

**АНДРІЙЧУК ВОЛОДИМИР**

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя  
<https://orcid.org/0000-0001-7124-2777>  
e-mail: Andriychukva31410@gmail.com

**НАКОНЕЧНИЙ МИРОСЛАВ**

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя  
<https://orcid.org/0000-0001-5434-7729>  
e-mail: nakmiron1984@gmail.com

**ФІЛЮК ЯРОСЛАВ**

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя  
<https://orcid.org/0000-0003-1869-4402>  
e-mail: filuk.slavik.91@gmail.com

**КОСТИК ЛЮБОВ**

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя  
<https://orcid.org/0000-0003-3702-8210>  
e-mail: kostykm1968@gmail.com

**КОЗАК ІВАН**

Тернопільський Національний Технічний Університет імені І. Пулюя  
e-mail: [ivan5210@ukr.net](mailto:ivan5210@ukr.net)

**ЕЛЕКТРОПРИВІД РУХОМОЇ ОПРОМІНЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

При недостатньому рівні природньої опроміненості або в умовах короткого світлового дня в теплицях використовують додаткове опромінення рослин. Застосування таких оптичних електротехнологій тісно пов'язане із проблемою енергозбереження, тому питання про використання технології змінного опромінення, якому присвячена дана робота, є актуальним. Авторами запропоновано опромінювальну установку з обертальним рухом опромінювача у вертикальній та горизонтальній площинах. В якості опромінювача використано світлодіодний світловий прилад СП Д073У-50-02 потужністю 50 Вт виробника ОСП «Корпорація Ватра». Для обертання опромінювача в горизонтальній площині використовували мотор-редуктор типу 51К60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1300 об/хв і однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт. Для переміщення опромінювача у вертикальній площині використовували кроковий двигун нета 23 (23HS2430) та драйвер DM556. В роботі запропонована математична модель опромінювальної установки. В якості узагальнених координат опорно-поворотного пристрою як незалежних змінних, що повністю визначають просторову орієнтацію опромінювача, використано кути відносних поворотів ланок  $q_1, q_2$ . Вони співпадають з кутами повороту опромінювача у відповідних площинах і знаходяться в певному масштабі з кутами повороту валів двигунів системи керування. Запропоновано систему керування електроприводу на основі мікроконтролер Arduino Uno, частотного перетворювача та драйвера крокового двигуна.

Ключові слова: електропривід, змінне опромінення, асинхронний двигун, кроковий двигун, контролер.

VOLODIMIR ANDRIICHUK, MYROSLAV NAKONECHYI, YAROSLAV FILIUK, LIUBOV KOSTYK, IVAN KOZAK  
Ternopil I. Pulyuy National Technical University, ul. Mikulinetska 46, Ternopil, Ukraine, [filuk.slavik.91@gmail.com](mailto:filuk.slavik.91@gmail.com)

**ELECTRICAL DRIVE OF A MOBILE IRRADIATION INSTALLATION**

If the level of natural radiation is insufficient or in conditions of short daylight in greenhouses, additional irradiation of plants is used. The application of such optical electrical technologies is closely related to the problem of energy saving, therefore the question of using variable irradiation technology, to which this work is devoted, is relevant. The authors proposed an irradiation installation with rotational movement of the irradiator in the vertical and horizontal planes. As an irradiator, an LED light device lighting device D073U-50-02 with a power of 50 W, manufactured by the Vatra Corporation OSP, was used. To rotate the irradiator in the horizontal plane, a 51K60GN type gear motor with a gear ratio of 1:200 and a nominal motor rotation speed of 1300 rpm and a single-phase frequency converter with a power of 0.18 kW were used. A nema 23 stepper motor (23HS2430) and a DM556 driver were used to move the irradiator in the vertical plane. The paper proposes a mathematical model of the irradiation installation. The angles of relative rotation of links  $q_1, q_2$  were used as the generalized coordinates of the support-rotation device as independent variables that fully determine the spatial orientation of the irradiator. They coincide with the angles of rotation of the irradiator in the corresponding planes and are on a certain scale with the angles of rotation of the shafts of the motors of the control system. An electric drive control system based on an Arduino Uno microcontroller, a frequency converter and a stepper motor driver is proposed.

