

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-9**

УДК 621.373.8:[631.171+631.52]

В. Т. Діордієв<sup>1</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0001-8552-8215

О. Ю. Вовк<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0154-6972

<sup>1</sup> *Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: Volodymyr.diordiiev@tsatu.edu.ua, тел.+380677645721

## ЛАЗЕРНА ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

*Анотація.* У роботі розглянуто підвищення врожайності овочевих культур за допомогою передпосівної стимуляції, а саме – імпульсного лазерного опромінення. Запропонована система для технічної реалізації вказаного впливу. Розроблена структурно-логічна схема та досліджені її статичні і динамічні властивості із застосуванням додатку Mathcad. В результаті дослідження встановлено, що зі збільшенням частоти має місце випереджальне перетинання ЛАЧХ (А1 та А2) рівня 0 дБ відносно перетинання ЛФЧХ (Ф1 та Ф2) рівня -180 град., що свідчить про технічну стійкість обох контурів із запасом відповідно: по амплітуді близько 22 і 18 дБ, а по фазі - приблизно 170 і 20 град., що дозволяє забезпечити цілком стабільну роботу даної системи.

*Ключові слова:* волоконно-оптичний перетворювач, імпульсна передпосівна стимуляція насіння, обюртатор, структурно-алгоритмічна схема, передатна функція, діаграма Боде.

*Постановка проблеми.* Одним з найважливіших елементів продовольчої безпеки України є забезпеченням населення овочевою продукцією, тому для збільшення її кількості і покращення її якості необхідно вжити цілий комплекс заходів [1-3]. Першою ланкою у цій справі, яка багато в чому визначає ефективність усього виробничого циклу, є забезпечення якісним посівним матеріалом та підвищення його посівних якостей, для чого зокрема широко застосовуються різноманітні методи передпосівної стимуляції, при чому одним з найбільш придатних для застосування є імпульсне передпосівне опромінення лазером [4-6]. При цьому необхідно вирішити питання про основні принципи забезпечення взаємного переміщення променя й матеріалу, що обробляється.

*Аналіз останніх досліджень.* Як відомо, найбільше поширення одержали різні конструкції сканування променю (як правило, за допомогою рухливих дзеркал) по площині, на якій знаходиться насіння, що обробляється [7-9]. При цьому відомі конструкції як з переміщенням насіння [10-12], так і без нього [13-15]. Як правило,



застосовується перший варіант, оскільки при другому пристрою мають занадто малу продуктивність і незручні в роботі. Однак усім пристроям із застосуванням сканування властива складність конструкції (і, як наслідок, низька надійність і висока вартість), що повинна забезпечити одночасне переміщення променя лазера в двох напрямках. Тому більш доцільним буде використання конструкцій типу волоконно-оптичного перетворювача (ВОП) «пляма-лінія» із перериваючим пристроєм типу обюртатора з постійною швидкістю обертання, при цьому відносно переміщення ВОП і оброблюваного матеріалу може здійснюватися в одному напрямку, що значно спрощує конструкцію і підвищує її надійність.

На основі цього рішення запропонована конструкція лазерної приставки з кроковим двигуном, що переміщає лазерний випромінювач. Застосування крокового двигуна обґрунтоване тим, що ці пристрої мають цілий ряд переваг, а саме [16-18]: кут повороту ротора визначається числом імпульсів, що подані на двигун; двигун забезпечує повний момент у режимі зупинки (якщо обмотки заживлені); прецизійне позиціонування та повторюваність. Гарні крокові двигуни мають точність 3-5% від величини кроку, причому ця помилка не накопичується від кроку до кроку; можливість швидкого старту/зупинки/реверсування; висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток, а термін служби крокового двигуна фактично визначається терміном служби підшипників; однозначна залежність положення від вхідних імпульсів забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку; можливість одержання дуже низьких швидкостей обертання для навантаження, приєднаного безпосередньо до валу двигуна без проміжного редуктора; швидкість у досить великому діапазоні пропорційна частоті вхідних імпульсів.

*Формулювання мети статті (постановка завдання).* Версія програми, що пропонується, дозволяє здійснювати розгін і гальмування двигуна з постійним прискоренням, а також обертання на постійній швидкості як у повно кроковому, так і у напівкроковому режимах. Ця програма містить весь необхідний набір функцій і може бути використана як базова для написання спеціалізованих програм.

