині хвилі 254 нм він зростає на порядок і більше (табл. 3.1). 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 чим випромінювання з довжинами хвиль більше 240 нм. Із-за сильного поглинання води вклад короткохвильового випромінювання 200-230 нм в процес знезараження малий, незважаючи на ріст поглинання короткохвильового

випромінювання молекулами ДНК, результати роботи [Ошибка! Закладка не определена.]. Тому знезараження у воді здійснюється в основному УФ-випромінюванням в діапазоні 240-280 нм з максимум в області 260 нм, що близько до довжини хвилі 254 нм ртутних кварцових ламп низького тиску, перевагу яким і надано в дисертаційній роботі.

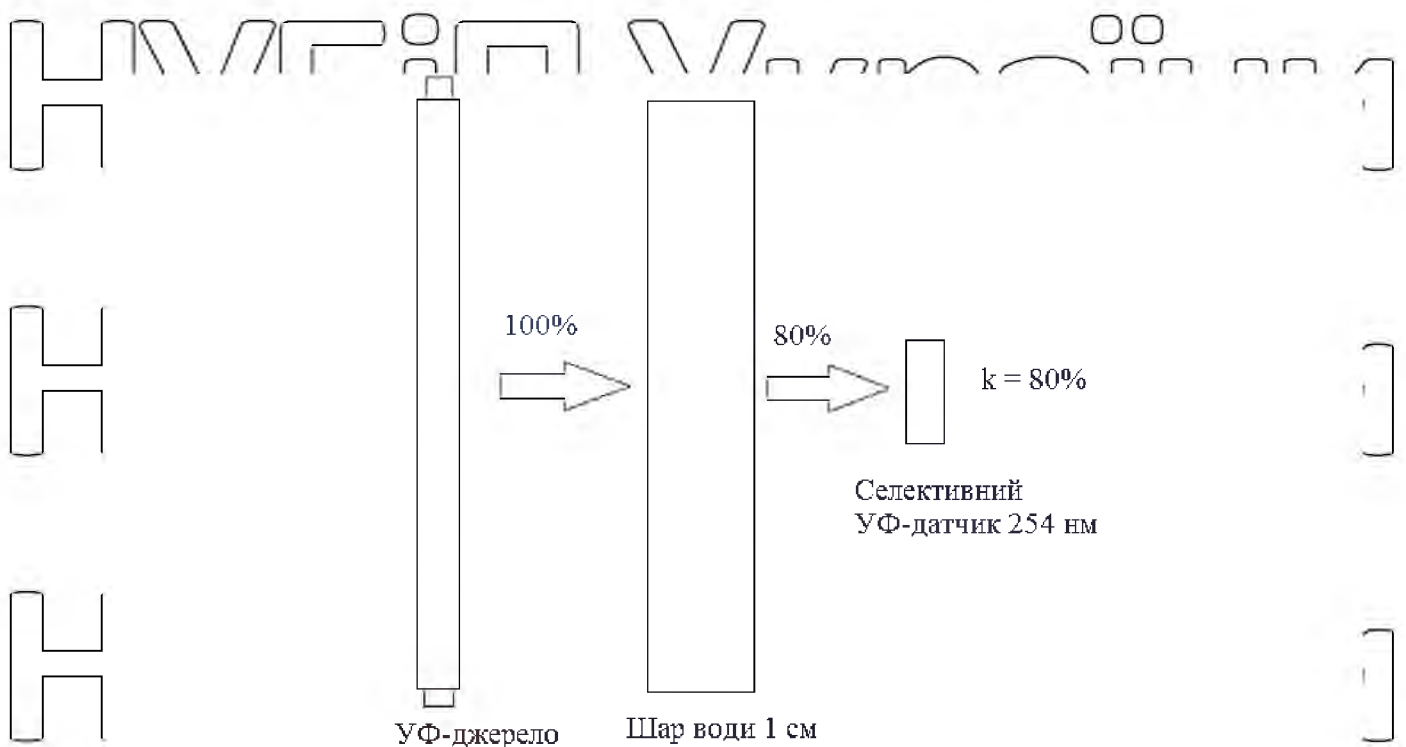


Рис. 3.2. Схема вимірювання коефіцієнта проникності води селективним УФ-датчиком

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 потрібно враховувати при виборі електротехнічних систем УФ-дії.

