



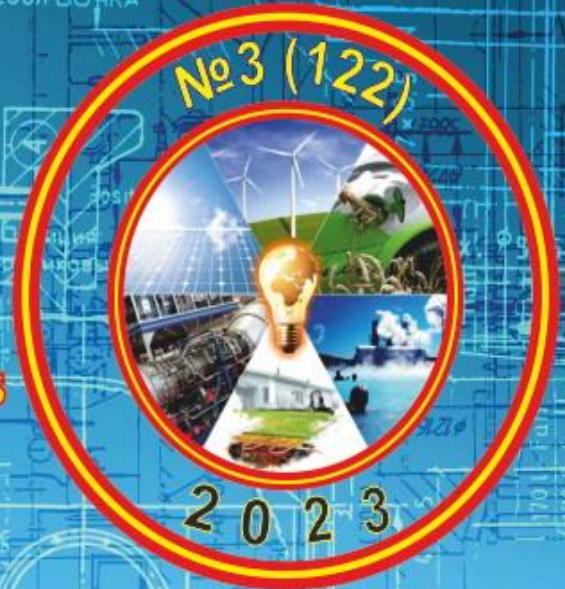
Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI:10.37128/2520-6168-2023-3

Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness



ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 3 (122) / 2023

м. Вінниця - 2023

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» /
Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2023. № 3 (122). С. 140.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету
(протокол № 7 від 02.12.2023 р.)*

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 року №886);*

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Солоня О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор, Технічний університет Габрово (Болгарія)

Аудріус Жунда – к.т.н., доцент, Університет Вітовта Великого (Литва)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net



ЗМІСТ

I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Алієв Е.Б., Кошулько В.С., Кочережко Н.В.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО ЗМІШУВАЧА КОМБІКОРМІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.....** 5*Igor Zozulyak***SIMULATION OF THE PROCESS OF VIBRATING SUNFLOWER DRYING.....** 14*Михалевиц В.М., Штуць А.А., Колісник М.А.***ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ЗА РАХУНОК АНАЛІЗУ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМОВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК.....** 22*Yuri Paladiychuk, Inna Telyatnik, Marina Kubai***RESEARCH OF THE VIBRATORY FORMATION OF THE COMPASSION OF POWDER MATERIALS BY HYDRO-IMPULSE LOADING.....** 35*Яропуд В.М., Говоруха В.Б., Дацюк Д.А.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЗАТОРА ВИСІВНОГО АПАРАТА СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР.....** 43

II. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

*Борис М.М., Мартинюк А.В., Грицун А.В., Швець Л.В.***ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ РОТОРНИХ ОЧИСНИКІВ З ГОЛОВКАМИ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....** 53*Заєць М.Л.***МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКСТРАКЦІЇ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ З ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ НАЛИПАННЯ ҐРУНТУ НА ЇХНІЙ ПОВЕРХНІ.....** 63*Єленич А.П.***КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТРАКТОРІВ КОМПАНІЇ MASSEY FERGUSON.....** 71*Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Roman Lipnitskiy***WAYS TO STABILIZE THE CONDITION OF THE TRANSPORTATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS IN THE CONDITIONS OF LARGE-SCALE RUSSIAN AGGRESSION.....** 82*Olena Trukhanska***IMPROVING THE ORGANIZATION OF CENTRALIZED RESTORATION OF AGRICULTURAL EQUIPMENT PARTS.....** 90*Павленко С.І.***ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИРОБНИЦТВА КОМПОСТІВ З ПІДСТИЛКОВОГО ПОСЛІДУ В УМОВАХ ГОСПОДАРСТВА.....** 96*Shvets Ludmila***DEVELOPMENT OF MACHINE UNIT FOR RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF SOIL PROCESSING.....** 109

III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

*Бойко С.М., Жуков О.А., Саблін О.І., Риков Г.Ю.***ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В РЕГІОНАХ З ОБМЕЖЕНИМИ РЕСУРСАМИ ПИТНОЇ ВОДИ.....** 116*Граняк В.Ф., Кожушко О.В.***ЕКСПРЕС МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....** 124*Svetlana Kravets***TECHNOLOGICAL PROGRESS IN SOLAR PANELS: ACHIEVEMENTS AND INNOVATIONS.....** 131



CONTENTS

I. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

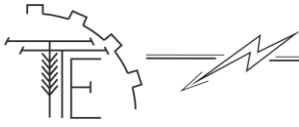
<i>Elchyn Aliiev, Vitalii Koshulko, Nazar Kocherezhko</i>	
ОБІРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО ЗМІШУВАЧА КОМБІКОРМІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ.....	5
<i>Igor Zozulyak</i>	
SIMULATION OF THE PROCESS OF VIBRATING SUNFLOWER DRYING.....	14
<i>Volodymyr Mikhalevich, Andrii Shtuts, Mykola Kolisnyk</i>	
INVESTIGATION OF STAMPING BY WRAPPING PROCESSES THROUGH MATERIAL DEFORMATION MODELING ANALYSIS.....	22
<i>Yuri Paladiychuk, Inna Telyatnik, Marina Kubai</i>	
RESEARCH OF THE VIBRATORY FORMATION OF THE COMPASSION OF POWDER MATERIALS BY HYDRO-IMPULSE LOADING.....	35
<i>Vitalii Yaropud, Volodymyr Govorukha, Dmytro Datsiuk</i>	
EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DISPENSER OF THE SEEDING APPARATUS OF THE SELECTION SEEDER OF SMALL SEED CULTURES.....	43

II. AGROENGINEERING

<i>Mykola Borys, Andrii Martynyuk, Anatolii Hrytsun, Shvets Ludmila</i>	
FEATURES OF THE INTERACTION OF ROTARY CLEANERS WITH THE HEADS OF SUGAR BEET ROOTS.....	53
<i>Maksym Zayets</i>	
MODELING OF WORKING BODIES FOR THE EXTRACTION OF SUGAR BEET ROOTS TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF SOIL STICKING ON THEIR SURFACE.....	63
<i>Anatoliy Yelenych</i>	
DESIGN FEATURES OF TRACTORS MASSEY FERGUSON COMPANIES.....	71
<i>Iryna Hunko, Oleksandr Kholodiuk, Roman Lipnitskiy</i>	
WAYS TO STABILIZE THE CONDITION OF THE TRANSPORTATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS IN THE CONDITIONS OF LARGE-SCALE RUSSIAN AGGRESSION.....	82
<i>Olena Trukhanska</i>	
IMPROVING THE ORGANIZATION OF CENTRALIZED RESTORATION OF AGRICULTURAL EQUIPMENT PARTS.....	90
<i>Sergii Pavlenko</i>	
TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF THE PRODUCTION OF COMPOSTS FROM LITTER MANURE IN THE CONDITIONS OF THE FARM.....	96
<i>Shvets Ludmila</i>	
DEVELOPMENT OF MACHINE UNIT FOR RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF SOIL PROCESSING.....	109