*Основна частина.* Головною задачею програми є формування імпульсних послідовностей для 4-х обмоток двигуна. Оскільки для цих послідовностей тимчасові співвідношення є критичними, формування виконується в оброблювачі переривання таймера. У якості основної тимчасової бази обраний інтервал 25 мкс, що і формується таймером. З такою дискретністю можуть формуватися тимчасові послідовності фаз, такий же період має і ШИМ стабілізації струму у фазах двигуна. Для формування періоду повторення кроків використовується програмний 16-розрядний таймер STCNT [19]. На

відміну від таймера 0, його завантажувальна величина не є константою, тому що саме вона визначає швидкість обертання двигуна. Таким чином, переключення фаз відбувається тільки при переповненні програмного таймера. Послідовність чергування фаз задана таблично. У пам'яті програм мікроконтролера є три різних таблиці: для повнокрокового режиму без перекриття фаз, однокрокового з перекриттям і для напівкрокового режиму.

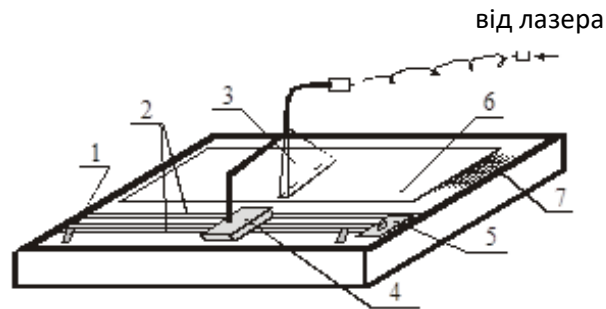


Рис.1.Лазерна приставка

На рис.1 позначено: 1-кінцевий вимикач; 2-напрвляючі; 3-волоконно-оптичний перетворювач; рухлива платформа; 5-кроковий двигун; 6-контейнер для насіння; 7-пульт управління.

Управління кроковим двигуном здійснюється за допомогою пульта керування (рис.1), схема і алгоритм функціонування якого наведено у [20-22]. Лазерний промінь від генератора за інтенсивністю та параметрами імпульсів формується відповідно спеціальними оптичними фільтрами та обюртатором, а потім за допомогою гнучкого волоконно-оптичного кабелю подається на рупорний оптичний перетворювач “п’ятно-лінія”, який випромінює лазерний промінь безпосередньо на насіння. При цьому відносно переміщення перетворювача та матеріалу, що обробляється, може здійснюватись у одному напрямку, що значно спрощує конструкцію та підвищує її надійність.

З метою дослідження статичних і динамічних властивостей системи, розроблена структурно-алгоритмічна схема, представлена на рис.2. Тут передатними функціями  $W_1(P)$ - $W_4(P)$  позначені відповідно: блок імпульсного перетворення, кроковий двигун, ремінний привід рухливої платформи з закріпленим на ній рупорним випромінювачем. Функції  $W_5(P)$ - $W_7(P)$  описують роботу вимірювальних перетворювачів положення рупорного випромінювача, числа проходів і швидкості його переміщення. Також ланками позначені:  $W_8(P)$  – обюртатор,  $W_9(P)$  – світловід з випромінювачем,  $W_{10}(P)$  і  $W_{11}(P)$  – вимірювальний перетворювач і регулятор інтенсивності випромінювання.

Схема на рис.2 має два основних контури, що здійснюють керування відповідно переміщенням рупорного оптичного

випромінювача і формуванням інтенсивності і періодичності лазерного випромінювання. Позначивши дані контури відповідно  $W_{e1}(P)$  і  $W_{e2}(P)$ , а також використовуючи основні правила перетворення структурно-алгоритмічних схем [23-25], одержимо:

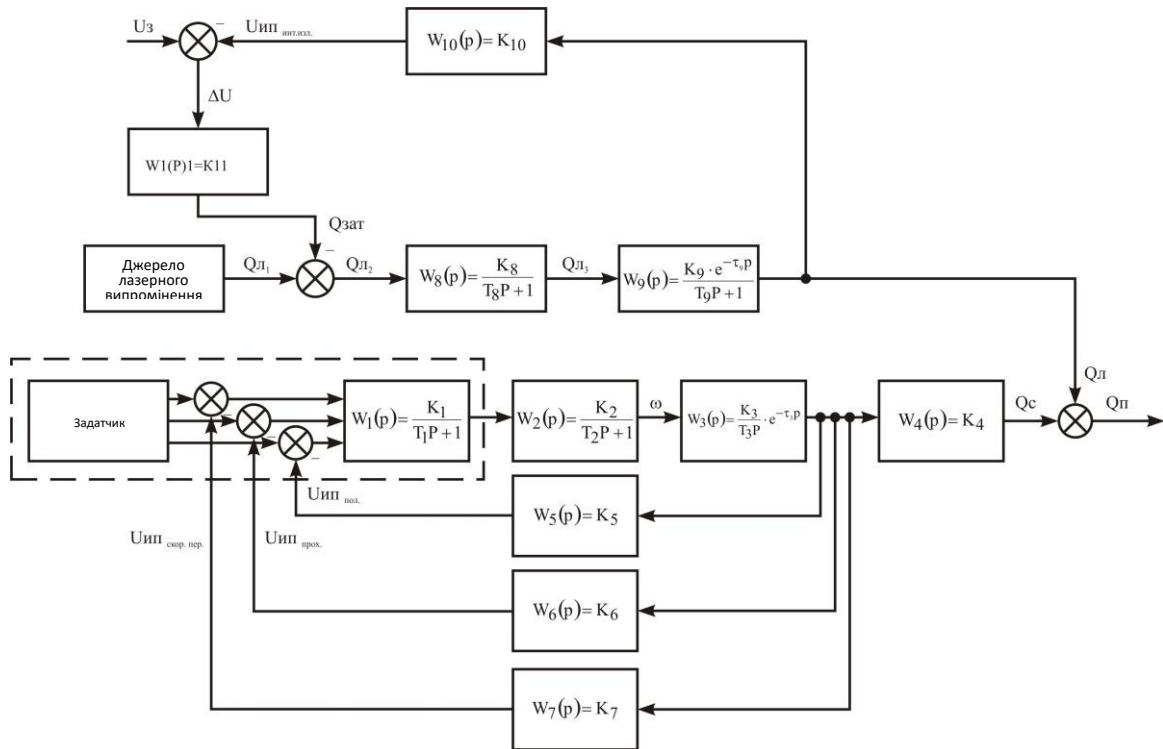


Рис.2. Структурно-алгоритмічна схема лазерної приставки

$$W_{e1}(P) = \frac{W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot [W_5(P) + W_6(P) + W_7(P)]} ; \quad (1)$$

$$W_{e2}(P) = \frac{W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P)}{1 + W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P) \cdot W_{10}(P)} . \quad (2)$$

Апроксимація елементів системи виконується з урахуванням конструктивних параметрів лазерної приставки, статичних і динамічних властивостей ланок у координатах “вихід-вхід”, приклад чого показано у табл.1.

Таблиця 1

Апроксимація елементів системи управління лазерною приставкою

Елемент системи	Передатна функція	Розрахунок параметрів
1.Блок управління	$W_1(P) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}$ $W_1(P) = \frac{20}{0,001 p + 1}$	$K_1 = \frac{Nu}{\Delta U} = \frac{40}{2} = 20 \frac{i}{B}$ $T_1 = 0,001 c$



2.Кроковий двигун	$W_2(P) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$	$K_2 = \frac{\varpi}{Nu} = \frac{2,5}{40} = 0,625 \frac{c^{-1}}{i}$
і т.д.	$W_2(P) = \frac{0,0625}{0,015 p + 1}$	$T_2 = 0,015 c$

Підстановкою чисельних значень у (1) і (2) одержимо вирази передатних функцій контурів управління:

$$W_{e1}(P) = \frac{1320,39P^2 - 44,013P + 70,421}{0,0001P^5 + 0,108P^4 + 6,754P^3 + 252,681P^2 - 8,055P + 13,464}; \quad (3)$$

$$W_{e2}(P) = \frac{0,000002P^2 - 0,001P + 0,24}{0,000000002P^4 + 0,00000P^3 + 0,00092P^2 + 0,114P + 19,2}. \quad (4)$$

Для аналізу технічної стійкості системи визначаємо корені поліномів відповідно чисельників і знаменників рівнянь (3) і (4), використовуючи для цього комп'ютерне середовище додатку Mathcad.

