

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ РОСЛИН СТРИЖНЕВОГО ТИПУ В ЖИВИЛЬНОМУ РОЗЧИНІ ГІДРОПОННОЇ УСТАНОВКИ

Сухін В. В., Лисиченко М. Л.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано методику розрахунку лазерного опромінення кореневої системи рослин стрижневого типу в живильному розчині гідропонної установки, для визначення розподілення випромінювання на корені і розрахунку необхідних параметрів випромінювання для активізації фізіологічних процесів в рослинах.

Постановка проблеми. Складовою частиною агропромислового комплексу України є сільське господарство й головна його складова – рослинництво [1].

В сільському господарстві не останнє місце займає малооб'ємне виробництво (тепличне рослинництво), яке цілий рік забезпечує населення овочами, фруктами і навіть красою життя – квітами. Однією з технологій тепличного способу вирощування рослин, яка має значні переваги у порівнянні із звичайними (грунтовими) є гідропоніка [2]. Для стимулювання росту і розвитку рослин, вирощуваних гідропонним способом, застосовують різні методи, одним з яких є лазерна обробка, яка в даний час отримала широкого розповсюдження. Однак для отримання позитивного ефекту від її застосування необхідний якісний теоретичний матеріал так, як проведення експериментальних досліджень в даній задачі унеможливується змірами об'єктів обробки, що і становить проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянувши дослідження, які проведені в подібному напрямку, представлених в роботі [3], можна зробити висновок, що відсутні математичні методи по визначенню опроміненості поверхні коренів рослин, які розміщуються в живильній розчині гідропонної установки під час їх обробки лазером.

Виходячи з цього, дослідження по розробці математичних методів визначення опроміненості коренів рослин в живильному розчині гідропонної установки є актуальними.

Мета статті. Розробити методику розрахунку опроміненості кореневої системи рослин стрижневого типу в живильному розчині гідропонної установки.

Основні матеріали дослідження. Визначення опроміненості кореневої системи рослин стрижневого типу, в живильному розчині гідропонної установки, у відповідності до запропонованого методу, починається із представлення кореневої системи у вигляді кругового циліндру, канонічний вираз якого в циліндричній системі координат має наступний вигляд:

$$\rho = c \quad (1)$$

Джерело випромінювання (лазер), зобразимо у вигляді умовної точки $P(x, y, z)$, яка належить до тривимірного простору R^3 . Подальший розрахунок лазерної опроміненості кореневої системи будемо проводити у відповідності до розрахункової схеми, яка приведена на рис. 1.

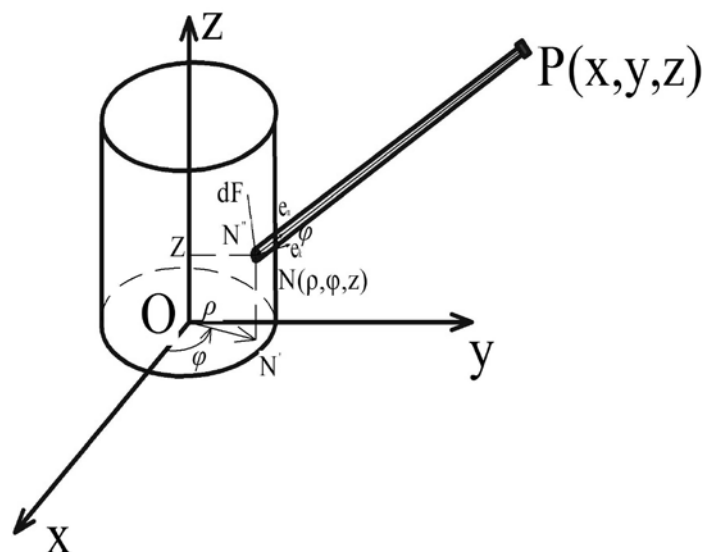


Рисунок 1 – Розрахункова схема лазерного опромінення кореневої системи рослин стрижневого типу в живильному розчині

Далі зробимо перехід від циліндричної до декартової системи координат використовуючи наступні вирази:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos \varphi \\ y = \rho \cdot \sin \varphi \\ z = z' \end{cases} \quad (2)$$

Потім проведемо визначення координат вектору \overline{NP} наступним чином:

$$\overline{NP} = (\rho \cdot \cos \varphi - x; \rho \cdot \sin \varphi - y; z' - z) \quad (3)$$