III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Serhii Boiko, Oleksii Zhukov, Oleg Sablin, Hennadii Rykov</i>	
PRINCIPLES OF APPLICATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN REGIONS WITH LIMITED DRINKING WATER RESOURCES.....	116
<i>Valerii Hraniak, Oleksandr Kozhushko</i>	
EXPRESS METHOD OF DETERMINING INSTANT CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS.....	124
<i>Svetlana Kravets</i>	
TECHNOLOGICAL PROGRESS IN SOLAR PANELS: ACHIEVEMENTS AND INNOVATIONS.....	131



УДК 631.331

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-3-5

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЗАТОРА ВИСІВНОГО АПАРАТА
СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР**

Яропуд Віталій Миколайович, к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет
Говоруха Володимир Борисович, д.ф.-м.н., проф.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Дацюк Дмитро Анатолійович, аспірант
Вінницький національний аграрний університет

Vitalii Yaropud, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Volodymyr Govorukha, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Dnipro State Agrarian and Economic University

Dmytro Datsiuk, Postgraduate Student
Vinnytsia National Agrarian University

Розроблено макетний зразок дозатора висівного апарата селекційної сівалки у складі лабораторного стенду. В якості приводу дозатора висівного апарата використовується сервопривід MG995. До складу експериментального стенду входить транспортерна стрічка, яка імітує процес переміщення сівалки. Приводом транспортерної стрічки є кроковий двигун SY42STH38-1684A.

Факторами чисельного моделювання є діаметр насіння D_n (0,001–0,003 м), кут повороту заслінки α (0,3489–0,8028 рад), проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt (0,2–0,4 с), швидкість переміщення транспортерної стрічки (сівалки) V (1–4 м/с). Кількісним критерієм оцінки є норма висіву насіння N . Якісним критерієм оцінки є точність висіву δ .

В результаті експериментальних досліджень дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіненних культур встановлені залежності норми висіву насіння N і точності висіву δ_N від середнього ефективного діаметра насіння D_{ef} , кута повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt і швидкості переміщення сівалки V для трьох варіантів форми отворів.

Наочне і статистичне порівняння теоретичних і експериментальних залежностей свідчить про адекватність отриманих теоретичних моделей і достовірність отриманих експериментальних закономірностей.

Встановлено, що точність висіву δ_N для I варіанту отвору (трикутник) дозатора висівного апарата знаходиться в діапазоні 78,0–99,9 %, для II варіанту (напівколо) діапазон 71,1–98,3 %, для III варіанту (прямокутник) діапазон 67,3–97,4 %. Тому враховуючи теоретичний висновок і отримані експериментальні дані в подальших дослідженнях приймаємо I варіант отворів (трикутні).

Ключові слова: сівалка, насіння, висівний апарат, точність висіву, норма висіву, параметри, ефективність, експеримент, моделювання, сошник, модель, показники.

Ф. 7. Рис. 6. Літ. 20.

1. Вступ

Висівний апарат – один з найбільш важливих робочих органів сівалки. Він служить для відбору із загальної маси певної кількості насіння і формування вихідного потоку їх із заданими параметрами [1, 2]. Тому переваги і недоліки сівалок, щодо якості розподілу насіння в ряду і в цілому на засіяному полі, головним чином визначаються роботою висівних апаратів.

Найкращу точність висіву дрібнонасіненних культур забезпечують електромеханічні висівні апарати [3, 4]. Електромеханічні висівні апарати відрізняються від механічних наявністю електропривода робочих органів. Можуть бути використані як крокові двигуни так і сервопривода. Використання системи контролю електроприводами і різноманітними датчиками швидкості і положення дозволяє виконувати процес висіву з достатньо високою точністю навіть для дрібнонасіненних культур. При цьому є можливість змінювати сортозразки насіння безпосередньо під час висіву на різних ділянках. Недоліками електромеханічних висівних апаратів є складність



технічного обслуговування, високий рівень знань обслуговуючого персоналу і необхідність формування бази даних сортозразків перед процесом висіву [4–7].

При посіві дрібнонасіньних культур на ділянках сортовипробування і попереднього розмноження велике поширення в Україні отримали пневматичні і електромеханічні сівалки. Однак, проблемою їх використання є не достатня рівномірність розподілу насіння вздовж рядка, що пов'язано з випадковими процесами, які відбуваються під час висіву. Внаслідок чого посіви виходять нерівномірними – із згущенням або розрядженням рослин в рядку що, в кінцевому підсумку, призводить до зниження врожайності селекційноцінних дрібнонасіньних культур.

У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на вдосконалення процесу дозування насіння електромеханічними висівними апаратами селекційних сівалок мають важливе наукове і практичне значення.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проведений аналіз показав, що найпоширенішими селекційним сівалками в Україні є сівалки із висівними електромеханічними апаратами «Клен», які призначені для точного рядового висіву насіння дрібнонасіньних культур на ділянках попереднього і виробничого конкурсного сортовипробування, а також для проведення агротехнічних дослідів. Висівний апарат оснащено надійним електромеханічним приводом і ротаційним розподільником насіння. Розподільник насіння має плавне регулювання частоти обертання для найкращого розподілу різного за величиною насінневого матеріалу по сошниках [1].

Аналіз літературних джерел показав достатньо широкий спектр методів досліджень сівалок точного висіву. Узагальнюючи можна розділити їх на чотири великих груп: аналітичні методи, методи чисельного моделювання, лабораторно-експериментальні і експериментально-польові.

Аналітичні методи в статтях [8–10] в основному базуються на визначенні траєкторій руху насіння під час їх проходження через висівний апарата. В результаті досліджень складаються диференційні рівняння, які мають складний розв'язок. Для вирішення наведених рівнянь зазвичай роблять припущення і спрощення, що призводить до погіршення точності отриманих результатів. Тому даний метод будемо використовувати лише в якості розрахункових елементів дослідження.