Для одержання інформації про стійкість даної системи, доцільно побудувати сполучені логарифмічні амплітудо- і фазочастотні характеристики (ЛАЧХ і ЛФЧХ) контурів управління у вигляді діаграми Боде, що дозволяє визначити “технічну стійкість” як лінійних, так і імпульсних систем. Відповідні характеристики на діаграмі Боде будуються по асимптотичних вираженнях логарифмічних амплітудних і фазових характеристик, точки зламу яких визначаються логарифмом частот сполучення, для одержання яких використовуються знайдені вище корені відповідних поліномів і представлених у виді відношення дрібно-раціональних функцій

$$W_i(P) = K \frac{(P - \alpha_1)(P - \alpha_2) \dots (P - \alpha_n)}{(P - j_1)(P - j_1) \dots (P - j_n)}, \quad (5)$$

де  $K$  – коефіцієнт передачі контуру, що визначається через приведення до одиниці вільних членів поліномів, тобто  $K = \frac{1/b_m}{1/a_n}$ ;

$\alpha_n, j_n$  – корені поліномів відповідно чисельника і знаменника рівняння виду (5).

Записавши рівняння (3) і (4) частотному виді і виражаючи їхні модулі в децибелах, беручи  $20 \lg W(j\omega)$ , а також скоротивши ідентичні частоти чисельника і знаменника, одержуємо рівняння для побудови діаграми Боде.

$$A_1 = 20 \lg[W(j\omega)] = 14,70 - 20 \lg 1,016 - 40 \lg 32,032; \quad (6)$$

$$A_2 = 20 \lg[W(j\omega)] = 38,08 + 40 \lg 250 - 20 \lg 1,057 - 20 \lg 352,731 - 40 \lg 38,725. \quad (7)$$

Узявши логарифми від коренів поліномів і ранжуючи отримані значення частот сполучення, запишемо:

$$\text{для рівняння (6)} \quad \omega_{11} = 1,51; \quad \omega_{12} = 3,01;$$

для рівняння (7)  $\omega_{21}=1,51$ ;  $\omega_{22}=2,4$ ;  $\omega_{23}=2,55$ ,  $\omega_{24}=3,02$ .

При побудові діаграми Боде (рис.3) для частот сполучення нахил ЛАЧХ відповідає:

$$\pm n_i 20 \text{ дБ} = \lg \omega^{\pm n_i}$$

а зміна фази, що відкладається в градусах,

$$\pm n 20 \text{ дБ} = \pm n 90^\circ$$

де  $n$  - коефіцієнт, що залежить від виду коренів поліномів.

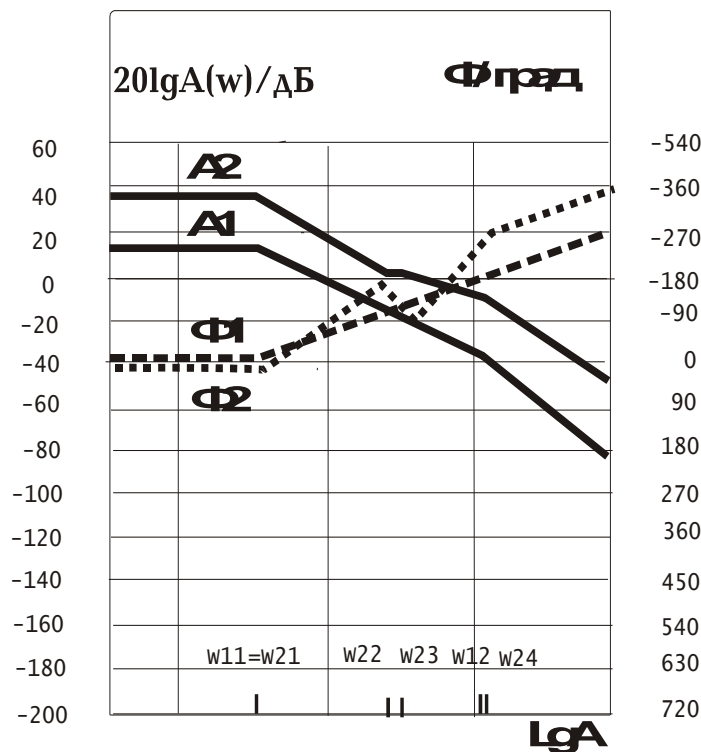


Рис.3. Діаграма Боде

**Висновки.** З рис.3 видно, що зі збільшенням частоти має місце випереджальне перетинання ЛАЧХ (А1 та А2) рівня 0 дБ відносно перетинання ЛФЧХ (Ф1 та Ф2) рівня -180 град., що свідчить про технічну стійкість обох контурів із запасом відповідно: по амплітуді близько 22 і 18 дБ, а по фазі – приблизно 170 і 20 град., що дозволяє забезпечити цілком стабільну роботу даної системи.

