



УДК 631.371: 621.31

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОСНОЇ ОПРОМІНЕНОСТІ ПЛОСКИХ ПРОШАРКІВ РІДКОГО СЕРЕДОВИЩА В УСТАНОВКАХ ДВОСТОРОННЬОГО ОПРОМІНЕННЯ

Червінський Л. С., д.т.н.

Книжка Т. С., к.т.н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Тел.: (044) 527-85-22

**Анотація** - проведено аналіз відносної опроміненості плоских прошарків середовища для технологічної схеми двостороннього опромінення, що дозволить підвищити енергетичну ефективність опромінення рідких середовищ.

**Ключові слова:** опромінювальна установка, ультрафіолетове випромінювання, двостороннє опромінення.

*Постановка проблеми.* У водопостачальних системах актуальною проблемою є бактерицидне знезараження води, зокрема, ультрафіолетовим випромінюванням. Для створення енергозберігаючої технології опромінення рідких середовищ ультрафіолетовим потоком необхідно реалізувати в ній умову, за якої енергія випромінювання повністю б поглиналася об'ємом опромінюваного середовища. Тому доцільно провести аналіз відносної опроміненості плоских шарів середовища для технологічної схеми двостороннього опромінення, виходячи з дотримання принципу забезпечення рівномірності опромінення.

*Аналіз останніх досліджень.* Нерівномірність поглинання випромінювання при об'ємному опроміненні обумовлена експоненціальною залежністю зміни інтенсивності проникаючого в об'єм випромінювання від глибини проникнення. Для підвищення рівномірності об'ємного поглинання регулюють товщину шару, що опромінюється, або переріз каналу, де переміщається опромінювана рідина; виконують підбір геометрії системи випромінювачів [1]; використовують різні пристрої перемішування [2, 3].

Описані в [2, 3] підходи дозволяють на практиці забезпечити високу якість і рівномірність об'ємного опромінення середовища, однак



нехтують можливістю компенсувати ослаблення випромінювання в середовищі збільшенням його просторової щільності за рахунок переформування геометрії потоку випромінювання від джерела.

*Мета досліджень* – визначити залежність відносної опроміненості шарів рідкого середовища при різних коефіцієнтах поглинання для технологічної схеми двостороннього опромінення.

*Основний зміст статті.* У роботі застосовуються оптичні методи та закони геометричної оптики взаємодії енергії електромагнітного випромінювання з рідким середовищем.

Таку можливість обґрунтуємо за допомогою хвильового рівняння Гельмгольца, в якому показник переломлення прийнятий комплексним

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \omega \cdot (n_0 + i \cdot n_1)^2 \cdot u = 0, \quad (1)$$

де  $u(x, y, z, t)$  – функція, що описує амплітуду й фазу хвилі випромінювання;

$\omega$  – частота коливань;

$n$  – показник переломлення.

Уявна частина показника переломлення визначає ослаблення випромінювання в середовищі. Підстановка рішення цього рівняння у вигляді  $u = U \cdot e^{-i \cdot v \cdot \xi}$  дозволяє, використовуючи метод асимптотичних наближень, отримати звичайне диференціальне рівняння

$$2 \cdot n_0^2 \cdot \frac{dU}{d\xi} + n_0 \cdot \frac{U}{\Gamma} \cdot \frac{d}{d\xi} \left( \frac{\Gamma}{n_0} \right) = -2 \cdot n_1 \cdot \omega \cdot n_0, \quad (2)$$

де  $\xi$  – показник, що визначає розповсюдження і напрямок хвильового фронту;

$d/d\xi$  – похідна уздовж променя випромінювання;

$\Gamma$  – функціонал геометричного розходження пучка випромінювання.

Загальне рішення цього рівняння має вигляд

$$U = A \cdot \sqrt{\frac{1}{\Gamma \cdot n_0}} \cdot e^{-v \int_{M_0}^M n_1(\xi) \frac{d\xi}{n_0}}, \quad (3)$$

де  $A$  – стала величина;

$M_0, M$  – мірні точки на осі пучка випромінювання.