Лабораторно-експериментальні дослідження проводять у лабораторних умовах з використанням відповідних стендів із приладовимірального обладнання. Такі стенди використовувалися в роботах [11–16]. Основними елементами таких стендів є рухоме поле у вигляді стрічкового транспортеру і високошвидкісні відеокамери для фіксації положення насіння. Тому в рамках подальших досліджень передбачено створення такого стенду і проведення відповідних лабораторних досліджень, які дадуть змогу не лише обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри висівного апарата, а й проводити його налаштування перед встановленням на сівалку.

3. Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є оптимізація конструктивно-режимних параметрів дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіньних культур.

4. Викладення основного матеріалу

Для перевірки отриманих в результаті чисельного моделювання [17–18] закономірностей роботи дозатора висівного апарата селекційної сівалки розроблено і виготовлено його макетний зразок у трьох виконаннях отворів: I – трикутник, II – напівколо, III – прямокутник. 3D-моделі дозаторів представлені на рис. 1.

Схема і загальний вигляд макетного зразка дозатора висівного апарата селекційної сівалки у складі створеного лабораторного стенду приведено на рис. 2. В якості приводу дозатора висівного апарата використовується сервопривід MG995: швидкість повороту: 0,17 с / 60 ° (4,8 В) – 0,13 с / 60 ° (6,0 В), зусилля на валу: 9 кг/см (4,8 В) – 12 кг/см (6 В). До складу експериментального стенду входить транспортерна стрічка, яка імітує процес переміщення сівалки. Приводом транспортерної стрічки є кроковий двигун SY42STH38-1684A.

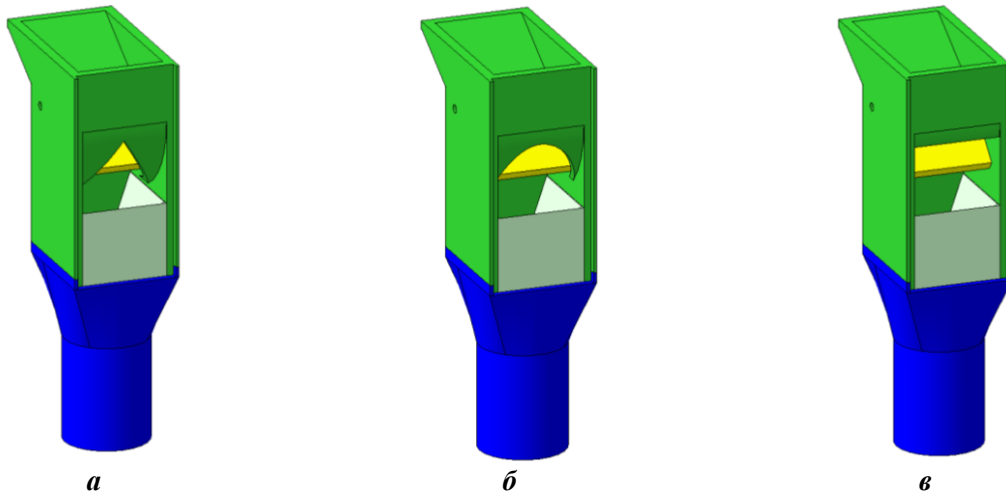


Рис. 1. 3D-модель дозатора висівного апарата селекційної сівалки із отворами різної форми: трикутник (а), напівколо (б), прямокутник (в)

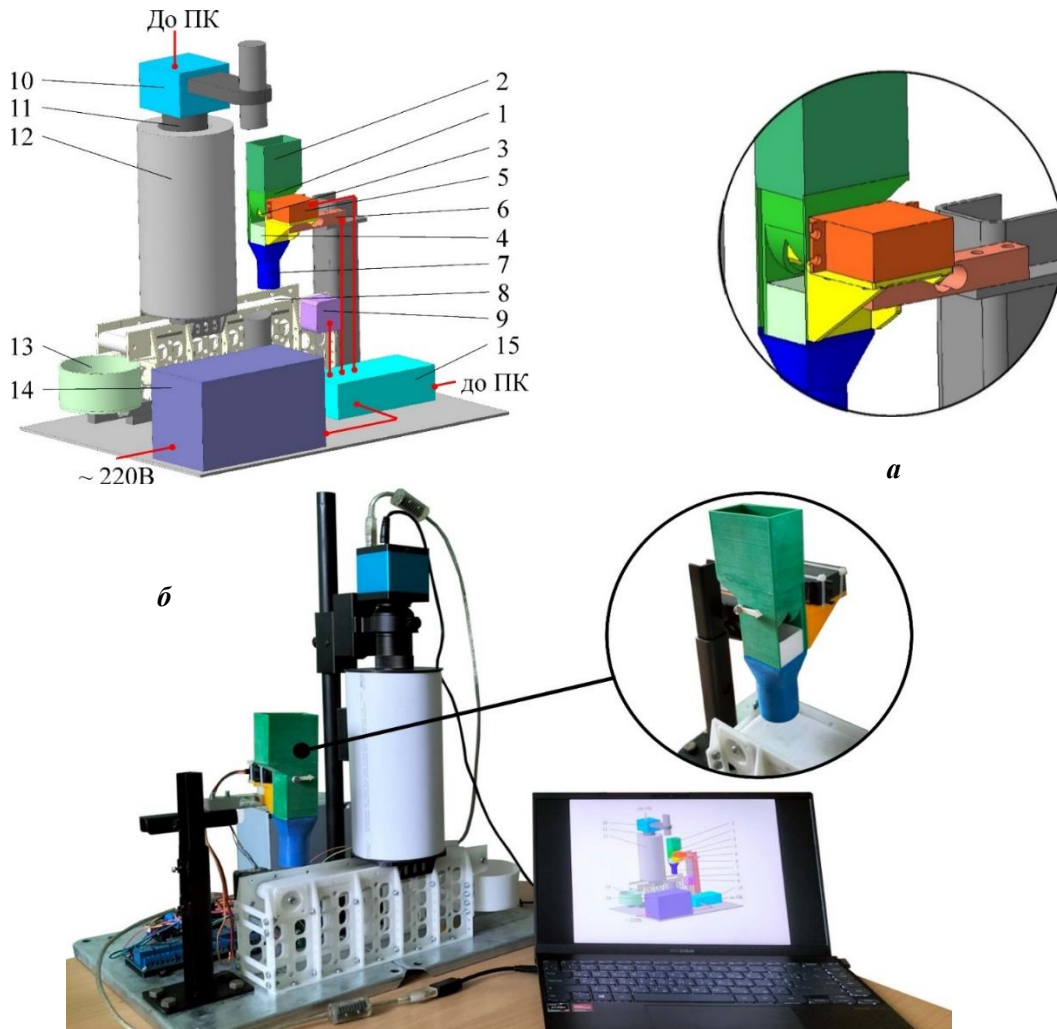


Рис. 2. Схема (а) і загальний вигляд (б) макетного зразка дозатора висівного апарата селекційної сівалки у складі створеного лабораторного стенду:

