

основі екстракту із вичавок журавлини, а також перевірити отримані результати в виробничих умовах.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Боряев В. Е. Товароведение дикорастущих плодов, ягод и лекарственно-технического сырья : учебник / В. Е. Боряев. – М. : [б. и.], 1991. – 368 с.
2. Методи контролю харчових виробництв : методичні рекомендації / Н. В. Будник, Г. М. Рибак, Н. І. Ткач та ін. – Полтава : РИО ПУСКУ, 2003. – 138 с.
3. Круглякова Г. В. Заготовки, хранение и переработка дикорастущих ягод и грибов / Г. В. Круглякова. – М. : [б. и.], 1990. – 158 с.
4. Парфенов Т. В. Пути рационального использования плодово-ягодного сырья / Т. В. Парфенов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2000. – № 11. – 34 с.
5. Тележенко Л. Н. Биологически активные вещества фруктов и овощей: сохранение при переработке / Л. Н. Тележенко, А. Т. Безусов. – О. : Оптимум, 2004. – 265 с.
6. Шапиро Д. К. Дикорастущие плоды и ягоды / Д. К. Шапиро, В. А. Михайловская, Н. И. Манциводо. – Минск : Ураджай, 1981. – 159 с.
7. Фруктовые и овощные соки: Научные основы и технологии / под ред. У. Шобингера. – С.Пб. : Профессия, 2004. – 639 с.
8. Новые технологии биологически активных растительных добавок и их использование в продуктах иммуномодулирующего и радиозащитного действия : монография / Черевко А. И., Павлюк Р. Ю., Погарская В. В., Яницкий В. В. и др. – Х. ; К. : [б. и.], 2002. – 205 с.
9. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С : ГОСТ 24556-89. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 16 с.
10. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности : ГОСТ 25550-82. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 15 с.

УДК 621.327

## УСТАНОВКА БАКТЕРИЦИДНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИМ ВИПРОМІНЕННЯМ

В. І. Ткаченко; Л. В. Берлінова; М. С. Яременко

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання сьогодні широко використовується в установках підготовки питної води та знезараження стічних вод. Суттєвим моментом у сучасному підході до УФ знезараження води є переважне впровадження УФ-опромінювачів на підприємствах постачання води споживачам по трубопроводних системах. Споживачі такої води не гарантовані від попадання в неї (під час збору та транспортування до споживача) патогенних мікроорганізмів, що спричинено незадовільним станом існуючих водопровідних систем. Значна частина населення країни (переважно сільського) використовує для

різних побутових потреб воду із природних водоймищ, яка зовсім не захищена від зараження. Вода часто стає джерелом і розповсюджувачем хвороботворних мікроорганізмів. Тому знезараження води має проводитись не тільки в процесі водопідготовки (на підприємствах водозабезпечення), але й – безпосередньо у споживачів – у медичних і дитячих навчальних закладах, на підприємствах харчової промисловості, в санаторіях, кафе, ресторанах та інших об'єктах, де через заражену воду можуть інфікуватися люди. Одним із способів вирішення бактерицидної безпеки населення, на наш погляд, є широке впровадження УФ-

опромінювачів для знезараження води безпосередньо перед її вживанням і використанням.

За останні два десятиріччя технологія знезараження води УФ випромінюванням набула популярності в багатьох країнах світу. Досвід використання подібних установок у Німеччині, Великобританії, Австрії, Росії та інших країнах показав позитивні сторони променевих технологій: не утворюються побічні небажані речовини та не змінюються хімічний склад корисних (мінеральних та інших) домішок і не змінюються органолептичні властивості води; спосіб і процес відрізняються надійністю, простотою, низькою енергоємністю та собівартістю. Установки компактні, не займають великих площ, прості у використанні та обслуговуванні.

Метою статті є розрахунок конструкції установки бактерицидного знезараження води продуктивністю 2 м<sup>3</sup>/год для інактивації мікроорганізмів (кишкової дизентерійної та сибногнійної палички) з імовірністю не менше 0,9.

Основною вихідною споживчою характеристикою установок бактерицидного знезараження питної води (далі просто «установок») є її продуктивність  $Q$ , (в м<sup>3</sup>/год), яка визначається формулою:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм опромінюваної води в установці;  
 $t$  – час опромінювання.

Продуктивність установок у комплексах централізованого водопостачання та водовідведення з використанням потужних джерел УФ випромінювання може сягати кількохсот і навіть тисяч кубічних метрів за годину. В цій статті розглядаються малопотужні установки, призначені для знезараження використовуваної води та напоїв, що виробляються на підприємствах харчової промисловості, також установки, що використовуються в місцях постійного або регулярного перебування людей, а саме в дитячих закладах, лікувальних стаціонарах, навчальних і санаторно-курортних закладах, на виробничих підприємствах, в офісних установах, у військових частинах,

у місцях позбавлення волі тощо, для власного доочищення питної води з профілактичною метою.

