

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**ПРАЦІ**

Таврійського державного  
агротехнологічного  
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

**Випуск 24, том 3**  
Наукове фахове видання  
*Технічні науки*



Запоріжжя – 2024 р.

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



## ПРАЦІ

**Таврійського державного  
агротехнологічного університету**  
*Технічні науки*

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**  
*Technical sciences*

*Виходить 3 рази на рік  
Видається з 1998 р.*

**Випуск 24, том 3  
Issue 24, volume 3**

**WEB:** <https://oj.tsatu.edu.ua>

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

**Запоріжжя – 2024**



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. 208 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

**Головний редактор**

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Заступники головного редактора**

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,  
д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Погорельцева Д. О. (Україна)

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ****ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)  
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)  
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)  
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)  
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)  
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)  
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)  
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)  
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)  
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**Editor in chief**

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Deputy editors in chief**

Nadykto V., corresponding member of NAAS of  
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Executive secretary**

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**Technical secretary**

Pogoreltseva D. (Ukraine)

**SECTORAL MACHINE BUILDING**

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)  
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)  
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)  
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)  
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)  
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)  
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)  
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,  
ELECTRICAL ENGINEERING AND  
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)  
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)  
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Холодняк Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)  
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц. (Україна)  
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)  
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

**ПРАЦІ**

**Таврійського державного  
агротехнологічного університету**

**Випуск 24, том 3**

**Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний  
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.  
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою  
Таврійського державного агротехнологічного  
університету  
імені Дмитра Моторного  
Протокол № 11 від 28.06.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**  
Переліку наукових фахових видань України  
(науки: технічні), в яких можуть  
публікуватися результати дисертаційних  
робіт на здобуття наукових ступенів  
доктора наук і доктора філософії /  
кандидата наук (накази МОН України від  
17.03.2020 р. № 409)

**Адреса редакції**

Юридична: 72312, Запорізька обл.  
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18  
Фактична: 69600, Запорізька обл.  
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66  
<https://oj.tsatu.edu.ua>,  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3

**COMPUTER SCIENCES**

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Matsulevych O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

**FOOD TECHNOLOGIES**

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)  
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)  
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE  
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**Issue 24, volume 3**

**Founder**

Dmytro Motorny Tavria State  
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration  
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019  
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic  
Board of Dmytro Motorny Tavria State  
Agrotechnological University  
Record No. 11 dated June 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of  
scientific professional editions of Ukraine  
(technical sciences), category B, in which the  
results of theses for obtaining scientific degrees  
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /  
Candidate of Sciences can be published (order of  
the Ministry of Education and Science of Ukraine  
dated March 17, 2020, No. 409)

**Address of the Editorial office**

Legal address: 72312, Zaporizhzhia region  
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.  
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region  
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.  
<https://oj.tsatu.edu.ua>,  
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3



---

**ЗМІСТ / CONTENTS**

---

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., В'юник О. В.** Підвищення енергоефективності диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів 7
- Kiurchev S., Samoichuk K., Kovalyov A., Palianychka N., Viunyk O.** Increasing the energy efficiency of dispersing in a pulsation liquid products homogenizer
- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Моделювання керованості колісних тракторів шляхом використання адаптивного рульового керування 18
- Zhuravel D., Bondar A.** Simulation of controlling wheel tractors using adaptive steering
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Дашивець Г. І.** Модернізація сепаратора СЦ-3 39
- Didur V., Petrychenko I., Dashyvets G.** Modernization of the СЦ -3 separator
- Склябинський В. І., Гусак О. Г., Юрченко О. Ю., Нічволодін К. В.** Особливості розташування декількох обертових вібраційних грануляторів (овг) у одній грануляційній башті 53
- Sklabinskyi V., Gusak O., Yurchenko O., Nichvolodin K.** Features of placement of several rotating vibrating granulators (ovg) in one granulation tower
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.** Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти зброженої біомаси 62
- Skliar O., Skliar R., Komar A.** Improving the design of a biogas plant with heat recovery of fermented biomass
- Паляничка Н. О., Верхованцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О., Ялпачик В. Ф.** Дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі 72
- Palianychka N., Verkholtantseva V., Chervotkina O., Kovalov A., Yalpachyk V.** Study of the process of dispersing milk fat in a pulse homogenizer

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

- Трунова І. М., Середя А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Інженерний менеджмент для підвищення надійності електропостачання 82
- Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Engineering management to increase the power supply continuity
- Панов А. О., Гриценко С. Д., Галько С. В.** Розробка нечіткого алгоритму регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною і нульовою послідовностями 95