1 – дозатор; 2 – бункер; 3 – заслінка; 4 – розподільник; 5 – сервопривід MG995; 6 – тензометричний датчик; 7 – патрубок; 8 – транспортерна стрічка; 9 – кроковий двигун SY42STH38-1684A; 10 – цифрова відеокамера Video Microscope Camera 1080P 16MP; 11 – об’єктив; 12 – тубус із підсвіткою; 13 – забірник насіння; 14 – блок живлення; 15 – блок керування (контролер Arduino Uno R3 ATmega328, контролер крокового двигуна, модуль HX711)



Макетний зразок дозатора висівного апарата прикріплено до рами через тензометричний датчик (1 кг, абсолютна похибка вимірювання 0,1 г), який підключено до модуля HX711. Сервопривід MG995, модуль HX711, кроковий двигун SY42STH38-1684A через відповідний контролер підключені до контролера Arduino Uno R3 ATmega328. Електрична схема підключення макетного зразка дозатора висівного апарата приведена на рис. 3.

Для забезпечення точності роботи тензометричного датчика було проведено його калібрування. Після проведення статичного калібрування з використанням набору лабораторних гир (з відхиленням від номіналу 0,1 г), було встановлено математичне співвідношення для перерахунку вимірної напруги у відповідні значення маси:

$$M = 400,6(U - U_0), \quad (1)$$

де U – вимірювана напруга, В; M – маса, г; U_0 – початкова напруга без навантаження, В. Кореляція складає $R = 0,97$.

Над транспортерною стрічкою розміщено тубус із підсвіткою, в якому встановлена цифрова відеокамера Video Microscope Camera 1080P 16MP. З використанням способу автоматичного фенотипування насіння [19] і програмного забезпечення розробленого Алієвим Е. Б [20] фіксується положення насінини і час. На основі отриманих даних розраховується пропускна здатність і рівномірність дозування.

Факторами чисельного моделювання є діаметр насіння D_n (0,001–0,003 м), кут повороту заслінки α (0,3489–0,8028 рад), проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt (0,2–0,4 с), швидкість переміщення транспортерної стрічки (сівалки) V (1–4 м/с).

Кількісним критерієм оцінки є норма висіву насіння N , яка розраховується за формулою $N = 10000q_{\text{сер}} / VA$ (де $q_{\text{сер}}$ – середні кількісні витрати насіння, шт./с; A – відстань між рядками, м.) вимірюючи значення пропускної здатності дозатора Q_d з використанням відеокамера. Якісним критерієм оцінки є точність висіву δ , що розраховувалась за формулою $\delta_N = 100(1 - \sigma_N / \bar{N})$

(де σ_N – середньоквадратичне відхилення норми висіву, шт./га; \bar{N} – середнє значення відхилення норми висіву, шт./га).

Дослідження проводились за D-оптимальним планом Бокса-Бенкіна другого порядку для 4 факторів у трикратній повторності.

Один дослід проводився при пропусканні через експериментальний зразок дозатора подачі 300 г насіння. Повторність – триразова.

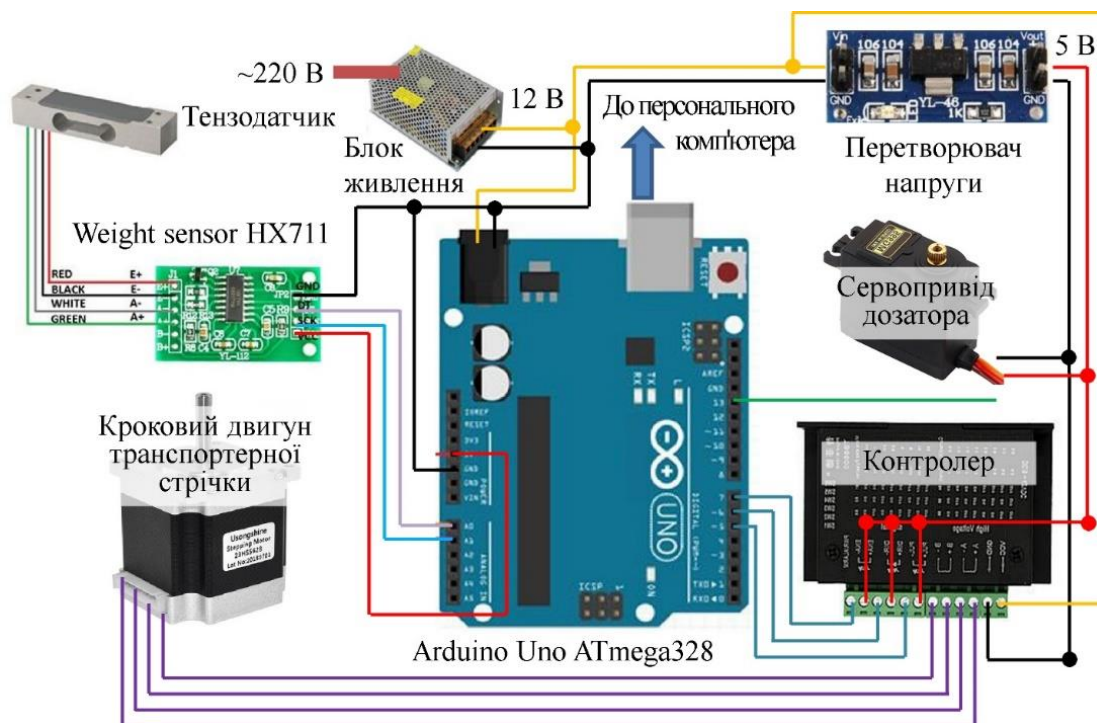


Рис. 3. Електрична схема підключення макетного зразка дозатора висівного апарата



Провівши обробку даних в програмному пакеті Wolfram Cloud отримано рівняння регресії другого порядку в розкдованому вигляді для норми висіву насіння N для трьох варіантів форми отворів без не значущих коефіцієнтів (рис. 4):