Key words: electric drive, variable irradiation, asynchronous motor, stepper motor, controller

**Вступ.** Підвищення ефективності опромінювальних пристроїв для рослин закритого ґрунту можна досягнути шляхом підбору високоефективних джерел випромінювання з максимально сприятливим спектральним складом та шляхом переходу до змінного опромінення посівної ділянки з врахуванням кінетичних параметрів процесів фотосинтезу і росту та розвитку рослин [1-4]. Підбір високоефективних джерел випромінювання дозволяє досягнути економічного ефекту до 20-25%. Значно більші можливості передбачає другий напрямок удосконалення опромінювальних пристроїв – перехід до змінного опромінення. Даний спосіб опромінення базується на тому, що процеси фотосинтезу протікають у двох фазах – світловій і темновій, співвідношення тривалості яких, детально не вивчено [1,2]. Під час темної фази відбувається спад інтенсивності фотосинтезу, тому підтримувати високий рівень опромінення рослин є не лише марно, але навіть може бути шкідливо для них. Виходячи з цього, необхідно здійснювати постійне регулювання рівня опромінення відповідно до перебігу фаз фотосинтезу. Це можна реалізувати за

допомогою опромінювальних установок змінного опромінення.

Більшість опромінюючих установок змінного опромінення побудовані за системою зворотно-поступального руху опромінювача, в електроприводі яких використовуються двигуни змінного струму з короткозамкненим ротором та без додаткових систем керування. Такі системи виявилися досить ефективними в теплицях Голландії, Норвегії та Канади [5-7].

В роботах [8,9] описані промислові установки змінного опромінення з електроприводом постійного струму, в основі яких покладено обертальний рух джерел випромінювання.

Змінний світловий потік установки змінного опромінення на базі світлодіодів отримувався за рахунок обертання диску з світлодіодами, лінзами повного внутрішнього відбивання та розсіювачем. Для електроприводу використовувався двигун постійного струму, без додаткового регулювання швидкості. Дана установка створювала змінне світлове поле з постійною частотою зміни світлових та темнових проміжків [10].

В усіх роботах, де використовувалося змінне опромінення в тепличних господарствах, було досягнуто зниження енергозатрат без втрати врожайності та якості продукції.

Метою даної роботи є використання для рухомих установок змінного опромінення керованого електроприводу на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором та крокових двигунів, що є актуальним для подальшого розвитку такого наукового напрямку, як оптичні електротехнології змінного опромінення рослин.

### Математична модель рухомого опромінювального пристрою

Перед тим як перейти до питання керованого електроприводу рухомої опромінювальної установки розглянемо її математичну модель. Нехай установка складається з опромінювача, до складу якого входить відбивач та джерело світла з круглосиметричним світловим розподілом, який виконує одночасно колові та коливні рухи у горизонтальній та вертикальній площинах, опорно-поворотний пристрій з електроприводом на основі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та система керування. На рис. 1 приведена його модель.

При моделюванні опорно-поворотного пристрою (ОПП) виходили з того, що його ланки з усіма закріпленими на них елементами є твердими тілами, а пристрій в цілому утворює механічну систему, для якої справедливі основні закони механіки твердого тіла [11].

Кінематичний ланцюг поворотного пристрою складається з трьох ланок, з'єднаних між собою певним чином. Нульова ланка є нерухомою основою ОПП, відносно якої здійснюється відлік переміщення і орієнтація ОУ в просторі. Дві сусідні ланки утворюють між собою кінематичні пари п'ятого класу обертового типу з одним ступенем вільності. Їх відносний рух визначається одним параметром – кутом повороту однієї ланки відносно іншої. Число ступенів вільності ОПП в цілому визначається числом незалежних переміщень, в яких можуть брати участь його ланки. Тому даний поворотний пристрій має два ступені вільності, що забезпечує переміщення ОП в горизонтальній та вертикальній площинах [12].

Кінематичні співвідношення, що визначають положення, швидкість і прискорення ланок ОПП без врахування дії сил керування і їх моментів, можна отримати розглядаючи рух кожної ланки як рух окремого твердого тіла з врахуванням зв'язків між ланками

В якості узагальнених координат ОПП як незалежних змінних, що повністю визначають просторову орієнтацію опромінювача, використано кути відносних поворотів ланок  $q_1, q_2$ . Це зумовлено тим, що вони співпадають з кутами повороту опромінювача у відповідних площинах і знаходяться в певному масштабі з кутами повороту валів двигунів системи керування.