Таблиця 3.1.

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

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

Так, на рис. 3.3 приведена експериментально отримана залежність коефіцієнту поглинання ультрафіолетового випромінювання α від наявності

у воді звислих частинок. Вимірювання проводилися в ультрафіолетовій області випромінювання С за допомогою радіометра «Тензор-31», згідно з методикою [11].

Коефіцієнт поглинання α характеризує долю ультрафіолетової енергії [11], яка була поглинута водою, при проходженні УФ-променів через шар води і розраховуємо за формулою:

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \frac{E}{E_0}, \quad (3.13)$$

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 .

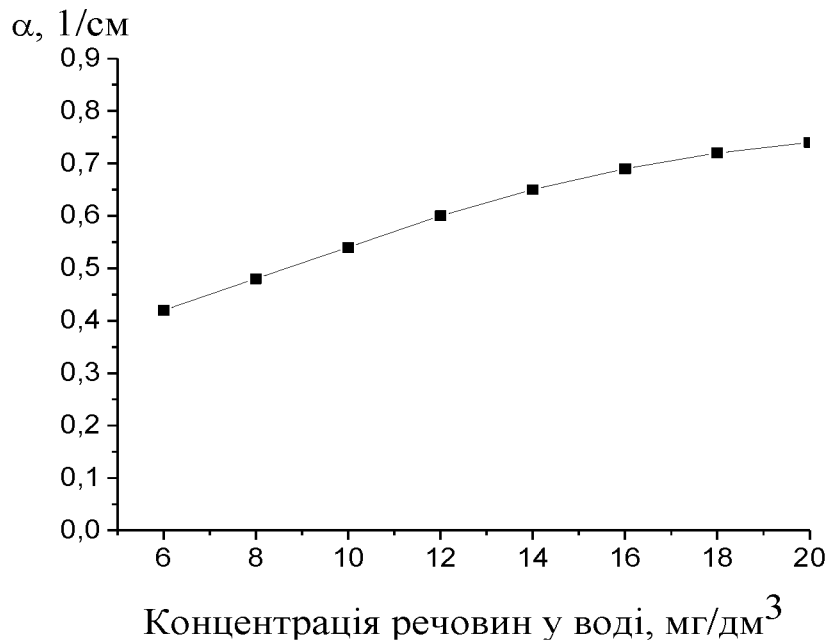


Рис. 3.3. Залежність коефіцієнту поглинання УФ-випромінювання α в залежності від наявності у воді звислих речовин.

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 світла (наприклад, ртутні лампи середнього тиску), тому що інші довжини хвиль, крім 254 нм, впливають на якість знезараження [Ошибка! Закладка не определена.].

На рис. 3.4 показані коефіцієнти пропускання УФ-випромінювання для різних типів води.