– варіант I (трикутник):

$$N = 245,046 - 40216,7 D - 172,054 V + 198,079 V^2 + 1995,69 \alpha - 2285,11 V \alpha + 9851,9 \alpha^2 - 734,58 \Delta t - 128250, D \Delta t + 1065,12 V \Delta t - 11418,9 \alpha \Delta t + 4586,35 \Delta t^2; \quad (2)$$

– варіант II (напівколо):

$$N = 219,48 - 119683, D - 163,872 V + 227,467 V^2 + 2106,21 \alpha - 2654,12 V \alpha + 10393,1 \alpha^2 - 964,349 \Delta t + 799,625 V \Delta t - 10242,2 \alpha \Delta t + 4791,04 \Delta t^2; \quad (3)$$

– варіант III (прямокутник):

$$N = -129,202 - 9833,33 D - 116,259 V - 47475, D V + 280,658 V^2 + 2663,53 \alpha - 2925,83 V \alpha + 10158,2 \alpha^2 - 537,872 \Delta t + 518,625 V \Delta t - 8425,23 \alpha \Delta t + 4084,9 \Delta t^2. \quad (4)$$

З аналізу рис. 4 видно, що зі збільшенням кута повороту заслінки α збільшується норма висіву насіння N . Також, зі збільшенням швидкості переміщення сівалки V та проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt , норми висіву насіння N зменшуються. Ця залежність буде використана для автоматичного керування режимними параметрами висівного апарата, враховуючи ефективний діаметр насіння D_{μ} та швидкість переміщення сівалки V , для забезпечення необхідного рівня норми висіву N . Порівнюючи наочно графіки залежностей I варіанту форми отвору (трикутник) для експериментальну і чисельного моделювання видно їх сумісність. В свою чергу для II і III варіантів спостерігається їх віддаленість від теоретичної залежності. Це підтверджується рис. 6, на якому представлено порівняння перетворених теоретичних залежностей [17–18] із (2)–(4) при прийнятих значеннях $V = 2$ м/с, $D = 0,003$ м, $\Delta t = 0,5$ с в розрізі кута повороту заслінки α . З аналізу рис. 4.7 можна зробити висновок, що при налаштуванні куту нахилу заслінки α в діапазоні від 0,3 рад до 0,8 рад спостерігається зміна норми висіву: для варіанту I (трикутник) – 400–3500 тис. шт/га, для варіанту II (напівколо) – 600–3200 тис. шт/га, для варіанту III (прямокутник) – 800–3900 тис. шт/га. Для однозначного твердження щодо ефективності одного з варіантів необхідно дослідити точність висіву δ .

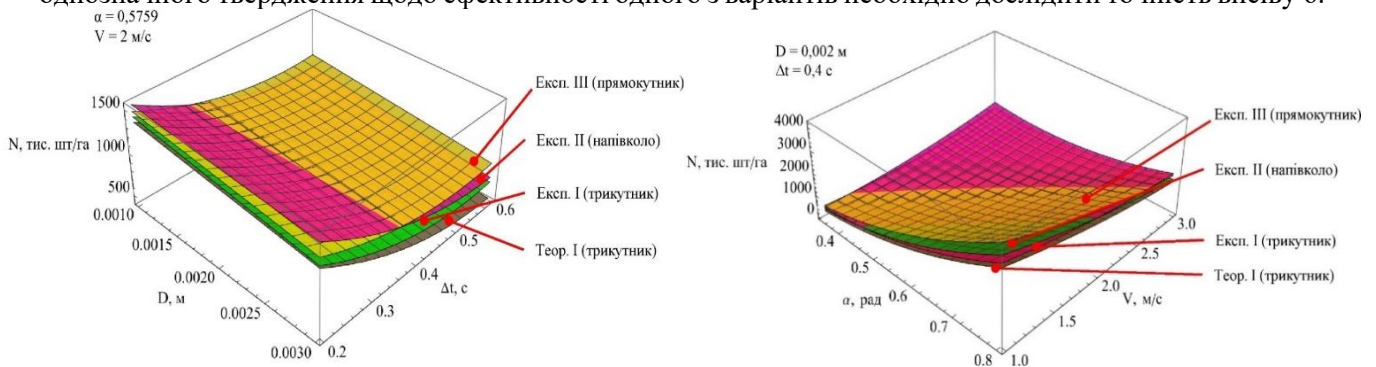


Рис. 4. Залежність норми висіву насіння N від середнього ефективного діаметра насіння D_{μ} , кута повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt і швидкості переміщення сівалки V

Задані статистичні показники дозволяють зробити висновок про адекватність математичних моделей (2)–(4). Дисперсія адекватності $S_{ад}^2(2) = 11406,4$, $S_{ад}^2(3) = 41490,7$, $S_{ад}^2(4) = 17533,4$, що є важливим показником для оцінки точності моделі. Дисперсія похибки дослідів $S_y^2(2) = 9197,9$, $S_y^2(3) = 26321,5$, $S_y^2(4) = 16760,7$, що вказує на розкид даних відносно залежності моделі. При цьому розраховане значення критерію Фішера $F(2) = 1,240$, $F(3) = 1,576$, $F(4) = 1,046$, що менше за табличне значення $F_{0,05}(20, 54) = 1,768$ при рівні значущості 0,05. Це підтверджує, що моделі (2)–(4) є адекватними, оскільки вона статистично значимо пояснюють варіацію даних. Отже, можна стверджувати, що ці математичні моделі є адекватними на будь-якому рівні довірчої ймовірності, що підтримує її використання для прогнозування та пояснення залежностей між змінними.