Спеціальний вибір систем координат ланок ОПП дозволив за допомогою мінімальної кількості параметрів описати перехід від однієї системи до іншої (при довільному виборі систем координат число параметрів дорівнює шість). Побудову систем координат ОПП ОП виконаємо в наступній послідовності.

1. Нумеруємо всі ланки поворотного пристрою (0, 1, 2).

2. Систему координат  $0_0X_0Y_0Z_0$  прив'язуємо до нерухомої основи ОПП (ланка 0). Її початок розташовуємо на осі кінематичної пари, яку складають ланки (0,1). Вісь  $0_0Z_0$  направляємо по осі цієї кінематичної пари, а вісь  $0_0X_0$  - довільно. Вісь  $0_0Y_0$  доповнює осі  $0_0X_0$  і  $0_0Z_0$  до правої трійки векторів.

3. Систему координат  $0_1X_1Y_1Z_1$  прив'язуємо до ланки 1. Вісь  $0_1Z_1$  направляємо по осі кінематичної пари (1, 2). Початок координат  $O_1$  розміщуємо в точці перетину осей  $O_0Z_0$  і  $O_1Z_1$ . Вісь  $O_1X_1$  спрямовуємо по спільному перпендикуляру до осей  $O_0Z_0$  і  $O_1Z_1$ , а вісь  $O_1Y_1$  доповнюватиме систему осей до правої трійки векторів.

4. Систему координат  $O_2X_2Y_2Z_2$  прив'язуємо до ланки 2. Вісь  $O_2Z_2$  спрямовуємо по напрямку оптичної осі опромінювача. Початок координат  $O_2$  прив'язуємо до джерела випромінювання. Вісь  $O_2X_2$  направляємо по спільному перпендикуляру до осей  $O_1Z_1$  і  $O_2Z_2$ . Вісь  $O_2Y_2$  доповнює осі  $O_2X_2$  і  $O_2Z_2$  до правої трійки векторів.

5. Точка М, в яку направляється вісь пучка променів ОП, лежить на осі  $O_2Z_2$  і її положення в системі координат  $O_2X_2Y_2Z_2$  задається вектором  $r_2^M(0,0,Z_2^M)$ .

Взаємне розташування систем координат двох сусідніх ланок залежить, в загальному випадку, від деяких шести параметрів, один з яких є узагальненою координатою ( $q_1$  чи  $q_2$ ), а інші – конструктивними сталими.

Для визначення положення, швидкості і прискорення опромінювача необхідно знати поточні значення узагальнених координат  $q_1, q_2$ , які вимірюються достатньо просто за допомогою відповідних давачів. Ці величини необхідно знати для всіх ланок поворотного пристрою. Відносно положення ланок в парах визначає їх положення в просторі. Пов'язавши з вибраною ланкою  $i$ -ту систему координат  $O_iX_iY_iZ_i$ , можна звести визначення взаємного положення ланок до задачі перетворення однієї системи в іншу. Таке

перетворення можна виконати за формулою:

$$r_0^M = \alpha r_2^M + r_0^{O_2}$$

де  $r_0^M$ ,  $r_2^M$  – радіус-вектори т. М в системах координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  та  $O_2X_2Y_2Z_2$ , відповідно;

$\alpha$  – матриця направляючих косинусів системи координат  $O_2X_2Y_2Z_2$  відносно системи  $O_0X_0Y_0Z_0$ ;

$r_0^{O_2}$  – радіус-вектор точки  $O_2$  в системі  $O_0X_0Y_0Z_0$ .

Розрахунок  $q(t)$  проводився за складеною програмою по наступній схемі:

- задавались параметри опромінювальної площадки у вигляді прямокутника розмірами  $lx \times ly$ ;
- задавалась траєкторія руху точки М (в даному випадку вона задана у вигляді спіралі, яка розкручується до певної межі):

$$\begin{cases} x_0^M = (\alpha \omega t + x_0) \cdot \cos \omega t; \\ y_0^M = (\alpha \omega t + y_0) \cdot \cos \omega t; \\ z_0^M = 0; \\ t \in [0; t_1]. \end{cases}$$

- знаходили часові залежності узагальнених координат  $q_1(t)$ ,  $q_2(t)$ ;
- визначали кутові швидкості і прискорення опромінювача.