Кожна така установка складається з ртутної бактерицидної розрядної лампи в чохлі з кварцового скла, прозорого для ультрафіолетового випромінювання, розташованої на осі циліндричної камери знезараження, що має відповідні геометричні розміри і кріпиться до металевого каркасу (рис.). До складу установки також вводять електричне коло живлення лампи та пульт управління.

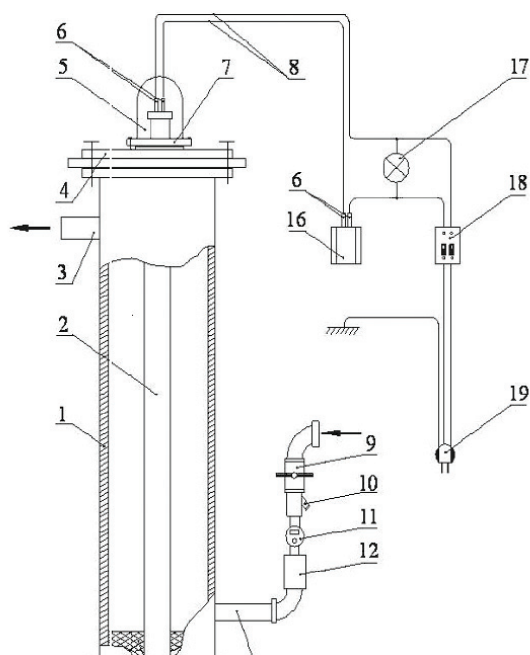


Рис. Схема установки бактерицидного знезараження питної води УБЗВ-60:

- 1 – камера; 2 – лампа; 3 – верхній патрубок;
- 4 – верхній фланець з отвором для лампи;
- 5 – ковпак; 6 – колодки; 7 – фланець з кільцевим ущільнювачем; 8 – дрогою; 9 – вентиль;
- 10 – фільтр; 11 – лічильник; 12 – зворотній клапан; 13 – нижній патрубок;
- 14 – нижній суцільний фланець; 15 – гумовий упор; 16 – електромагнітний баласт;
- 17 – індикаторна лампа; 18 – автоматичний вимикач; 19 – вилка з дротом заземлення

Головним функціональним параметром є бактерицидна експозиція або бактерицидна доза ( $H_{ок}$ ), яка визначається добутком бактерицидної опроміненості на проміжок часу опромінення. Одиниця вимірювань – Дж · м<sup>-2</sup>. Інші функціональні параметри: бактерицидна

опроміненість  $E_{\text{ок}}$  вимірюється бактерицидним потоком, що падає на одиницю поверхні опромінюваного об'єкта. Одиниця вимірювань –  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ; бактерицидний потік  $\Phi_{\text{ок}}$  – потік УФ випромінення в діапазоні довжин хвиль  $\lambda$  від 205 до 315 нм, з максимум ефективності за довжини хвилі  $\lambda = 260$  нм. Одиниця вимірювань –  $\text{Вт}$ .

Мінімальне значення бактерицидної дози  $N_{\text{ок}}$  на внутрішній стінці камери установки визначається з тих міркувань, що незаражена вода має відповідати санітарно-нормативним документам за мікробіологічними показниками щодо вмісту шкідливих мікроорганізмів в одиниці об'єму води. Основним критерієм цього є бактерицидний (мікробіологічний) показник питної води, який визначається кількістю бактерій групи кишкових паличок (*eschericheacoli*) на  $1 \text{ дм}^3$  води – так званий «колі-індекс».

Згідно з вимогами ГОСТ 2874 [1] і ДСПіН України [2], цей показник не повинен перебільшувати числа 3.

Ефективність  $I_{\text{ок}}$  (тобто інактивація – заподіяння загибелі бактерій) визначається відсотковим відношенням кількості  $N_{\text{о}}$ , тобто

$$I_{\text{ок}} = \frac{N}{N_0} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Залежність бактерицидної ефективності  $I_{\text{ок}}$  від виду мікроорганізмів, які інактивуються,

виражається у відсотках за формулою закону Вебера – Фехнера:

$$I_{\text{ок}} = a \cdot \ln N_{\text{ок}} + b, \quad (3)$$

де  $a$  і  $b$  – сталі значення яких стосовно бактерій різних видів визначено дослідним способом і занесено до таблиць (наприклад, в [3]).