- Panov A., Hrytsenko S., Halko S.** Development of a fuzzy algorithm for regulating coefficients of voltage unsymmetry by reverse and zero sequences
- Діордієв В. Т., Вовк О. Ю.** Лазерна передпосівна обробка насіння овочевих культур 105
- Diordiev V., Vovk O.** Laser pre-sowing treatment of vegetable seeds
- Савченко О. А., Мірошник О. О., Козловський О. А., Трунова І. М., Серєда А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Попадченко С. А., Єрмак Д. А., Волобуєв А. С.** Дослідження чутливості та стійкості техніко-економічної моделі системи плавлення ожеледі на групі взаємопов'язаних ПЛЛ 10 кВ 114
- Savchenko O., Miroshnyk O., Kozlovskiy O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazi V., Popadchenko S., Yermak D., Volobuev A.** Study of sensitivity and stability of techno-economic model of the de-icing system on a group of interconnected 10 kV ohl

### КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Проблеми узгодження міжнародних, міждержавних та національних стандартів україни під час оформлення конструкторської документації в SolidWorks 122
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Problems of harmonization of international, interstate and national standards of ukraine during design documentation in SolidWorks
- Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Михайленко О. Ю., Тетєрвак І. Р.** Комп'ютерне моделювання функціональних поверхонь індивідуальних вітрогенераторних станцій малої та середньої потужності 138
- Matsulevych O., Vershkov O., Mikhailenko O., Tetervak I.** Computer simulation of the functional surfaces of individual wind generator stations of small and medium power
- Залєвська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Якубовський О. Я.** Сегментація медичних зображень методом фрактальної кластеризації 151
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov I. Polovyi A., Yakubovskiy O.** Segmentation of medical images by fractal clustering method

### ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А., Малкіна В. М., Басанець С. В., Пендрак Я. І.** Дослідження частки впливу абіотичних чинників на накопичення фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні за допомогою методу головних компонент 161
- Ivanova I., Serdyuk M., Tymoshchuk T., Kryvonos I., Malkina V., Basanets S., Pendrak Ya.** Studying the share of influence of abiotic factors on the accumulation of dry soluble substances in cherry fruits using the principal components method



- Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н. С.**  
Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками 177  
**Palamarchuk I., Zahorko N., Yaremenko Ya., Svatova N.** Mathematical models of  
the quality of meat products with vegetable additions
- Ткаченко А. Г., Бандура І. І.** Попередня оцінка ефективності зберігання  
грибів шіїтаке в тарі з різною товщиною харчової плівки та застосуванням  
вологоутримуючих матеріалів 189  
**Tkachenko A., Bandura I.** A preliminary evaluation of the efficacy of storing  
shiitake mushrooms in containers using variety food films and moisture-retaining  
materials
- Крижак, Г. П., Калініна Л. М., Фіалковська Л. В.** Перспективи  
використання горіху фісташка (*Pistacia Vera l.*) у технології ковбасних  
виробів 199  
**Kryzhak L., Kalinina H., Fialkovska L.** Prospects of using the pistachio nut (*Pistacia  
Vera l.*) in the technology of sausage products

**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.

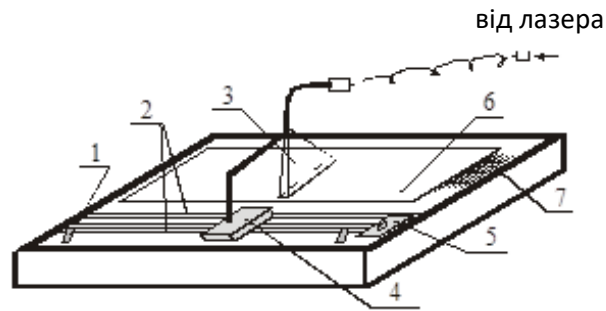


Рис.1.Лазерна приставка

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:

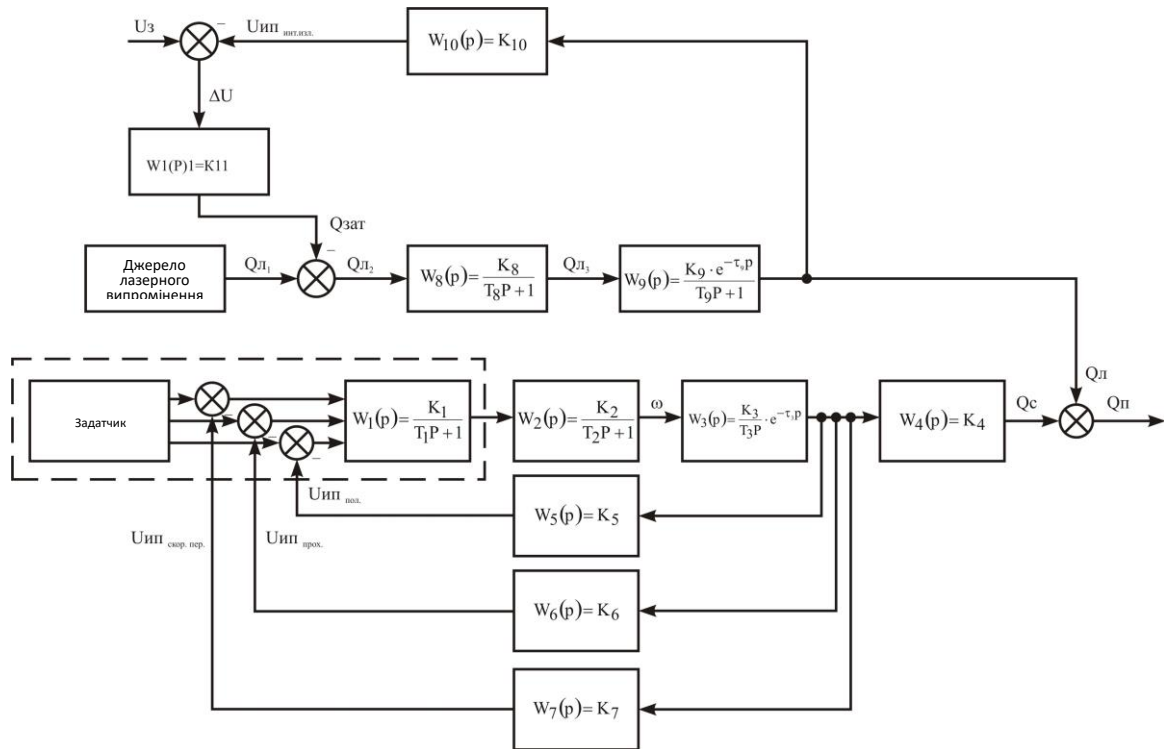


Рис.2. Структурно-алгоритмічна схема лазерної приставки

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

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

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.

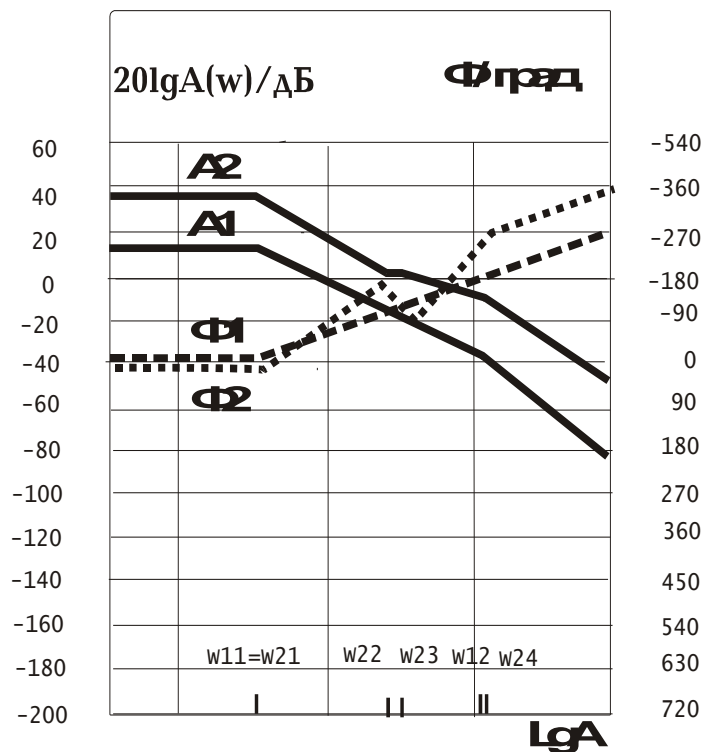


Рис.3. Діаграма Боде

**Висновки.** З рис.3 видно, що зі збільшенням частоти має місце випереджальне перетинання ЛАЧХ (A1 та A2) 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.



**ПРАЦІ**  
**Таврійського державного агротехнологічного університету**

*Наукове фахове видання*

**Випуск 24, том 3**

*Заснований у 1998 р*  
*Виходить три рази на рік*

Свідоцтво про державну реєстрацію  
Друкованого засобу масової інформації  
Міністерство юстиції  
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

---

Підписано до друку 01.07.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 24,18. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1  
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08  
E-mail: mailbox@helvetica.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.