Для параметрів:  $S_1=3$  м;  $S_2=0$  м;  $x_0=y_0=0$  м;  $t_1=100$  с;  $f=0.1$  Гц;  $a=1/2\pi$  м.;  $lx=20$  м.;  $ly=20$  м, результати розрахунків узагальнених координат, кутових швидкостей і прискорень опромінювача подані на рис. 2.

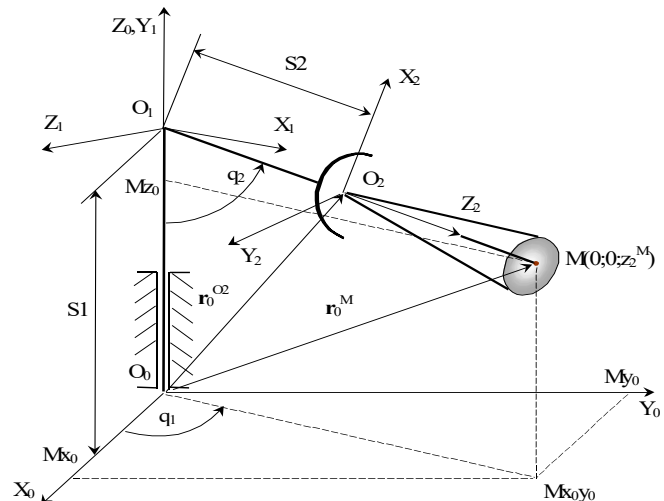


Рис.1. Математична модель рухомого опромінювального пристрою.

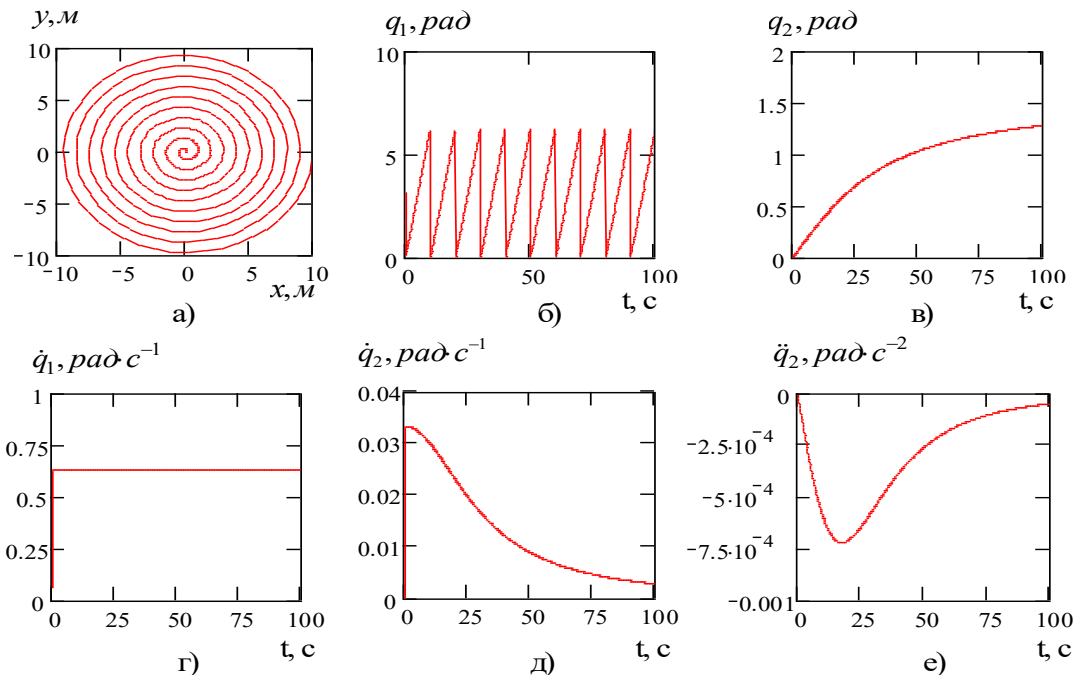


Рис.2. Траєкторія руху точки М (а) та часові залежності узагальнених координат (б, в), узагальнених швидкостей і прискорень (г, д, е) рухомої ОУ