Формулу (3) можна представити у вигляді:

$$N_{\text{ок}} = \exp \frac{I_{\text{ок}} - b}{a}. \quad (4)$$

Що дозволяє визначити (в  $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) необхідні значення дози для інактивації бактерій певного виду за потрібних рівнів бактерицидної ефективності.

Зазвичай встановлюються такі значення бактерицидних ефективностей: 90; 99; 99,9; 99,99 і так далі, залежно від ступеня зараженості води.

Оскільки різні бактерії мають різні стійкості до УФ випромінення їм відповідають різні значення сталих  $a$  і  $b$ , приклади надаються в табл. 1.

В табл. 2 надаються значення в ( $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) стосовно вказаних у табл. 1 значень сталих  $a$  і  $b$  відповідно за значення ефективностей інактивації 90,99 та 99,9 %.

Таблиця 1

### Рівень стійкості мікроорганізмів до УФ випромінення

Найменування мікроорганізмів	$a$	$b$
Кишкова паличка ( <i>escherichea coli</i> )	12,6	47,2
Віруси грипу ( <i>orthomyxoviridae</i> )	16,3	31,5
Дизентерійна паличка ( <i>shigella dysenteriac</i> )	10,3	62,0
Синьогнійна паличка ( <i>pseudomonas aeruginosa</i> )	15,3	28,6

Таблиця 2

### Ефективність інактивації

$a$	$b$	Доза ( $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ ) ефективності, %		
		90 %	99 %	99,9 %
12,6	47,2	30	60	66
16,3	31,5	37	63	66
16,3	62,0	15	36	40
15,3	28,6	55	100	105

Згідно з визначенням бактерицидної дози  $H_{\text{бк}}$  можна записати формулу для мінімального значення проміжку часу  $t_{\text{min}}$  (в годинах), необхідного для утворення бактерицидної (поверхневої) дози  $H_{\text{бк}}$  на внутрішній поверхні стінки камери (коли вода в ній є нерухомою):

$$t_{\text{min}} = \frac{H_{\text{бк}}}{E_{\text{бк}} \cdot 3600}, \quad (5)$$

де  $E_{\text{бк}}$  – опроміненість, яка має утворюватись лампою на внутрішній поверхні стінки камери.

Перш ніж потрапити на внутрішню поверхню камери, бактерицидний потік має пройти крізь шар води і ослаблюється завдяки двом чинникам:

1. Згідно з першим законом опроміненості вона є обернено пропорційною квадрату відстані  $R$  від джерела, тобто

$$A \sim \frac{1}{R^2} \quad \text{або} \quad E_{\text{бк}} = \frac{E_{\text{бк},0} \cdot R_0^2}{R^2}, \quad (6)$$

де  $E_{\text{бк},0}$  – опроміненість на виході з кварцового чохла;

$R_0$  та  $R$  – відповідно зовнішній діаметр кварцового чохла і внутрішній діаметр камери.

2. Згідно з законом Бугера – Ламберта променевий потік (а пропорційно йому і опроміненість) під час проходження крізь шар води товщиною  $\chi$  змінюється за формулою

$$\Phi(\chi) = \Phi_0 e^{-k\chi}, \quad (7)$$

де  $k$  – показник ослаблення променевого потоку;

$$\chi = R - R_0.$$

Показник  $k$  формально показує, яка частка  $\Delta\Phi$  початкового бактерицидного потоку втрачається під час проходження крізь товщину шару води. Але оскільки поглинання зменшується разом зі зменшенням інтенсивності потоку, для розрахунків береться значення показника  $k_1$  послаблення бактерицидного потоку шаром води товщиною 1 см.

Реальні значення коефіцієнта  $k_1$  коливаються в межах:

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

Значення показника  $k_1$  мають визначатись у лабораторних умовах, у кожному конкретному випадку.

Відправним у розрахунках є значення опроміненості  $E_0$  на поверхні шару води з боку лампи (тобто на виході з чохла лампи), яке визначається за формулою:

$$E_0 = \tau_k E_{\text{л}} = \frac{\tau_k \cdot \Phi_0}{S_{\text{л}}} = \frac{\tau_k \cdot \Phi_0}{\pi \cdot d_{\text{л}} \cdot b}, \quad (8)$$

де  $\tau_k$  – коефіцієнт пропускання випромінювання стінкою кварцового чохла;

$E_{\text{л}}$  – опроміненість на виході з лампи, Вт · м<sup>-2</sup>;

$\Phi_0$  – бактерицидний потік лампи на початку її строку служби;

$S_{\text{л}}$  – площа активної (випромінюючої) поверхні лампи, м<sup>2</sup>;

$d_{\text{л}}$  і  $b$  – відповідно діаметр лампи та довжина її активної частини.