Враховуючи, що інтенсивність хвилі  $I \equiv U^2$ ,  $d\xi/n_0 = dl$  (де  $dl$  – елемент довжини шляху променя),  $a = 2\omega n_1$

$$I = (\Gamma \cdot n_0)^{-1} \cdot e^{-\int_0^M a(l) dl}, \quad (4)$$

Отриманий вираз враховує оптичні властивості середовища й геометрію пучка потоку випромінювання (рішення цього функціонального рівняння відносно  $l$  для постійних  $a$  й заданої функції  $\Gamma(l)$ , що задовольняють обмеженням на відхилення  $l$ ). Вираз дозволяє визначити загальні принципи компоновання технологічної схеми об'ємного опромінення: просторова щільність потоку у матеріалі повинна бути сформована так, щоб компенсувати його ослаблення за рахунок поглинання.

Проаналізуємо основні фотометричні властивості запропонованої технологічної схеми.

Технологічна схема двостороннього опромінення (рис. 1) – це дві площини, що випромінюють внутрішніми поверхнями одна на одну та мають прямокутний у перерізі шар рідини між ними.

Опромінення зовнішньої поверхні циліндра рідини  $E_0 = \Phi_0 / 2\pi r b$ .

Потік випромінювання, що падає на поверхню елементарного шару товщиною  $L_x$ , зменшується у порівнянні з  $\Phi_0$  за рахунок поглинання  $a$  в прошарку рідини товщиною  $L - L_x$  і складе (5).

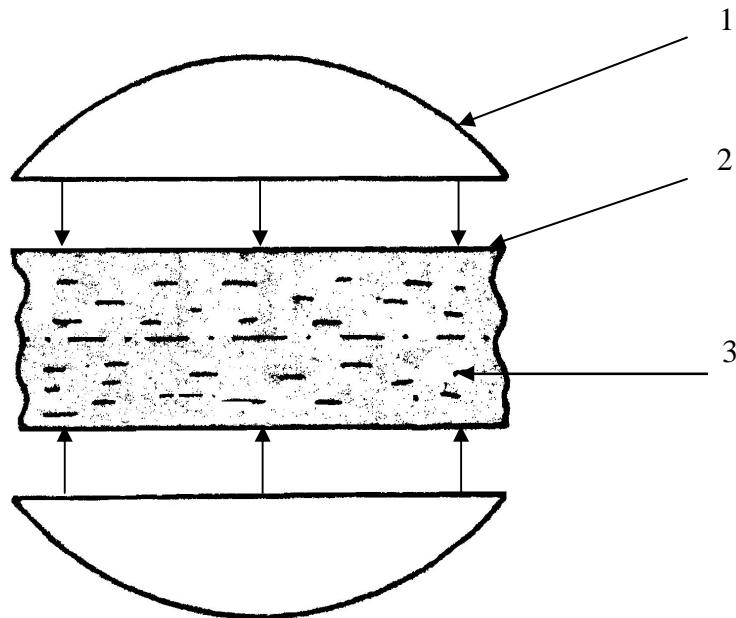


Рис. 1 Модель двостороннього опромінення: 1 – опромінювач; 2 – кварцова трубка з розчином; 3 – потік рідини

$$\Phi_x = \Phi_0 \cdot e^{-a \cdot (L - L_x)}. \quad (5)$$

Тому опроміненість визначається як

$$E_x = \frac{\Phi_0 \cdot e^{-a \cdot (L-L_x)}}{2 \cdot \pi \cdot L_x} \quad (6)$$

Взявши співвідношення двох граничних опроміненостей та увівши позначення  $k=L/L_x$  отримаємо

$$\frac{E_x}{E_0} = \frac{e^{-a \cdot L_x} + e^{-a \cdot (L-L_x)}}{1 + e^{-a \cdot L}}, \quad (7)$$

Проаналізуємо залежності співвідношення опроміненостей  $E_x/E_0$  від співвідношення  $L/L_x$ , щоб визначити найбільш ефективну глибину рівномірного опромінення розчину.

Розраховані залежності  $E_x/E_0=f(L_x)$  для семи значень  $a$  (0;  $1/2L$ ;  $1/L$ ;  $1/0,75L$ ;  $1/0,5L$ ;  $1/0,25L$ ;  $1/0,1L$ ) показані на рис. 2.