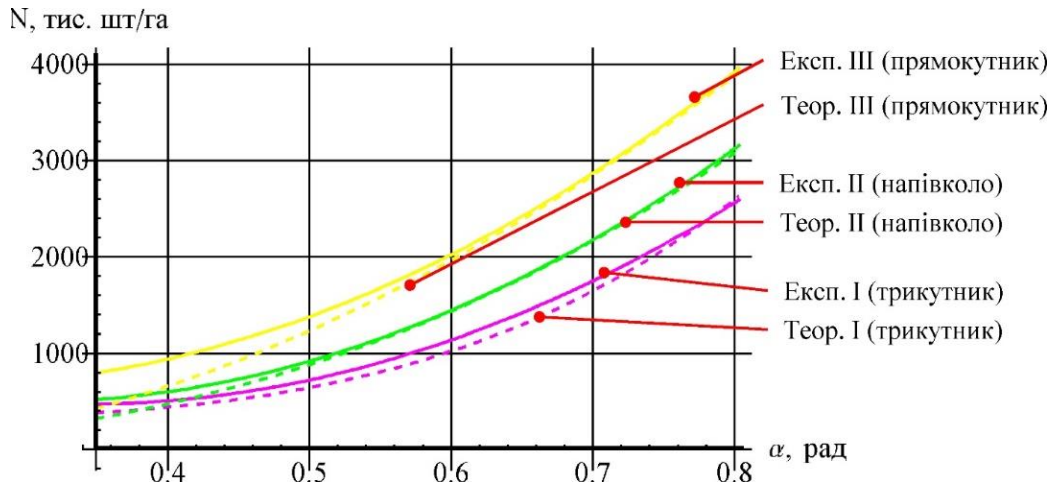


Рис. 5. Залежність норми висіву насіння N від кута повороту заслінки α при $V = 2$ м/с, $D = 0,003$ м, $\Delta t = 0,5$ с

Провівши обробку даних в програмному пакеті Wolfram Cloud отримано рівняння регресії другого порядку в розкдованому вигляді для точності висіву δ_N для трьох варіантів форми отворів без не значущих коефіцієнтів (рис. 6):

– варіант І (трикутник):

$$\delta_N = 94,4276 + 5,54487 V - 0,75 V^2 + 9,73294 \alpha - 17,0785 V \alpha - 7,0641 \Delta t + 8,25 V \Delta t + 26,4442 \alpha \Delta t - 19,0625 \Delta t^2; \quad (5)$$

– варіант ІІ (напівколо):

$$\delta_N = 81,8321 + 6,65962 V + 33,5695 \alpha - 19,723 V \alpha; \quad (6)$$

– варіант ІІІ (прямокутник):

$$\delta_N = 90,4936 - 7742,31 D + 7,77885 V + 16,9684 \alpha + 13442,5 D \alpha - 21,9267 V \alpha. \quad (7)$$

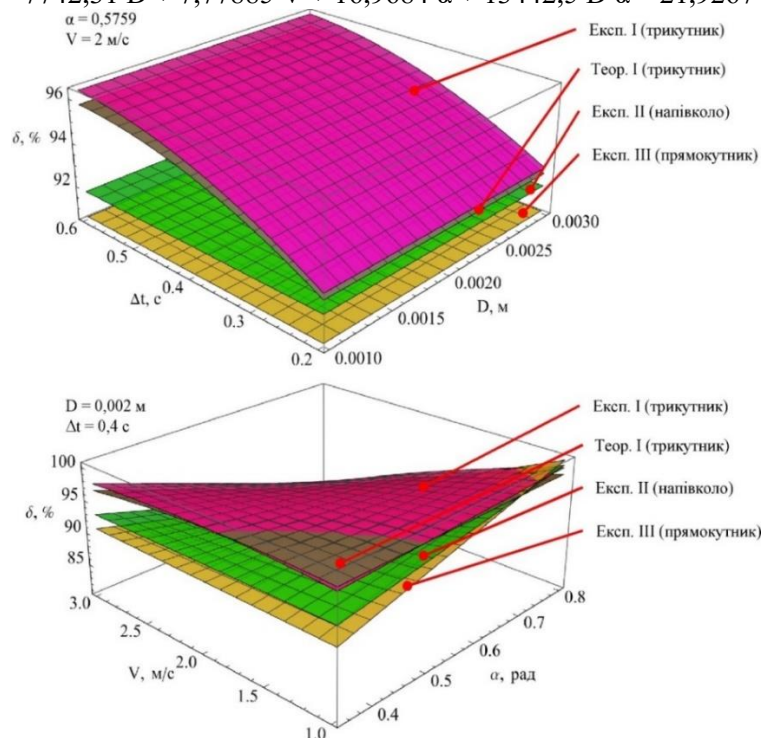
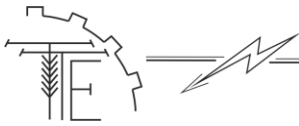


Рис. 6. Залежність точності висіву δ_N від середнього ефективного діаметра насіння D_m , кута повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt і швидкості переміщення сівалки V

З аналізу рис. 6 видно, що зі збільшенням кута повороту заслінки α і проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt точності висіву δ_N збільшується. В свою чергу із збільшенням швидкості V точність висіву δ_N зменшується. Діаметр насіння D_m практично не впливав на точність



висіву δ_N , тому її вплив був знехтуваний. Ця залежність буде використана для автоматичного керування режимними параметрами висівного апарата. Порівнюючи наочно графіки залежностей I варіанту форми отвору (трикутник) для експериментальну і чисельного моделювання видно їх сумісність. В свою чергу для II і III варіантів спостерігається їх віддаленість від теоретичної залежності. Для I варіанту діапазон 78,0–99,9 %, для II варіанту діапазон 71,1–98,3 %, для III варіанту діапазон 67,3–97,4 %. З приведених даних видно, що найкраща точність висіву досягається для I варіанту. Тому враховуючи теоретичний висновок [17–18] і отримані експериментальні дані в подальших дослідженнях приймаємо I варіант отворів (трикутні).

Значення дисперсії адекватності математичної моделі $S_{ад}^2(5) = 15,92$, $S_{ад}^2(6) = 37,05$, $S_{ад}^2(7) = 21,63$, що є мірою того, наскільки добре модель відображає реальні дані. Дисперсія похибки дослідів $S_y^2(5) = 9,048$, $S_y^2(6) = 36,843$, $S_y^2(7) = 38,02$, і цей показник вказує на розкид між спостережуваними даними і прогнозованими значеннями моделі. Крім того, для оцінки адекватності моделі було використано критерій Фішера. Розраховане значення $F(5) = 1,760$, $F(6) = 1,005$, $F(7) = 1,757$, що менше за табличне значення $F_{0,05}(20, 54) = 1,768$ при рівні значущості 0,05. Це говорить про те, що отримана модель є статистично адекватною для пояснення даних і може бути використана для здійснення прогнозів. Отже, на підставі досліджених показників можемо стверджувати, що ці математичні моделі є адекватними на будь-якому рівні довірчої ймовірності. Це дозволяє нам з впевненістю використовувати її результати для різних прикладних завдань, що стосуються прогнозування та аналізу залежностей.