Після цього, проведемо визначення одиничного вектору \vec{e}_k колінеарного вектору \overline{NP} наступним чином:

$$\vec{e}_k = \frac{\overline{NP}}{|\overline{NP}|} = \frac{(\rho \cdot \cos \varphi - x; \rho \cdot \sin \varphi - y; z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} \quad (4)$$

Визначимо одиничний вектор нормалі \vec{e}_n . Для цього, побудуємо дотичну площину dF до циліндричної поверхні в точці $N(x', y', z')$ та канонічний вираз кругового циліндру представимо в неявному вигляді таким чином:

$$x^2 + y^2 + 0 \cdot z^2 - R^2 = 0 \quad (5)$$

де z змінюється $0 \leq z < \infty$.

Далі знайдемо часткові похідні функції поверхні опромінення наступним чином:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{y, z = \text{const}} = (x^2 + y^2 + 0 \cdot z - R^2)_x = 2x, \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial y} \right|_{x, z = \text{const}} = (x^2 + y^2 + 0 \cdot z - R^2)_y = 2y, \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial z} \right|_{x, y = \text{const}} = (x^2 + y^2 + 0 \cdot z - R^2)_z = 0. \quad (8)$$

Підставимо координати точки $N(x', y', z')$ в отримані часткові похідні і будемо мати:

$$F'_x(N) = F'_x(x', y', z') = 2x, \quad (9)$$

$$F'_y(N) = F'_y(x', y', z') = 2y, \quad (10)$$

$$F'_z(N) = F'_z(x', y', z') = 0. \quad (11)$$

Отримані значення часткових похідних в точці $N(x', y', z')$ підставимо в рівняння площини і отримаємо:

$$\begin{aligned} F'_x(N) \cdot (x - x') + F'_y(N) \cdot (y - y') + \\ + F'_z(N) \cdot (z - z') = 2x \cdot (x - x') + \\ + 2y \cdot (y - y') + 0 \cdot (z - z') = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Ліву і праву частину рівняння розділимо на 2 і отримаємо наступне:

$$x \cdot (x - x') + y \cdot (y - y') + 0 \cdot (z - z') = 0 \quad (13)$$

Тоді коефіцієнти $x, y, 0$ в рівнянні дотичної площини формують координати вектору нормалі $\vec{e}_n = (x, y, 0)$. Координати \vec{e}_n при $z = 0$ вказує на те, що вектор нормалі перпендикулярний осі OZ , як і дотична площина dF .

Далі проведемо визначення скалярного добутку вектору \vec{e}_n і вектору \vec{e}_k :

$$\begin{aligned} (\vec{e}_n, \vec{e}_k) = \frac{x \cdot (\rho \cdot \cos \varphi - x)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} + \\ + y \cdot \frac{(\rho \cdot \sin \varphi - y)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} + \\ + 0 \cdot \frac{(z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} \end{aligned} \quad (14)$$

Далі визначимо $\cos \varphi$ між векторами \vec{e}_n і \vec{e}_k наступним чином:

$$\cos \varphi = \frac{(\vec{e}_n, \vec{e}_k)}{|\vec{e}_n| \cdot |\vec{e}_k|} = \frac{\frac{x \cdot (\rho \cdot \cos \varphi - x)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} + \frac{y \cdot (\rho \cdot \sin \varphi - y)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}}}{\sqrt{x^2 + y^2 + 0^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot \cos \varphi - x}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} + \frac{0 \cdot (z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}}}} \sqrt{\left(\frac{\rho \cdot \sin \varphi - y}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}}\right)^2 + \left(\frac{(z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}}\right)^2} \quad (15)$$

Після цього, проведемо визначення кута між одиничними векторами \vec{e}_n і \vec{e}_k взявши зворотну від тригонометричної функції $\cos \varphi$ наступним чином:

$$\varphi = \arccos \varphi \quad (16)$$

Для визначення опроміненості циліндричної поверхні, застосуємо відомий світлотехнічний закон зворотних квадратів:

$$E = I_i \cdot \frac{\cos \varphi}{r^2} = I_i \cdot \frac{\cos \varphi}{NP^2}, \quad (17)$$

де I_i – сила джерела випромінювання, Вт;
 φ – кут між одиничними векторами \vec{e}_n і \vec{e}_k , град;
 r – відстань від джерела до об'єкту опромінення, м.