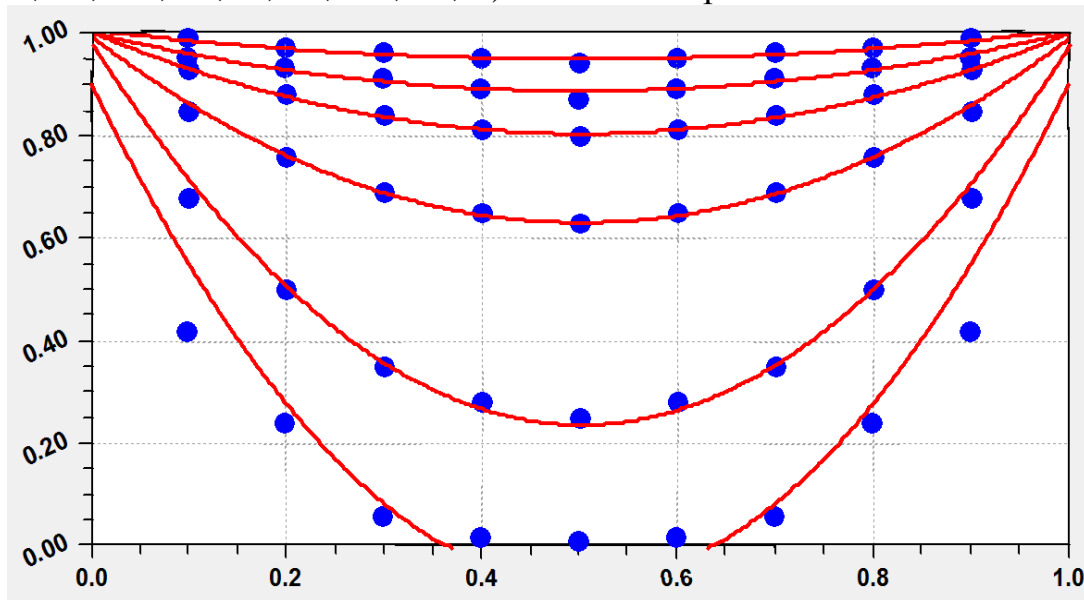


Рис. 2 Залежність відносної опроміненості плоских шарів середовища при різних коефіцієнтах поглинання

Встановлено, що зі збільшенням  $a$ , нерівномірність в опроміненостях між шарами росте. Наприклад, опромінюючи рідке середовище в розглянутій технологічній схемі з показником поглинання  $a$  не менш  $1/0,75L$ , для якої опроміненість шарів змінюється у порівняно невеликих межах (до 20 %), можна досягти досить рівномірної обробки середовища потоком ультрафіолетового випромінювання по глибині. Частка потоку, що пройшов через шар в  $L$ , при  $a = 1/0,75L$  має порядок 0,26 і зі зменшенням  $a$  зростає.

#### Висновки

Проведені дослідження показали, що опромінюючи рідке середовище у розглянутій технологічній схемі можна досягти досить рів-



номірної обробки середовища ультрафіолетовим потоком по глибині з показником поглинання  $a$  не менш  $1/0,75L$ .

### *Література*

1. Костюченко С. В. Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением / С. В. Костюченко, С. А. Васильев, С. В. Волков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – № 11. – С. 11–13.
2. Книжка Т. С. Фотометричні основи вдосконалення кільцевого опромінювача / Т. С. Книжка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2014. – Вип. 153. – С. 136–137.
3. Jarosz St. Optimierung der axialen Strahleranordnung in UV-Wasser-entkeimungsanlagen / St. Jarosz // Abwassertechnik. – 1994. – № 3 – С. 26–28.

## **ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ ПЛОСКИХ СЛОЕВ СРЕДЫ ДЛЯ УСТАНОВКИ ДВУХСТОРОННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ СРЕД**

Л. С. Червинский, Т. С. Книжка,

***Аннотация*** - проведен анализ относительной облученности плоских слоев среды для технологической схемы двустороннего облучения, что позволит повысить энергетическую эффективность облучения жидких сред.

## **RELATIVE IRRADIANCE FLAT LAYERS OF A DOUBLE-SIDED INSTALLATION FOR EXPOSURE LIQUID MEDIA**

L. Chervinsky, T. Knizhka,

### **Summary**

**The analysis of the relative flat layers' exposure to environmental exposure of bilateral technological scheme that will improve the energy efficiency of liquid media exposure.**