6. Висновки та перспективи подальших досліджень

В результаті експериментальних досліджень дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіньєвих культур встановлені залежності норми висіву насіння N і точності висіву δ_N від середнього ефективного діаметра насіння $D_{\text{еф}}$, кута повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt і швидкості переміщення сівалки V для трьох варіантів форми отворів.

Наочне і статистичне порівняння теоретичних і експериментальних залежностей свідчить про адекватність отриманих теоретичних моделей і достовірність отриманих експериментальних закономірностей.

Встановлено, що точність висіву δ_N для I варіанту отвору (трикутник) дозатора висівного апарата знаходиться в діапазоні 78,0–99,9 %, для II варіанту (напівколо) діапазон 71,1–98,3 %, для III варіанту (прямокутник) діапазон 67,3–97,4 %. Тому враховуючи теоретичний висновок і отримані експериментальні дані в подальших дослідженнях приймаємо I варіант отворів (трикутні).

Список використаних джерел

1. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : нач. посіб. ЦНТУ: Кропивницький, 2022. 220 с.
2. Матухно Н. В., Роговський І. Л., Тітова Л. Л. Синтез механізмів приводу висівних апаратів посівних машин : монографія. Київ: АграрМедіаГруп, 2018. 356 с.
3. Бойко А. І., Свірень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин: Навч. пос.. Кіровоград, Центр. Укр. Видавництво, 2003. 203 с.
4. Leela C., Saravanakumar M. Development of Electronically Meterized Maize Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2019. Vol. 8, № 4. P. 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283
5. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. 05011. DOI: 10.1051/mateconf/201822405011
6. Сенчук М. М. Демешук В. А. Сільськогосподарські машини в насінництві: навчально-методичний посібник для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять за кредитно-модульною системою навчання студентів агрономічного факультету. Біла Церква, 2014. 164 с
7. Alhassan E. A., Adewumi A. D., Okpodjah B. Development of a self-propelled multi-crop two rows precision planter: a new design concept for the metering mechanism. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. 2018. Vol. 9, № 10. P. 349–358.
8. Свірень М. О., Петренко М. М., Богатирьов Д. В., Павленко І. І. (). Теоретичні дослідження процесу дозування насіння під час висіву пневмомеханічними апаратами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2012. № 42 (1). С. 152–160.
9. Рудь А. В., Павельчук Ю. Ф., Мошенко І. О. Теоретичні дослідження процесу розподілу насіння



- зернових культур при підґрунтового-розкидного способі сівби. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2009. № 39. С. 250–256.
10. Шведик М. С., Гунько Ю. Л., Теслюк В. В. Визначення сили присмокування насінини до комірчини висівного елемента з нахилоною віссю обертання, що рухається вниз. *Наукові горизонти*. 2018. № 4 (67). С. 39–44.
 11. Бойко А. І., Амосов, В. В. Експериментальне визначення раціональних параметрів вакуумного пневмомеханічного висівного апарата. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2006. № 36 (1). С. 108–110.
 12. Аулін В., Панков А., Щеглов А. Дослідження пневмоструминних висівних апаратів дискретної дії для швидкісної сівби в інформаційній системі землеробства. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Агроінженерні дослідження*. 2018. № 22. С. 31–40. DOI: 10.31734/agroengineering2018.01.031
 13. Karayel D., Wiesehoff M., Özmerzi A., Müller J. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2006. Vol. 50, № 2. P. 89–96. DOI: 10.1016/J.COMPAG.2005.05.005
 14. Karayel D., Wiesehoff M., Özmerzi A., Müller J. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2006. Vol. 50, № 2. P. 89–96. DOI: 10.1016/j.compag.2005.05.005
 15. Cujbescu D., Găgeanu I., Persu C., Matache M., Vlăduț V., Voicea I., Paraschiv G., Biriș S. Ș., Ungureanu N., Voicu G. Simulation of Sowing Precision in Laboratory Conditions. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 14. 6264. DOI: 10.3390/app11146264
 16. Gierz Ł., Markowski P., Choszcz D. J., Wojcieszak D. Effect of using deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness. *Sci Rep*. 2023. Vol. 13, № 1. 15471. DOI: 10.1038/s41598-023-42476-5
 17. Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev E. The model for random packaging of small-seeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. *Agrararteadus*. 2022. Vol. 33, № 1. P. 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08
 18. Яропуд В. М., Алієв Е. Б., Дацюк Д. А. Методика чисельного моделювання висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур. *Machinery & Energetics*. 2021. № 12 (3). С. 121–127. DOI: 10.31548/machenergy2021.03.121
 19. Спосіб автоматичного фенотипування насіння і пристрій для його здійснення пат. 120231 Україна МПК (2006) А01С 1/00, G01В 11/00, G01В 11/02 (2006.01), G01N 21/25 (2006.01), G06Т 7/00. № а 201808708 : заявл. 25.10.2019 : опубл. 25.10.2019, бюл. № 20
 20. Алієв Е. Б. Автоматичне фенотипування насінневого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с.

References

- [1] Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., Salo, L. (2022). *Machines for sowing, planting and caring for crops : A beginner's guide*. Central Technical University Kropyvnytskyi. [in Ukrainian].
- [2] Matukhno, N.V., Rogovskyi, I.L., Titova, L.L. (2018). *Synthesis of drive mechanisms of sowing devices of sowing machines: monograph*. Kyiv. AgrarMediaGroup. [in Ukrainian].
- [3] Boyko, A.I., Sviren, M.O., Shmat, S.I., Nozhnov, M.M. (2003). *New designs of tillage and sowing machines : Training. pos.* Kirovohrad, Center. Ukraine Publishing house. [in Ukrainian].
- [4] Leela, C., Saravanakumar, M. (2019). Development of Electronically Metered Maize Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8 (4), 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283. [in English]
- [5] Lavrov, A., Smirnov, I., Litvinov, M. (2018). Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*, 224, 05011. DOI: 10.1051/mateconf/201822405011. [in English].
- [6] Senchuk, M.M. Demeshchuk, V.A. (2014). *Agricultural machines in seed production: Educational and methodological manual for independent work and laboratory-practical classes according to the credit-module system of training students of the agronomy faculty*. White Church. [in Ukrainian].
- [7] Alhassan, E.A., Adewumi, A.D., Okpodjah, B. (2018). Development of a self-propelled multi-crop two rows precision planter: a new design concept for the metering mechanism. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 9(10), 349–358. [in English].
- [8] Sviren, M.O., Petrenko, M.M., Bogatyrev, D.V., Pavlenko, I.I. (2012). Theoretical studies of the seed