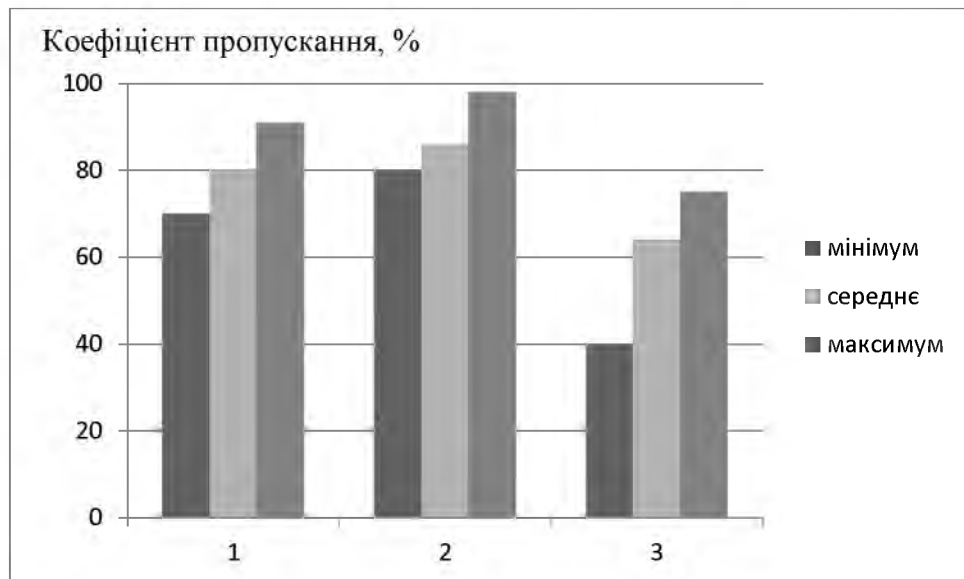


Рис. 3.4. Коефіцієнт пропускання для різних типів води на довжині хвилі 254 нм.: 1 – водопровідна вода; 2 – підземна вода; 3 – стоки води

На рис. 3.5 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-дозі викликане поглинанням водою потрібно завжди

враховувати при проектуванні установок. В [Ошибка! Закладка не определена.] 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 наші експериментальні вимірювання та дослідження, відповідає товщина шару води приблизно 35 мм. При таких показниках в достатньо повній мірі стає можливим ефективне 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.

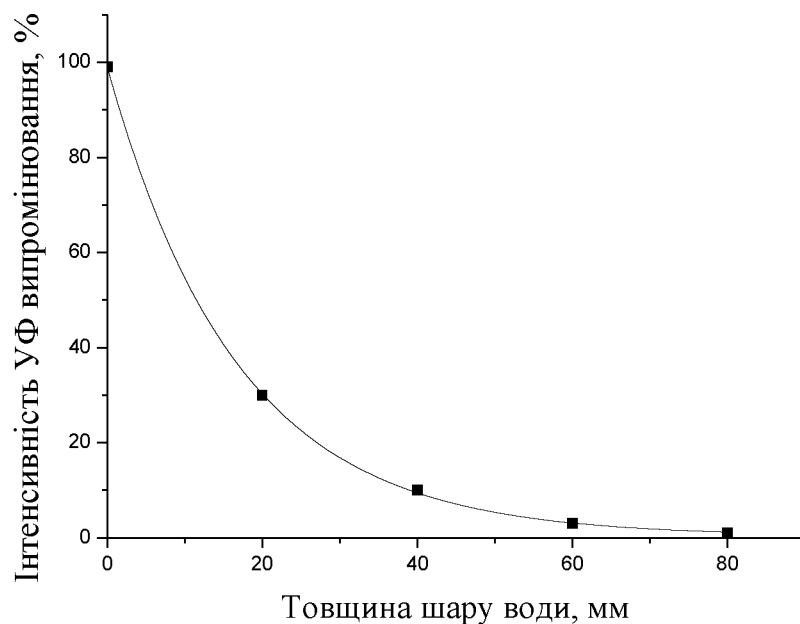


Рис. 3.5. Залежність УФ-випромінювання від товщини шару води

При розрахунках електротехнічних систем знезараження використовували значення мінімальної експозиції, що більш, ніж у 5 разів вище наведених нормативів [13], тобто $70-100 \text{ мДж}\cdot\text{см}^{-2}$. Енергетична

яскравість L_0 зовнішньої поверхні джерела радіусом R_1 визначали експериментально за допомогою УФ радіометра «Тензор-31» за методикою [Ошибка! Закладка не определена].

3.2. Розроблення системи бактерицидного знезараження води.

Запропонована електротехнічна система бактерицидного знезараження питної води (рис. 3.6) укомплектована електротехнічним пристроєм опромінювачем, яке пагубно діє на бактерії, віруси та інші мікроорганізми.

Розроблена 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).