### Структура та система керування електроприводу рухомої опромінювальної установки

Для підвищення функціональних можливостей ОУ з обертальним рухом опромінювача при стележній багатоярусній системі вирощування розсади було розроблено установку, в якій опромінювач здійснює обертання навколо двох осей – вертикальної і горизонтальної. Це дозволило впливати на рівень опромінення будь-якої частини ділянки посіву і тим самим добитися її високої однорідності, створивши однакові умови для світлокультури рослин. На рис. 3 показано загальний вигляд установки. Опромінювач 1 з'єднаний з електродвигуном 2, який обертає його навколо вертикальної осі, змінюючи азимутальний кут  $\beta$ . Електродвигун 3 переміщає опромінювач навколо горизонтальної осі і змінює кут нахилу у вертикальній площині  $\zeta$ . Для обертання опромінювача в горизонтальній площині використано асинхронний двигун з

частотним регулюванням, а у вертикальній – кроковий двигун.

Електропривід даної опромінювальної установки розрахований на тривалий режим роботи і відноситься до класу механізмів із постійним навантаженням, у яких статичний момент опору не залежить від швидкості. Тут основним джерелом опору є тертя. В якості опромінювача було використано світлодіодний світловий прилад СП ДО73У-50-02 потужністю 50 Вт (виробник ОСП «Корпорація Ватра»). При виборі потужності асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором користувалися класичним методом, коли момент інерції з моментом опору опромінювача за допомогою кінематичної передачі приводився до моменту опору на валу двигуна.

При виборі крокового двигуна до уваги брався його крутний момент. При цьому користувалися графічною залежністю крутного моменту від швидкості і напруги живлення, що відразу давало інформацію для вибору драйвера двигуна.

Таким чином, для обертання опромінювача в горизонтальній площині використовували мотор-редуктор типу 5IK60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1300 об/хв. Номінальний струм – 0,5 А. Для керування швидкістю обертання мотор-редуктора було використано однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт, що дало змогу регулювати оберти двигуна в межах від 300 до 1300 об/хв, що, в свою чергу, на валу редуктора становило від 1,5 до 7,5 об/хв. Для переміщення у вертикальній площині використовували кроковий двигун пета 23 (23HS2430), в якого струм фази - 3.0 А, утримуючий момент - 280 Н·см та драйвер DM556.

Періодичність зміни опромінення задавалась параметрами електроприводів. Також для визначення положення, швидкості і прискорення опромінювача було додатково встановлено давачі. Дана установка може встановлюватися на переносному штативі або кріпитися до покриття теплиці.

Блок-схема системи керування електроприводу ОУ з обертанням опромінювача навколо вертикальної і горизонтальної осей приведена на рис.4. Тут: МК – мікроконтролер Arduino Uno, який призначений для обробки вхідних сигналів і подальшого керування роботою двигунів; ЧП – частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт; АД – асинхронний двигуни для обертання навколо вертикальної осі; КД – кроковий двигун для обертання навколо горизонтальної осі; ДКД – драйвер крокового двигуна; Д1, Д2 – давачі положення, швидкості і прискорення опромінювача; ОП – опромінювач; РК – ручне керування.

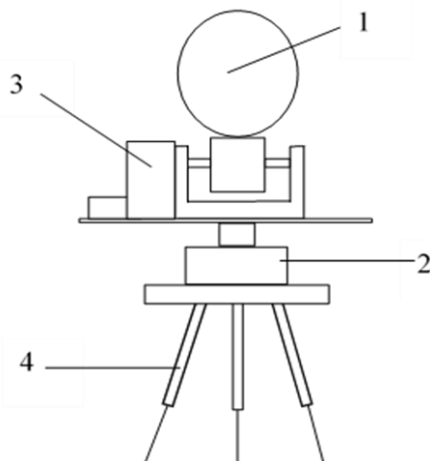


Рис.3. Загальний вигляд ОУ з одночасним обертанням опромінювача навколо горизонтальної та вертикальної осей: 1 – опромінювач; 2 – електропривід повороту опромінювача навколо вертикальної осі; 3 – електропривід повороту опромінювача навколо горизонтальної осі; 4 – штатив