Також, скористаємось відомим фізичним законом Бугера-Ламберта-Бера, який встановлює залежність ослаблення сили джерела випромінювання I_i у живи-

льному розчині гідропонної установки де і буде розміщуватись випромінювач, в залежності від товщини шару живильного розчину x :

$$I_i(x) = I_0 \cdot e^{-k \cdot d} \quad (18)$$

де I_0 – початкове значення сили джерела випромінювання, Вт;

k_λ – коефіцієнт поглинання випромінювання живильним розчином в залежності від довжини хвилі λ джерела випромінювання, m^{-1} ;

d – товщина шару живильного розчину від розміщення джерела випромінювання (лазера) до кореневої системи, м.

При цьому, коефіцієнт поглинання випромінювання k_λ буде розраховуватись за наступним виразом:

$$k_\lambda = x_\lambda \cdot C \quad (19)$$

де x_λ – коефіцієнт взаємодії молекули поглинаючої розчиненої речовини лазера з довжиною хвилі λ ;

C – концентрація розчиненої речовини, моль/л.

Далі, підставимо отримані вирази для $\cos \varphi$ і \overline{NP} до закону зворотних квадратів і отримаємо:

$$E(\varphi, r) = I_i \cdot \frac{x \cdot (\rho \cdot \cos \varphi - x) + y \cdot (\rho \cdot \sin \varphi - y) + 0 \cdot (z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + 0^2} \cdot |e_k^-|} \quad (20)$$

Крім цього, підставимо до отриманого виразу опроміненості поверхні кругового циліндру, закон Бугера-Ламберта-Бера, який врахує зміну сили випромінювання в залежності від параметрів середовища і матимемо:

$$E(\varphi, r, d) = I_0 \cdot e^{-k \cdot d} \cdot \frac{x \cdot (\rho \cdot \cos \varphi - x) + y \cdot (\rho \cdot \sin \varphi - y) + 0 \cdot (z' - z)}{\sqrt{(\rho \cdot \cos \varphi - x)^2 + (\rho \cdot \sin \varphi - y)^2 + (z' - z)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + 0^2} \cdot |e_k^-|} \quad (21)$$

В результаті, вираз (20) представляє собою функціональну залежність опроміненості поверхні кругового циліндру E в залежності від кута φ між одиничними векторами \vec{e}_n і \vec{e}_k , відстані від джерела випромінювання до об'єкту r та від товщини шару живильного розчину d .

Висновки. В результаті виконання даного дослідження, отримана функціональна залежність $E(\varphi, r, d)$ опроміненості поверхні кругового циліндру в залежності від кута φ між одиничними векторами \vec{e}_n і \vec{e}_k , відстані від джерела випромінювання (лазера) до опромінюючого об'єкту r , а також від товщини шару живильного розчину в гідропонній установці.

Отримана аналітична залежність, дасть можливість визначити необхідні параметри лазерного випромінювання для активізації росту і розвитку вирощуваних рослин гідропонним способом.

Список використаних джерел

1. Лозовіцький П. С. Основи землеробства та рослинництва. Книга 2. Рослинництво: Посібник для вищих учбових закладів / Лозовіцький П. С. – К.: КНУ ім. Т. Шевченка, 2010. – 268 с.
2. Разработка и применение гидропонных установок [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/razrabotka-i-primeneniye-gidropennyh-ustanovok>.
3. Сухин В. В. Модель температурного поля зоны всмоктывания корневой системы растений, викликаного впливом лазерного випромінювання / В. В. Сухин, М. Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С. 51 – 54.
4. Козинский В. А. Электрическое освещение и облучение: Учебник и учебные пособия для студентов вузов / Козинский В. А. – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.

Аннотация

МЕТОД РАСЧЕТА ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ СТЕРЖНЕВОГО ТИПА В ПИТАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ ГИДРОПОННОЙ УСТАНОВКИ

Сухин В. В., Лисиченко Н. Л.

Предложена методика расчета лазерного облучения корневой системы растений стержневого типа в питательном растворе гидропонной установки, для определения распределения излучения на корни и расчета необходимых параметров излучения для активизации физиологических процессов в растениях.

Abstract

METHOD FOR CALCULATING LASER IRRADIATION OF THE ROOT SYSTEM OF PLANTS STYLE TYPE IN NUTRIENT SOLUTION OF HYDROPONIC INSTALLATION

V. Sukhin, N. Lysychnenko

The technique of calculation laser interrogation of root systems of plants type rod in the greyling rosette of the hydroponic plant, for the identification of distribution radiation on the root and the calculation of the necessary parameters for the active work of the physiological processes in the plants.