

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ  
ОПТИЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ**

Книжка Т. С.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*У статті приведено один із способів повноти поглинання потоку оптичного випромінювання середовищем, що опромінюється. Обґрунтовані технологічні схеми опромінення живильного розчину в гідропонних теплицях.*

**Постановка проблеми.** Відомо, що при опроміненні рідкого середовища, зокрема живильного розчину в гідропонних теплицях, існує проблема повноти поглинання потоку оптичного випромінювання середовищем, що опромінюється.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання енергоефективності виробництва продукції рослинництва в установках захищеного ґрунту є актуальним, особливо в останні роки. Причому інтенсифікація виробництва вимагає активного застосування оптичних технологій для покращення якісних характеристик живильного розчину в гідропонних установках. Дослідження показують, що в даній технологічній операції втрати можуть досягати 70% [1,2].

Вирішення проблеми ефективності використання потоку випромінювання дасть змогу ефективніше експлуатувати опромінювальні установки.

**Мета статті.** Теоретичне обґрунтування вибору технологічної схеми опромінення живильного розчину з мінімальними втратами потоку випромінювання.

**Основні матеріали досліджень.** Вимоги до технологічної схеми, які знімають протиріччя між рівномірністю опромінення й втратами енергії, зводяться до локалізації електромагнітної енергії випромінювання у вигляді потоку із плоским хвильовим фронтом і напрямку руху опромінюваного середовища у просторі локалізації електромагнітної енергії перпендикулярно хвильовому фронту опромінюваного потоку [3,4].

В дослідженнях проаналізовано схему опромінення, в яких розчин не перемішується, піднімається нагору, назустріч потоку випромінювання (а), і, навпаки, опускається від джерела випромінювання (б) (рис. 1).

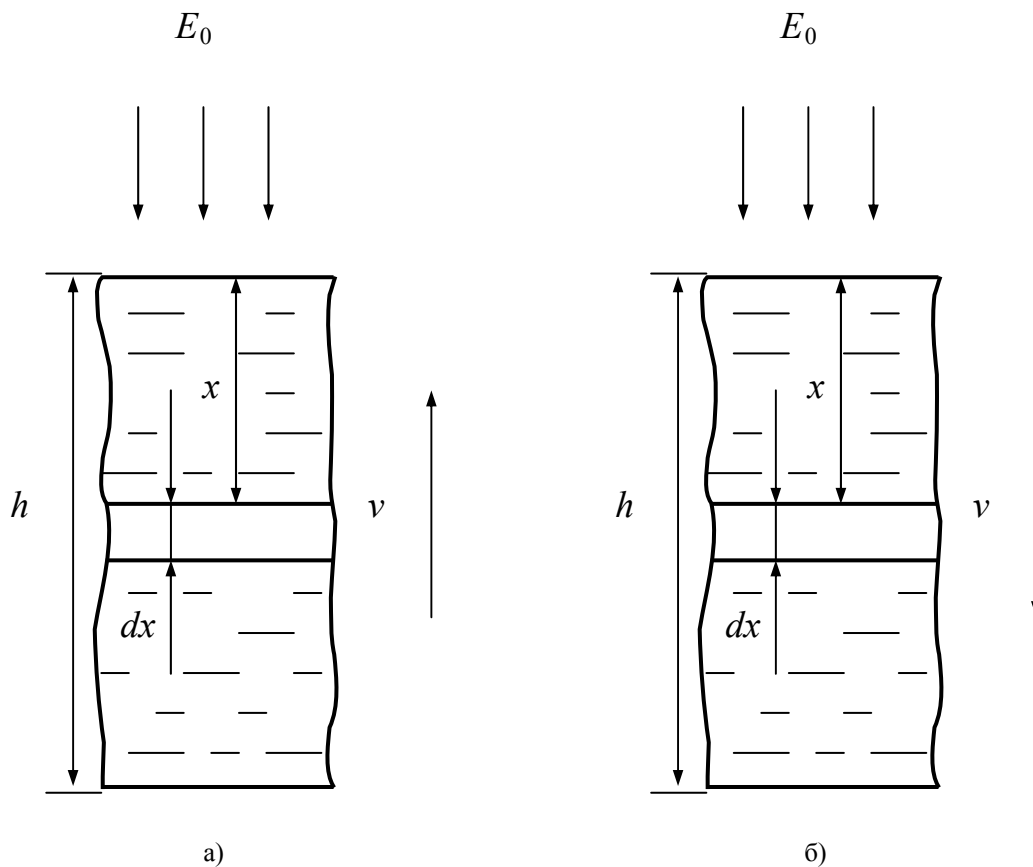


Рисунок 1 – Структурні схеми опромінення рідини: розчин рухається: а) назустріч потоку випромінювання; б) в одному з ним напрямку