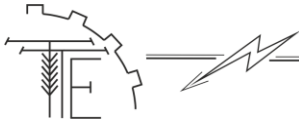
- dosing process during sowing with pneumomechanical devices. *Design, production and operation of agricultural machines*, 42 (1): 152–160. [in Ukrainian].
- [9] Rud, A.V., Pavelchuk, Yu.F., Moshenko, I.O. (2009). Theoretical studies of the process of seed distribution of grain crops with the subsoil-spread method of sowing. *Design, production and operation of agricultural machines*, 39, 250–256. [in Ukrainian].
- [10] Shvedyk, M.S., Gunko, Yu.L., Teslyuk, V.V. (2018). Determination of the suction force of the seed to the cell of the sowing element with an inclined axis of rotation moving down. *Scientific Horizons*, 4 (67), 39–44. [in Ukrainian].
- [11] Boyko, A.I., Amosov, V.V. (2006). Experimental determination of rational parameters of a vacuum pneumomechanical seeding device. *Design, production and operation of agricultural machines*, 36 (1), 108–110. [in Ukrainian].
- [12] Aulin, V., Pankov, A., Shcheglov, A. (2018). Research of pneumatic seeding devices of discrete action for high-speed sowing in the information system of agriculture. *Bulletin of the Lviv National University of Nature Management. Agricultural Engineering Research*, 22, 31–40. DOI: 10.31734/agroengineering2018.01.031. [in Ukrainian].
- [13] Karayel, D., Wiesehoff, M., Özmerzi, A., Müller, J. (2006). Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50 (2), 89–96. DOI: 10.1016/J.COMPAG.2005.05.005. [in English].
- [14] Karayel, D., Wiesehoff, M., Özmerzi, A., Müller, J. (2006). Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50 (2): 89–96. DOI: 10.1016/j.compag.2005.05.005. [in English].
- [15] Cujbescu, D., Găeanu, I., Persu, C., Matache, M., Vlăduț, V., Voicea, I., Paraschiv, G., Biriș, S.Ș., Ungureanu, N., Voicu, G. (2021). Simulation of Sowing Precision in Laboratory Conditions. *Applied Sciences*, 11 (14): 6264. DOI: 10.3390/app11146264. [in English].
- [16] Gierz, Ł., Markowski, P., Choszcz, D.J., Wojcieszak, D. (2023). Effect of using a deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness. *Sci Rep*, 13 (1): 15471. DOI: 10.1038/s41598-023-42476-5. [in English].
- [17] Yaropud, V., Honcharuk, I., Datsiuk, D., Aliyev, E. (2022). The model for random packaging of small-seeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. *Agraarteadus*, 33 (1): 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08. [in English].
- [18] Yaropud, V.M., Aliev, E.B., Datsyuk, D.A. (2021). The method of numerical modeling of the seeding apparatus of the selection seeder of small-seeded crops. *Machinery & Energetics*, 12 (3): 121–127. DOI: 10.31548/machenergy2021.03.121. [in Ukrainian].
- [19] Aliyev, E.B. (2019). Patent of Ukraine for the invention 120231, IPC (2006) A01C 1/00, G01B 11/00, G01B 11/02 (2006.01), G01N 21/25 (2006.01), G06T 7/00. A method of automatic seed phenotyping and a device for its implementation. Applicant: Institute of Oil Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, No. a201808708. Application 25.10.2019. Publ. 25.10.2019, Bull. No. 20 [in Ukrainian].
- [20] Aliyev, E.B. (2022). *Automatic phenotyping of sunflower seed material: monograph*. Kyiv: Agrarian science. [in Ukrainian].

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DISPENSER OF THE SEEDING APPARATUS OF THE SELECTION SEEDER OF SMALL SEED CULTURES

A mock-up sample of the dispenser of the seeding device of the selection seeder as part of the laboratory stand was developed. The MG995 servo drive is used as a drive for the seeding machine dispenser. The experimental stand includes a conveyor belt that simulates the process of moving a planter. The drive of the conveyor belt is a stepper motor SY42STH38-1684A.

The numerical modeling factors are the diameter of the seed D_{μ} (0.001–0.003 m), the angle of rotation of the flap α (0.3489–0.8028 rad), the time interval when the flap is open or closed Δt (0.2–0.4 s), the speed movement of the conveyor belt (planter) V (1–4 m/s). Quantitative evaluation criterion is seed sowing rate N . Qualitative evaluation criterion is sowing accuracy δ .

As a result of experimental studies of the dosing device of the selection planter of small-seeded crops, the dependences of the seed sowing rate N and sowing accuracy δN on the average effective seed diameter D_{μ} , the flap rotation angle α , the time interval when the flap is open or closed Δt and the movement speed of the planter V for three options were established the shape of the holes.



A visual and statistical comparison of theoretical and experimental dependences testifies to the adequacy of the obtained theoretical models and the reliability of the obtained experimental regularities.

It was established that the accuracy of seeding δN for the 1st version of the hole (triangle) of the metering unit of the sowing device is in the range of 78.0–99.9%, for the 2nd version (semicircle) the range is 71.1–98.3%, for the 3rd version (rectangle) range 67.3–97.4%. Therefore, taking into account the theoretical conclusion and the obtained experimental data, in further studies we accept the 1st version of the holes (triangular).

Key words: *seeder, seed, sowing device, accuracy of sowing, rate of sowing, parameters, efficiency, experiment, simulation, coulter, model, indicators.*

F. 7. Fig. 6. Ref. 20.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Яропуд Віталій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Говоруха Володимир Борисович – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49600, <https://orcid.org/0000-0002-0936-9272>).

Дацюк Дмитро Анатолійович – аспірант кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, <https://orcid.org/0000-0002-4614-2245>).

Vitalii Yaropud – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

Volodymyr Govorukha – Doctor of physical and mathematical sciences, professor of the department of higher mathematics, physics and general engineering disciplines of the Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University (25 Serhiy Yefremova St., Dnipro, Ukraine, 49600, <https://orcid.org/0000-0002-0936-9272>).

Dmytro Datsiuk – Postgraduate Student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, <https://orcid.org/0000-0002-4614-2245>).