*Список використаних джерел*

1. Сєвідова І. О., Лещенко Л. О. Стан, проблеми та перспективи розвитку овочівництва в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. № 12. С. 28-33.
2. Бойко Л. О. Сучасні тенденції розвитку овочевої галузі в умовах євроінтеграції України. *Агросвіт*. 2020. № 6. С. 69-76. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.6.69>.



3. Лещенко Л. О., Севідов В. П. Сучасний стан та тенденції розвитку овочівництва в Україні. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. 2015. Вип. 3. С. 317–324.
4. Ahmed O. Alukedi, Ahmed A. Almarie, M. A. Alalousi, S. S. Farhan, Ali F. Almehemdi. Effect of laser exposure as pre sowing seed priming in three flax cultivars. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2021. Vol. 22(11&12). P. 43-52.
5. Червінський Л. С. Перспективи застосування електротехнологій для підвищення урожайності та якості рослинної продукції. Collection of scientific papers «SCIENTIA». *Modernization of science and its influence on global processes*. 2023. Vol. 3. P. 87-90.
6. Urva Hina Shafique, Yasir Jamil, Zia ul Haq, Tamveel Mujahid, Aman Ullah Khan, Munawar Iqbal, Mazhar Abbas. Low power continuous wave-laser seed irradiation effect on *Moringa oleifera* germination, seedling growth and biochemical attributes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2017. Vol. 170. P. 314-323, <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.04.001>.
7. P. Nayeri, F. Yang, A. Z. Elsherbeni, Beam-Scanning Reflectarray Antennas: A technical overview and state of the art. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2015. Vol. 57(4). P. 32-47. <https://doi.org/10.1109/MAP.2015.2453883>.
8. Sharif Azadeh S., Mak J. C. C., Chen H. [et al.]. Microcantilever-integrated photonic circuits for broadband laser beam scanning. *Nat Commun*. 2023. Vol. 14. P. 2641. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38260-8>.
9. Jin Xiao, Xiaoguang Hu, Weixiong Lu, Jixiao Ma, Xiao Guo. A new three-dimensional laser scanner design and its performance analysis. *Optik*. 2015. Vol. 126(7–8). P. 701-707. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2015.02.007>.
10. Klimek-Kopyra A., Neugschwandtner R. W., Ślizowska A., Kot D., Dobrowolski J. W., Pilch Z., Dacewicz E. Pre-Sowing Laser Light Stimulation Increases Yield and Protein and Crude Fat Contents in Soybean. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. P. 1510. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101510>.
11. J. A. Dominguez Chavez, A. Michtchenko, A. V. Budagovskii. Biostimulation of the growth of wheat seeds produced by modulated pulsed diode lasers radiation. *11th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*. Ciudad del Carmen, Mexico, 2014. P. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2014.6978305>.
12. Krawiec Marcela, Dziwulska-Hunek Agata, Kornarzyński Krzysztof. The Use of Physical Factors for Seed Quality Improvement of Horticultural Plants. *Journal of Horticultural Research*. 2018. Vol. 26(2). P. 81-94. <https://doi.org/10.2478/johr-2018-0019>.



13. Agnieszka Klimek-Kopyra, Jan Wincenty Dobrowolski, Tomasz Czech, Reinhard W. Neugschwandtner, Florian Gambuś, Dominika Kot. The use of laser biotechnology in agri-environment as a significant agronomical advance increasing crop yield and quality. *Advances in Agronomy*. 2021. Vol. 170, ch. 1. P. 1-33. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.06.001>.

14. Abd El-Rahman Abd El-Raouf Ahmed, Helmy El-Sayed Hasan, Ahmed El-Raie Emam Suliman, Khalid Ali Maher. Effect of laser irradiation and Rhizobium on growth parameters of clover. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*. 2023. Vol. 13(1). P. 28-43.