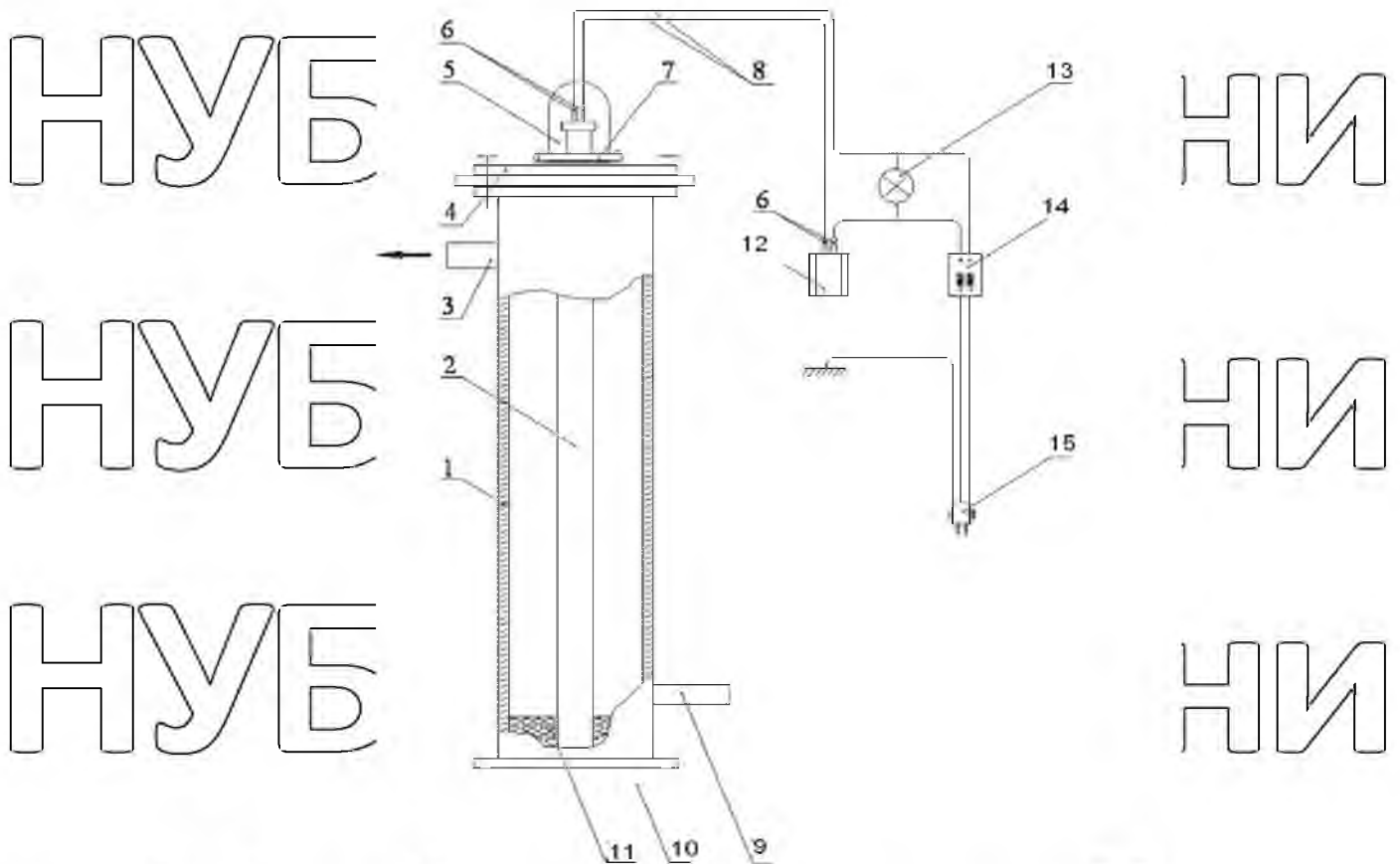


Рис. 3.6. Схема установки бактерицидного обеззараживания питьевой воды

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 – вилок 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 таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Вихідні дані для розрахунку та результати розрахунку електротехнічних систем знезараження води продуктивністю 1 та 3 м³

Назва параметру	Величина параметру
-----------------	--------------------

Доза опромінення, $\text{мДж}\cdot\text{см}^{-2}$, не менше	100
Енергетична яскравість зовнішньої поверхні на R , $\text{мВт}\cdot\text{см}^{-2}$	975
Радіус зовнішньої поверхні джерела R , мм	23,5
Радіус опромінювальної R_2 , мм	50
Довжина камери l , мм	400; 800
Продуктивність Q , $\text{м}^3\cdot\text{год}^{-1}$, не менше	1; 3

На рис. 3.7 представлені експериментальні зразки електротехнічних комплексів знезараження питної води продуктивністю 1 та 5 $\text{м}^3/\text{год}$.