Враховуючи, що під час горіння лампи відбувається природний спад її променевого потоку, тому строком служби вважається не загальна тривалість її фізичного горіння, а проміжок часу, протягом якого потік спадає настільки (до 60 % від його початкового значення), що далі лампу використовувати неможливо або недоцільно. Тому у формулу (8)

уводиться коефіцієнт  $k_{\text{ф}} = \frac{\Phi}{\Phi_0}$  запасу бактерицидного потоку, де  $\Phi$  – значення потоку на кінець строку служби лампи. Тож формула (8)

набуває вигляду:

$$E_0 = \frac{k_{\text{ф}} \cdot \tau_k \cdot \Phi_0}{\pi \cdot d_{\text{л}} \cdot b}. \quad (9)$$

Установки одного з типів, які виготовляють в науково-технічному центрі ПУЕТ, має такі значення вихідних параметрів:

- електрична потужність споживана лампою:  $P_{л} = 60$  Вт;
  - початкове значення бактерицидного потоку лампи:  $\Phi_0 = 12$  Вт;
  - зовнішній діаметр лампи:  $d_0 = 16 \cdot 10^{-3}$  м;
  - зовнішній радіус чохла:  $R_0 = 11 \cdot 10^{-3}$  м;
  - внутрішній діаметр камери:  $R = 50 \cdot 10^{-3}$  м;
  - активна довжина лампи:  $v = 0,77$  м;
  - коефіцієнт пропускання кварцового чохла  $\tau_k = 0,9$ ;
  - коефіцієнт запасу бактерицидного потоку  $k_{\phi} = 0,66$ .
- За допомогою формули (9) знаходимо:

$$E_{\text{бк}} = \frac{0,66 \cdot 0,9 \cdot 12}{3,14 \cdot 16 \cdot 10^{-3}} = 184 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}. \quad (10)$$

Значення об'єму (V) опромінюваної води у формулі (1) знайдемо за допомогою формули (11):

$$\begin{aligned} V &= \pi \cdot v \cdot (R^2 - R_0^2) = 3,14 \cdot 0,77 (50^2 - 11^2) \cdot 10^{-6} = \\ &= 2,42 \cdot 2379 \cdot 10^{-6} = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (11) \end{aligned}$$

Оскільки на вході установки маємо воду з централізованої системи постачання, тобто вона має бути достатньо прозорою (відповідати [1] за вмістом домішок і виважених колоїдних частинок) візьмемо у формулі (9)  $k = 0,1 \text{ см}^{-1}$ , при цьому  $\chi = R - R_0$  (значення R і  $R_0$  мають бути в сантиметрах, а в дробній частині формули – в метрах).

Отже, маємо:

$$\begin{aligned} E_{\text{бк}} &= \frac{E_{\text{бк},0} \cdot R_0^2}{R^2} \cdot e^{-k(R-R_0)} = \\ &= \frac{184 \cdot 121}{2500} \cdot e^{-0,1 \cdot 3,9} = 8,9 \cdot e^{-3,9}. \end{aligned}$$

За таблицею значень функції  $y = e^{-x}$  знаходимо  $e^{-3,9} = 0,677$ , отже, маємо:

$$E_{\text{бк}} \approx 6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}. \quad (12)$$

Оскільки знову ж таки маємо на в ході воду з системи постачання, візьмемо найменше значення  $I_{\text{бк}} = 90$  %, але поставило задачу захиститися від найстійкішої (згідно з табл. 1 та 2) – синьогнійної палички, за табл. 2, знаходимо

$$H_{\text{бк}} = 55 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}. \quad (13)$$

Із виразу (5), користуючись значеннями (12) та (13), знаходимо

$$T_{\text{min}} = \frac{55}{6 \cdot 3600} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ год}. \quad (14)$$

Користуючись формулою (1) і значеннями (11) та (14), остаточно знайдемо

$$Q = \frac{5,76 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} \approx 2,5 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1}.$$

Отже, продуктивність установки з лампою потужність 60 Вт за визначених вище умов становить близько  $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Отже, підіб'ємо підсумки:

1. Розроблена установка бактерицидного знезараження води продуктивністю  $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , яка забезпечує інактивацію синьогнійної палички з ефективністю не менше 90 %.

2. Установка може використовуватись на підприємствах харчової промисловості, дитячих, навчальних, медичних та інших закладах для доочищення питної води з профілактичною метою.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством : ГОСТ 2874–82. – М., 1982. – 37 с.
2. Вода питна, гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-митного водопостачання : Державні санітарні правила і норми, затв. Наказом Міністра охорони здоров'я України від 23.12.1996 р. № 383. – К., 1997. – 28 с.
3. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды : Федеральные санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы. Методические указания МУ 2.1.4.719-98. – М., 1998. – 24 с.