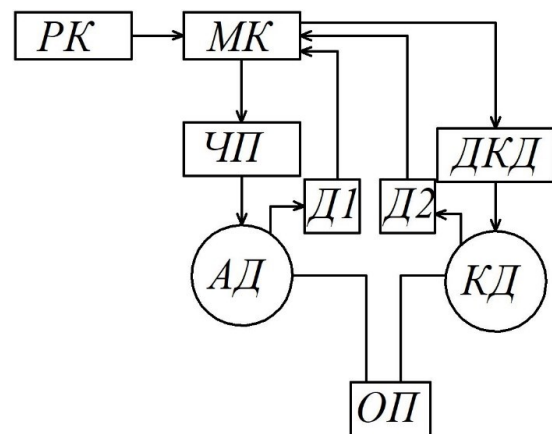


Рис.4. Блок-схема електроприводу ОУ з обертанням опромінювача навколо вертикальної і горизонтальної осей: МК – мікроконтролер; ЧП – частотний перетворювач; АД – асинхронний двигуни; КД – кроковий двигун; ДКД – драйвер крокового двигуна; Д1, Д2 – давачі положення, швидкості і прискорення опромінювача; ОП – опромінювач

Система керування роботою опромінювача реалізована на базі мікроконтролера Arduino Uno. МК аналізує вхідну інформацію з бази даних та давачів положення опромінювача і формує певну послідовність керуючих команд з заданою частотою оновлення, що забезпечує необхідний закон функціонування опромінювальної установки.

Для отримання інформації про положення опромінювачів в просторі в даній системі керування використано оптичні кодові давачі Д1, Д2. Вони забезпечують необхідну точність позиціонування опромінювача по траєкторії руху, а також можливість безпосереднього підключення до інформаційної шини мікроконтролера МК.

Передбачено також можливість роботи системи в режимі "Ручне керування", коли команди на вхід МК поступають з пульта ручного керування ПРК (рис. 2.5). При цьому вихід з режиму проходить автоматично при знятті оператором запиту на "Ручне керування".

#### Висновки

1. Для підвищення ефективності опромінення рослин закритого ґрунту використано установку змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача навколо вертикальної та горизонтальної осей.
2. Розглянуто математичну модель опорно-поворотного пристрою, яка дозволяє знаходити часові залежності узагальнених координат  $q_1(t)$ ,  $q_2(t)$  та визначати кутові швидкості і прискорення опромінювача.

3. Для обертання опромінювача в горизонтальній площині використовували мотор-редуктор типу 5IK60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1300 об/хв. і однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт.

4. Для переміщення опромінювача у вертикальній площині використовували кроковий двигун nema 23 (23HS2430), та драйвер DM556.

5. Запропоновано систему керування електроприводу на основі мікроконтролер Arduino Uno, частотного перетворювача та драйвера крокового двигуна.

### Література

1. Yakovlev, A. N., Turanov, S. B., Kozyreva, I. N., & Starodubtseva, D. V. Sources with different spectra radiation influence on plants growth and development. *Advanced Materials Research*, – 2014 – P. 830-834.
2. Москаленко М. П. Фізіологія рослин : навчальний посібник: у 2-х частинах. Ч. 2 / Суми, 2020. – 93 с
3. Энергетичний фактор забезпечення конкурентоспроможності продукції : монографія / В. І. Перебийніс, О. В. Федірець. – Полтава : ПУЕТ, 2012. – 190 с.
4. Yudaev, I. V., Charova, D., Feklistov, A., Mashkov, S., Kryuchin, P., Vasilyev, S., Armenyanov, N. (2019). Research of green vegetable cultivation technology under photoculture conditions in irradiation chamber. In *Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development*. – 2019. – P. 368-395.
5. J. D. Wacker, M. J. Verheul, I. Righini, H. Maessen, and C. Stanghellini, “Optimisation of supplemental light systems in Norwegian tomato greenhouses-A simulation study,” *Biosyst. Eng.* – 2022 – P. 129–142.
6. W. J. P. Kuijpers, D. Katzin, S. van Mourik, D. J. Antunes, S. Hemming, and M. J. G. van de Molengraft, “Lighting systems and strategies compared in an optimally controlled greenhouse,” *Biosyst. Eng.* – 2021– P. 195–216.
7. Guay, R. Eclairage et regie des déplacements dun module de culture en serre sur deux niveaux / R. Guay, R. Theriault // *Canad. agr. Engg.* – 1990. – № 2. – Т. 32. – P. 303–308.
8. Said Abu-Ghosh, D. Fixler, Z. Duibinsky, and D. Iluz, “Flashing-light-in-microalgae-biotechnology,” *Bioresour. Technol.* 203, 357–363 (2016).
9. Galiullin, R.R. & Aipov, R.S. Yarullin, R.B.. Efficiency of plant irradiation in protected ground structures. *Vestnik of the bashkir state agrarian university.*, 2019. No. 54. Pp. 100-105. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-100-105.
10. Fangcai Chen, Jianan Zheng, Haoyu Ma, Wei Zhang and др. “Pulsed-lighting LED luminaire for agriculture with geometrical optical solution” Vol. 31, No. 4 / 13 Feb 2023 / *Optics Express*
11. Савченко П.І., Лавріненко О.Ю. Основи електроприводу: підручник / Савченко П.І., Лавріненко О.Ю., Синявський О.Ю., Войтюк В.В., Савченко І.М., Голодний І.М. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017 – 524 с.
12. Математична модель рухомого опромінювального пристрою // Володимир Андрійчук, Марія Котик, Любов Костик, Мирослав Наконечний, Ярослав Осадца, Ярослав Філюк // *Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Математичні методи та моделі технічних і економічних систем»*, 22-23 листопада 2022. – Т:ТНТУ – С.33-35.