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 $N_s \geq 100 \frac{\text{м}\cdot\text{Дж}}{\text{см}^2}$.



Рис. 3.7. Експериментальні електротехнічні системи знезараження питної води, продуктивністю: а) 1 м³/год.; б) 5 м³/год.

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

На рис. 3.8 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.

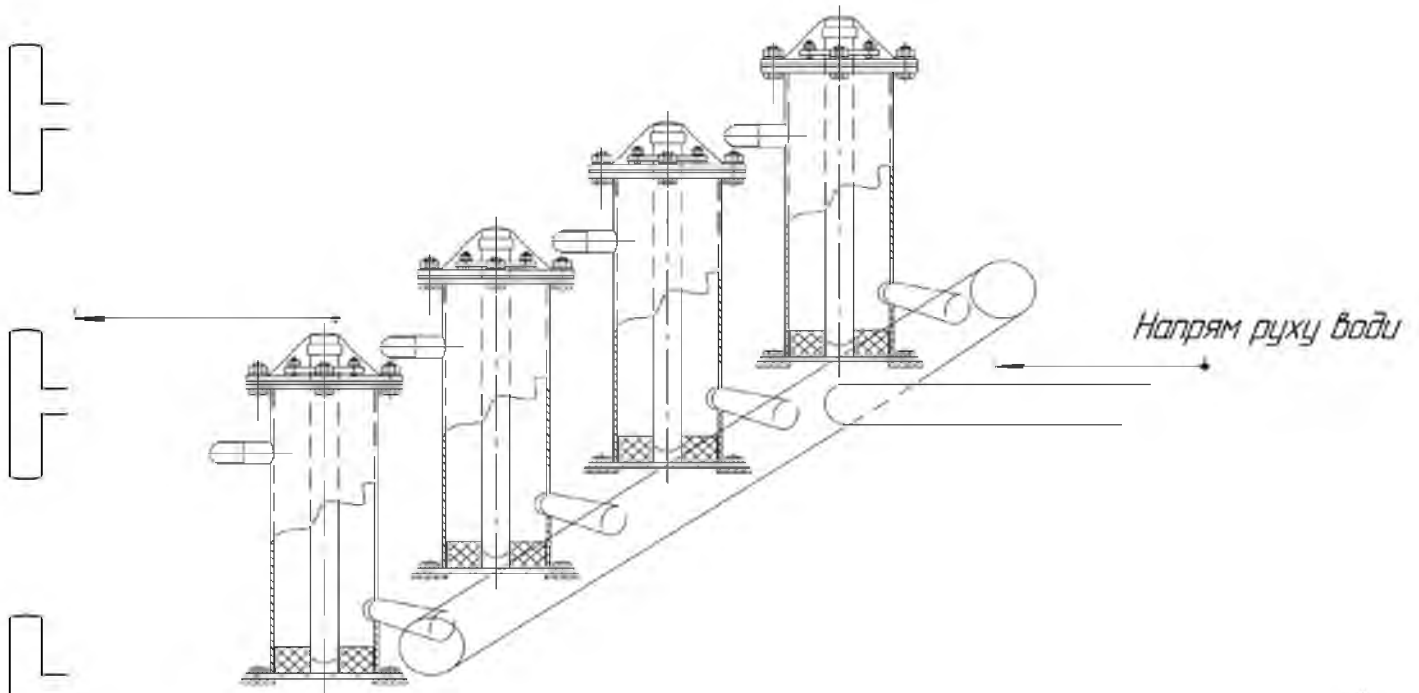


Рис. 3.8. Схема електротехнічної системи знезараження питної води, продуктивністю до 20 м³/год.

На рис. 3.9 представлений експериментальний зразок електротехнічного комплексу знезараження питної води продуктивністю до 20 м³/год.



Рис. .9. Експериментальний зразок електротехнічної системи знезараження питної води, продуктивністю до 20 м³/год.

Висновки до розділу 3.

Пропускна здатність розроблених електротехнічних систем складає від 0,2 до 20 м³/год. за годину. Реальна продуктивність знезараження залежить від концентрації та виду шкідливих мікроорганізмів, бажаного ступеню знезараження та швидкості пропускання води і може бути визначена дослідним шляхом за результатами мікробіологічного аналізу води.