15. Rashida Perveen, Yasir Jamil, Arwa Abdulkreem AL-Huqail, Ibtisam Mohammed Alsudays, Suliman Mohammed Suliman Alghanem, Qasim Ali, Farah Saeed, Muhammad Azeem, Muhammad Rizwan, Sami Asir Al-Robai. Effects of pulsed Nd:YAG laser kernel irradiation on maize (*Zea mays* L.): Insights into germination, gas exchange, photosynthetic pigments, and morphological modifications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2024. Vol. 253. e 112876. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2024.112876>.

16. Austin Hughes, Bill Drury. Electric Motors and Drives: Fundamentals. *Types and Applications*. 2019. Vol. 3. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-03226-3>.

17. Косяк І. В., Цубін О. А. Результати дослідження застосування мікрокрокового режиму при керуванні кроковим двигуном. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2022. Вип. 24(1). С. 66-73. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2022.24.1.262939>.

18. Квітка С. О., Вовк О. Ю., Безменнікова Л. М., Квітка О. С. Методи управління та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 2. С. 164-171.

19. F. Lonsing et al. Unlocking the Power of Formal Hardware Verification with CoSA and Symbolic QED. *2019 IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD)*. Westminster, CO, USA, 2019. P. 1-8. <https://doi.org/10.1109/ICCAD45719.2019.8942096>.

20. Данилейко О. К., Кузьменко А. С., Коломіц Г. В., Коломіц О. К. Розробка програмних та апаратних засобів для керування кроковими двигунами. *Вісник Криворізького національного університету*. 2017. Вип. 44. С. 177-182.

21. Кандяк Н. М., Коломієць А. Б., Котовський О. О. Засоби керування кроковим двигуном та вимірювання зусиль під час дослідження процесу згинання аркушевого матеріалу. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 7 (38), ч.1. С.37-44. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44)





22. Lyshuk V., Yevsiuk M., Moroz S., Khvyshchun M., Babula I. Microcontroller control of hybrid stepper motors. *Computer-integrated technologies: education, science, production*. 2021. Vol. 44. P. 30-36. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-44-05>.

23. Зеленський К. Х., Городецька О. К. Теорія автоматичного керування. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 277 с.

24. Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами. Київ: НУХТ, 2014. 274 с.

25. Щербак Я. В., Івакіна К. Я. Основи теорії автоматичного регулювання електромеханотронних систем / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 222 с.

*Стаття надійшла до редакції 08.04.2024 р.*

**V. Diordiev<sup>1</sup>, O. Vovk<sup>1</sup>,**

**<sup>1</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University**

## **LASER PRE-SOWING TREATMENT OF VEGETABLE SEEDS**

### *Summary*

The yield level in crop production largely depends on the provision of high-quality seed material. If necessary, its sowing qualities are improved, for which, in particular, various methods of pre-sowing stimulation are widely used, and one of the most suitable for use is pulsed pre-sowing laser irradiation. Therefore, now there is a problem of finding both the most effective technological modes of such irradiation, as well as designs of devices for irradiation for their effective use in the conditions of relatively small farms in the vegetable sector. Therefore, in order to improve the situation with providing the population of Ukraine with vegetable products, which is one of the most important elements of the country's food security, it is necessary to take a whole set of measures. The first link in this matter, which largely determines the efficiency of the entire production cycle, is the provision of high-quality seed material and the improvement of its seed quality, for which, in particular, various methods of pre-sowing stimulation are widely used. However, the problem arises of finding both the most effective technological modes of such irradiation and the designs of devices for irradiation that would be the most suitable for practical use in the conditions of relatively small farms, which are mainly engaged in the production of vegetables. The use of existing powerful universal laser units only for the purpose of pre-sowing stimulation of seeds in relatively small farms in terms of production volume is economically impractical in most cases, therefore the authors have made a justification for the design of a laser attachment for pulsed pre-sowing stimulation of vegetable seeds for small farms. The set-top box includes a fiber-optic converter connected to a moving platform that moves along special guides and is driven through a belt drive by a stepper motor.

**Keywords:** fiber-optic converter, pulsed pre-sowing stimulation of seeds, obturator, structural-algorithmic diagram, transfer function, Bode diagram.