При русі шарів середовища назустріч опромінюваному потоку (нагору) частота видалення верхнього шару  $x$  із зони опромінення буде визначатися виразом:

$$f = \frac{\Phi_0}{Q_n} \quad (1)$$

де  $\Phi_0$  – падаючий рівномірно на поверхню середовища паралельний потік, Вт;

$Q_n$  – ефективна експозиція (доза) опромінення з урахуванням допустимої нерівномірності опромінення, Дж/м<sup>2</sup>.

Швидкість руху опромінюваного середовища  $v$ :

$$v = \frac{f}{h_i} \quad (2)$$

де  $h_i$  – товщина шару, що забезпечує допустиму нерівномірність опромінення, м.

Точність підтримання дози опромінення (ефективність опромінення) забезпечується співвідношенням двох величин: величиною падаючого на поверхню рідини потоку  $\Phi_0$  і товщиною опромінюваного елементарного шару, який знімається з поверхні об'єму середовища за одиницю часу, тобто, визначає загальну швидкість переміщення середовища.

У реальних технологіях швидкість переміщення середовища є заданою, тому товщина елементарного шару може зменшуватися (а рівномірність опромінення збільшуватися) при зростанні величини потоку  $\Phi_0$  відповідно до виразу:

$$h_i = v \cdot \frac{Q_n}{\Phi_0} \quad (3)$$

Мінімальна межа товщини шару, що знімається,  $h_i$  залежить від оптичної густини опромінюваного середовища, що дозволяє віднести розглянуті вище схеми до особливо точних по можливостях забезпечення дози.

Ефективність визначається можливістю створення нерозбіжного (паралельного) потоку випромінювання й загальною товщиною об'єму опромінюваного середовища, що забезпечує близьке до повного поглинання потоку опромінення.

Ця перевага технологічних схем може бути важко реалізованою тільки у слабо поглинаючих ультрафіолетовий потік рідких середовищах.

У цьому випадку допустиме деяке перевищення втрат стосовно теоретичного (мінімального), що, однак, не спричинить зниження точності й рівномірності дози.

В практиці опромінюваний розчин може рухатися як назустріч потоку опромінення (нагору), так і у напрямку потоку (вниз).

Аналіз параметрів енергетики і якості процесу обробки рідкого середовища у двох випадках його

руху представлений нижче.

Для нескінченно тонкого шару рідини  $dx$ , що знаходиться на відстані  $x$  від дна реакційної посудини (рис. 1, а), щільність поглиненого площею в 1 м<sup>2</sup> потоку випромінювання дорівнює:

$$d\Phi = a \cdot E_0 \cdot e^{-a(h-x)} dx \quad (4)$$

де  $E_0$  – опроміненість поверхні рідини, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $h$  – висота шару рідини у реакційній ємності, м.

Об'ємна щільність поглиненої шаром  $dx$  енергії випромінювання відповідає:

$$du = \frac{d\Phi}{dx} \cdot dt = a \cdot E_0 \cdot e^{-a(h-x)} dt \quad (5)$$

де  $t$  – час опромінення, с.

Розглянутий процес можна представити моделлю ідеального витіснення (поршневий плин рідини без перемішування при рівномірному розподілі енергії випромінювання у напрямку, перпендикулярному руху) [5].

Для такої моделі:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = v \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \quad (6)$$

З урахуванням (6) вираз (5) прийме вигляд:

$$du = \frac{a \cdot E_0}{v} \cdot e^{-a(h-x)} dx \quad (7)$$

Інтегруючи (7) по  $x$  у межах від 0 до  $h$ , отримуємо:

$$u = \frac{E_0}{v} \cdot (1 - e^{-a \cdot h}) \quad (8)$$

Аналогічним чином для технологічної схеми, показаної на рис. 1 б, отримуємо:

$$du = \frac{a \cdot E_0}{v} \cdot e^{-a \cdot h} dx \quad (9)$$

$$u = \frac{E_0}{v} \cdot (1 - e^{-a \cdot h}) \quad (10)$$

Аналіз виразів (10) і (8) показує, що незалежно від напрямку переміщення рідини, об'ємна щільність поглиненої кожним шаром енергії випромінювання буде однаковою.