ВИСНОВКИ

Аналіз існуючих технічних засобів очистки питної води показав доцільність і економічну ефективність бактерицидного знезараження питної води з застосуванням Ультрафіолетового випромінювання

2. 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.

3. 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 мінімальне необхідною вважається доза у 40 мДж/см².

4. 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.

5. Економічний ефект від впровадження установки становив – 96 грн/м² площі завдяки підвищенню урожайності огірка (13...15 %), строк окупності установки становив відповідно 1,2 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М.: Из-во «Иностран. лит.», 1952. – 574 с.

2. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный: Из-во Дом «Интеллект». – 2012. – 392 с.

3. Вассерман А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний / А. Л. Вассерман, М. С. Шандала, В. Г. Юзбашев.

М.: Медицина, 2003. – 2008 с.

4. Публікація CIE 17.4-1987 international lighting (ILV) – Joint publication IEC/CIE, Geneva, 1987 міжнародний словник світлотехнічних термінів –

Сумісне видання МЕК/МКО, Женева, 1987.

5. Chervinsky LS. Primary mechanism of action of optical radiation on living organisms. Int Journal Biosen Bioelectron. 2018; 4(4): 204.

6. 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.

7. 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.

8. Gray, N. F. [Ultraviolet Disinfection](#) // N. F. Gray // Microbiology of Waterborne Diseases (Second Edition). - 2014. – P. 617-630.

9. 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.

10. Вассерман, А. Л. Ультрафиолетовые бактерицидные установки для обеззараживания воздушной среды помещений / А. Л. Вассерман. – М.: Изд-во дом света, 1999. – Вып. 8(20).

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

12. Василяк Л. М. Применение импульсных электроразрядных ламп для бактерицидной обработки / Л. М. Василяк // Электронная обработка материалов. – 2009. – № 1. – С. 30 – 40.

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

14. 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.

15. Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. Пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. – М.: И-во "Иностран. лит.", 1952. – 574 с.

16. Система оценки и контроля качества деятельности центров Госсанэпиднадзора и структурных подразделений центров: МУ 5.1.661-97: Методические указания. – Минздрав России, утверждены 20 февраля 1997 г.

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

18. Методические указания по применению бактерицидных ламп для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях. – № 11-16/03-06, утверждены Минздравмедпромом 28.02.95.

19. Семенов А. А. Семенова И. В. Ультрафиолетовое излучение и бактерицидные облучатели для обеззараживания воды. Инновационные технологии в производстве, науке и образовании: II Международная научно-практическая конференция, г. Грозный, 19–21 октября 2012 года: тезисы доклада. Т. 2. С. 313–318.

20. Устройство для получения озона. пат. 2080285 Рос. Федерация: МПК С 01 В 13/11. Викторов А. И., Марунчак Н. М.; заявитель и патентообладатель Производственно-коммерческая и внедренческая компания «Альфа-Омега». – № 93038125/25 ; заявл. 26.07.1993; опубл. 27.05.1997

21. 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 Control 2013. V. 41 (6) – p. 36. June 2013 Volume 41, Issue 6, Supplement, Page S36

22. Пат. 80079 Україна, МПК С02F 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; заявки. 06.12.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.

23. Семенов А. А. Ультрафиолетовое излучение и бактерицидные облучатели для обеззараживания воды / А. А. Семенов, Н. В. Семенова // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве, науке и образовании» (19-21 октября 2012г.). – Грозный. – Том 2. - С. 313-318.

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

25. Червінський Л.С. Еволюція машин з переробки зерна на корм в Україні/ Сторожук Л.О./ Монографія. Київ. Тов. «ЦМ КОМПРИНТ», 2015.- 219 с.

26. Червінський Л.С. Регульований електропривод / І.М. Голодний, Лаврінченко Ю.М., Червінський Л.С. і др./ Підручник. Київ. Тов. «ЦМ КОМПРИНТ», 2015.- 509 с.

27. 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.:

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

29. Червінський Л.С. Моделювання регульованого електропривода/ Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В. і др./ Підручник: –К. ФОП Ямчинський О.В., 2019 –266 с.

НУВБІП УКРАЇНИ