### Reference

1. Yakovlev, A. N., Turanov, S. B., Kozyreva, I. N., & Starodubtseva, D. V. Sources with different spectra radiation influence on plants growth and development. *Advanced Materials Research*, – 2014 – P. 830-834.
2. Moskalenko M. P. Physiology of plants: study guide: in 2 parts. Part 2 / Sumy, 2020. – 93 p
3. The energy factor of ensuring the competitiveness of products: monograph / V. I. Perebyinis, O. V. Fedirets. – Poltava: PUET, 2012. – 190 p.
4. Yudaev, I. V., Charova, D., Feklistov, A., Mashkov, S., Kryuchin, P., Vasilyev, S., Armenyanov, N. (2019). Research of green vegetable cultivation technology under photoculture conditions in irradiation chamber. In *Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development*. – 2019. – P. 368-395.
5. J. D. Wacker, M. J. Verheul, I. Righini, H. Maessen, and C. Stanghellini, “Optimisation of supplemental light systems in Norwegian tomato greenhouses-A simulation study,” *Biosyst. Eng.* – 2022 – P. 129–142.
6. W. J. P. Kuijpers, D. Katzin, S. van Mourik, D. J. Antunes, S. Hemming, and M. J. G. van de Molengraft, “Lighting systems and strategies compared in an optimally controlled greenhouse,” *Biosyst. Eng.* – 2021– P. 195–216.
7. Guay, R. Eclairage et regie des déplacements dun module de culture en serre sur deux niveaux / R. Guay, R. Theriault // *Canad. agr. Engg.* – 1990. – № 2. – Т. 32. – P. 303–308.
8. Said Abu-Ghosh, D. Fixler, Z. Duibinsky, and D. Iluz, “Flashing-light-in-microalgae-biotechnology,” *Bioresour. Technol.* 203, 357–363 (2016).
9. Galiullin, R.R. & Aipov, R.S. Yarullin, R.B.. Efficiency of plant irradiation in protected ground structures. *Vestnik of the bashkir state agrarian university.*, 2019. No. 54. Pp. 100-105. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-100-105.
10. Fangcai Chen, Jianan Zheng, Haoyu Ma, Wei Zhang and др. “Pulsed-lighting LED luminaire for agriculture with geometrical optical solution” Vol. 31, No. 4 / 13 Feb 2023 / *Optics Express*
11. Savchenko P.I., Lavrinenko O.Iu. Basics of an electric drive: a textbook / Savchenko P.I., Lavrinenko O.Iu., Syniavskiy O.Iu., Voitiuk V.V., Savchenko I.M., Holodnyi I.M. – К.: Lira-K Publishing House, 2017 – 524 p.
12. Mathematical model of a moving irradiating device // Volodymyr Andriichuk, Mariia Kotyky, Liubov Kostyk, Myroslav Nakonechnyi, Yaroslav Osadtsa, Yaroslav Filiuk // *Collection of abstracts of reports of the International scientific and technical conference "Mathematical methods and models of technical and economic systems"*, November 22-23, 2022. - T:TNTU - P.33-35.