Вибравши висоту  $h$  усього шару рідини у реакторі таким, щоб його оптична густина  $p = a \cdot h$  була більше 5, можна забезпечити корисне поглинання практично всієї падаючої енергії випромінювання (за умови,

що коефіцієнт відбиття від поверхні рідини дорівнює нулю).

При цьому кожен шар, поступово піднімаючись або опускаючись, буде інтегрувати поглинену ним енергію випромінювання й отримає у результаті сумарну дозу опромінення, обумовлену величинами опромінення на поверхні рідини  $E_0$  та лінійною швидкістю її переміщення  $v$ , згідно (8).

Представлені вище технологічні схеми руху опромінюваного розчину відносно потоку опромінювання дозволяють поєднати високі енергетичні показники процесу опромінення із його якістю.

Крім того, їм властива ще одна істотна перевага – універсальність. В одній УФ-установці можуть опромінюватися рідини з різними показниками поглинання УФ-потоків  $a$ .

Наприклад, рідини, розсіюючі випромінювання, що характеризуються змінним по глибині ефективним показником поглинання, внаслідок переходу із глибиною проникнення від спрямованого до розсіяного випромінювання.

Однак, якою би функцією  $a(x)$  не був заданий показник поглинання, аналіз виразів (7), (9) і (10) дає однозначний результат:

$$u = \frac{E_0}{v} \cdot \int_0^h a(x) \cdot e^{-a(x)(h-x)} dx = \frac{E_0}{v} \cdot (1 - e^{-a \cdot h}) \quad (11)$$

Представлені на рис. 1 схеми підтверджують результати для оптичних технологій, що ефект пропорційний тільки дозі опромінення. Однак закон зростання одержуваної одиницею об'єму рідини дози опромінення по координаті "x" (а також у часі) у процесі її проходження через фотореактор буде різним для двох розглянутих схем і, відповідно, визначається наступними виразами:

$$u(x) = \frac{E_0}{v} \cdot (e^{-a \cdot (h-x)} - e^{-a \cdot h}) \quad (12)$$

$$u(x) = \frac{E_0}{v} \cdot (1 - e^{-a \cdot x}) \quad (13)$$

Порівняння виразів (12) і (13) показує, що у першому випадку доза набирається плавно, зі зростаючою швидкістю, а у другому швидкість зростання дози у початковий момент максимальна, а потім зменшується до нуля.

Ці відмінності можуть мати переваги у різних оптичних технологіях, тому необхідно вибрати схему більш ефективну для УФ-опромінення рідких середовищ.

**Висновки.** Результати проведених досліджень дають змогу зробити наступні висновки:

– доведено, що при русі опромінювального середовища назустріч потоку випромінювання або в одному з ним напрямку, об'ємна щільність поглиненої кожним шаром енергії випромінювання буде однаковою;

– технологічні схеми в яких втілено даний спосіб опромінення живильного розчину зможуть забезпечувати рівномірність опромінення всього шару оброблюваного середовища;

– при бактерицидному знезаражуванні розчину доцільно використовувати схему супротивного напрямку опромінення;

– для стимулюючої (активуєючої) дії випромінювання на структури розчину доцільно використовувати технологічну схему співпадання потоку опромінення з напрямком руху розчину.

## Список використаних джерел

1. Савлук О. С. Обеззараживание воды / О. С. Савлук, Н. Г. Потапченко, В. Н. Косинова // Химия и технология воды – 1998. – Т. 20, № 1. – С. 99 - 110.
2. Алексахин Р. М. Сельскохозяйственная радиэкология / Р. М. Алексахин – М.: Экология, 1995. – 395 с.
3. Торосян Р. Н. Обеззараживание воды ультрафиолетовыми лучами в системе сельскохозяйственного водоснабжения / Р. Н. Торосян – М.: Россельхозиздат, 1967. – 24 с.
4. Соколов В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами / В. Ф. Соколов – М.: Стройиздат, 1964. – 233 с.
5. Остапчук Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств / Н. В. Остапчук – К.: Вища школа, 1981. – 304 с.

## Аннотация

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Книжка Т. С.

*В статье приведен один из способов решения проблемы полноты поглощения потока оптического излучения облучаемой средой. Обоснованы эффективные технологические схемы облучения питательного раствора для гидропонных теплиц.*

## Abstract

### THEORETICAL GROUND OF CHOICE OF FLOWSHEET OF OPTICAL IRRADIATION OF NOURISHING SOLUTION

T. Knizhka

*One of methods of decision of problem of plenitude of absorption of stream of optical radiation the exposed to the rays environment is resulted in the article. The flowsheet of irradiation of nourishing solution is grounded.*