

## ФОТОМЕТРИЧНІ ОСНОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ КІЛЬЦЕВОГО ОПРОМІНЮВАЧА

Книжка Т. С.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проведено фотометричний аналіз технологічних схем опромінення, що дозволить підвищити енергетичну ефективність опромінення рідких середовищ.

**Постановка проблеми.** 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. Доцільно провести фотометричний аналіз кільцевого опромінювача, виходячи з дотримання принципу забезпечення рівномірності опромінення.

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

**Мета статті.** Пропонується дослідити залежність відносної опроміненості циліндричних шарів середовища при різних коефіцієнтах поглинання для кільцевого опромінювача.

**Основні матеріали дослідження.** Описані в [2, 3] заходи дозволяють на практиці забезпечити високу якість і рівномірність об'ємного опромінення середовища, однак, можливістю компенсувати ослаблення випромінювання в середовищі є збільшення його просторової щільності за рахунок переформування геометрії пучка.

Таку можливість покажемо шляхом аналізу 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  $u = U \cdot e^{-i \cdot \nu \cdot \xi}$  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 напрямок хвильового фронту;

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

$\Gamma$  – геометричне розходження пучка випромінювання.

Загальне рішення цього рівняння має вигляд

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

де  $A$  – стала величина;

$M_0, M$  – точки на осі пучка.

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

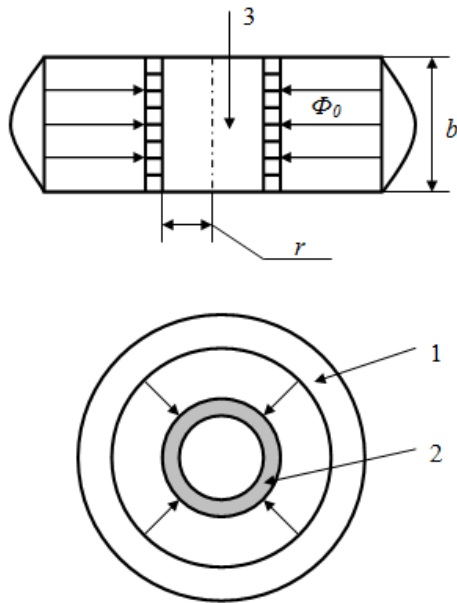
$$I = (\Gamma \cdot n_0)^{-1} \cdot e^{-\int_{M_0}^M a(l) dl}, \quad (4)$$

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

Проаналізуємо основні фотометричні властивості даних технологічних схем.

Кільцевий об'ємний опромінювач (рис. 1) направляє збіжний до центру потік випромінювання на об'єм опромінюваної рідини, що протікає у кварцовій трубці, круглий переріз якої показано на рисунку. Зовнішній радіус потоку рідини –  $r$ ; потік випромінювання –  $\Phi_0$ .

Для оцінки зміни опромінення всередині об'єму оброблюваного середовища, врахуємо величини поверхні елементарних циліндрів середовища з радіусом  $r_x (r_x < r)$  і висотою  $b$ . Опромінення зовнішньої поверхні циліндра рідини  $E_0 = \Phi_0 / 2\pi r b$ .



1 – кільцевий опромінювач;  
2 – кварцова трубка з розчином;  
3 – потік рідини

Рисунок 1 – Модель кільцевого об'ємного опромінювача

Потік випромінювання, що падає на поверхню елементарного циліндра з радіусом  $r_x$ , зменшується у порівнянні з  $\Phi_0$  за рахунок поглинання в шарі рідини товщиною  $r-r_x$  і складе

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

Тому опроміненість визначається як

$$E_x = \frac{\Phi_0 \cdot e^{-a(r-r_x)}}{2 \cdot \pi \cdot r_x \cdot b}. \quad (6)$$

Взявши співвідношення двох граничних опроміненостей та увівши позначення  $k=r/r_x$  отримаємо

$$\frac{E_x}{E_0} = k \cdot e^{-a \cdot r \left(1 - \frac{1}{k}\right)}. \quad (7)$$

Проаналізуємо залежності співвідношення опроміненостей  $E_x/E_0$  від співвідношення  $r/r_x$ , щоб визначити найбільш ефективну глибину (радіус трубки) рівномірного опромінення розчину.

Дані залежності приведені на рис. 2.

Розраховані залежності  $E_x/E_0=f(r_x)$  для семи значень  $a$  (0;  $1/2r$ ;  $1/r$ ;  $1/0,75r$ ;  $1/0,5r$ ;  $1/0,25r$ ;  $1/0,1r$ ) показані на рис. 2.5. Встановлено, що на глибині від  $r$  до  $0,3r$  опроміненість змінюється порівняно мало в межах  $0,74E_0 \dots 1,3E_0$ . Це дає підстави при відповідному підборі параметрів об'ємного опромінювача (величини  $r$ ) залежно від властивостей середовища (величина  $a$ ) очікувати рівномірність її обробки по глибині.

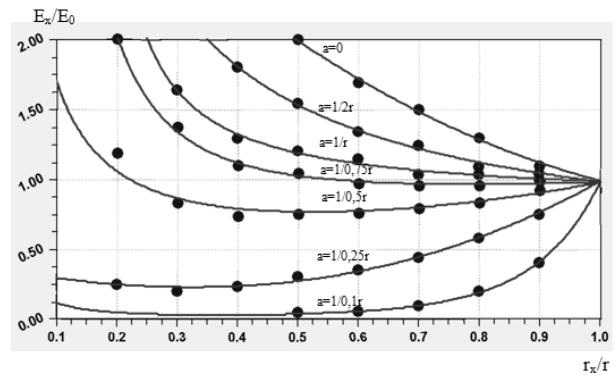


Рисунок 2 – Залежність відносної опроміненості циліндричних шарів середовища при різних коефіцієнтах поглинання

**Висновки.** Опромінюючи рідке середовище у розглянутій технологічній схемі з показником поглинання  $a$ , що лежить у діапазоні від  $1/0,5r$  до  $1/0,75r$ , або близьким до нього, можна досягти досить рівномірної обробки середовища ультрафіолетовим потоком по глибині.

#### Список використаних джерел

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. Савлук О. С. Изучение обеззараживания питьевой воды в макетной УФ-установке / О. С. Савлук, Н. Г. Потапченко, В. В. Ильяшенко // Химия и технология воды. – 1993. – Т. 15, № 12. – С. 797–803.
3. Jarosz St. Optimierung der axialen Strahlernordnung in UV-Wasser-entkeimungsanlagen / St. Jarosz // Abwassertechnik. – 1994. – № 3 – С. 26–28.

#### Аннотация

### ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОЛЬЦЕВОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

Книжка Т. С.

*Проведен фотометрический анализ технологических схем облучения, что позволит повысить энергетическую эффективность облучения жидких сред.*

#### Abstract

### PHOTOMETRIC BASIS OF PERFECTION RING IRRADIATOR

T. Knizhka

*Conducted a photometric analysis of technological schemes of irradiation, which will improve the energy efficiency of the irradiation of liquid media.*