

**Яропуд В. М.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Говоруха В.Б.**

д.ф.-м.н., проф.

**Дніпровський державний
аграрно-економічний
університет****Дацюк Д.А.**

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет****Yaropud V.**Ph.D. of Engineering, Associate
Professor**Vinnitsia National Agrarian
University****Govorukha V.**Doctor of Physical and
Mathematical Sciences, Prof.**Dnipro State Agrarian and
Economic University****Datsiuk D.**

Postgraduate Student

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.331****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-3-6****ВИПРОБУВАННЯ
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
РОБОТИ ДОЗАТОРА
ВИСІВНОГО АПАРАТА
СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ
ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР**

В Україні найпоширенішими селекційними сівалками є сівалки «Клен» з електромеханічними висівними апаратами. Ці сівалки призначені для точного рядового висіву дрібнонасіненних культур на ділянках попереднього і виробничого конкурсного сортовипробування, а також для проведення агротехнічних досліджень. Вони оснащені надійним електромеханічним приводом і ротаційним розподільником насіння.

Проведений аналіз роботи електромеханічної висівної системи «Клен» дозволив ідентифікувати основні напрямки для її вдосконалення. Необхідно покращити робочий орган висівного апарата, з метою забезпечення точності висіву дрібнонасіненних культур на рівні 95,0 %.

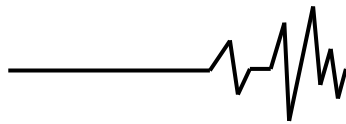
Метою досліджень є розробка математичної моделі роботи дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіненних культур і виробнича її перевірка.

Для роботи висівного апарата складена програму в середовищі Arduino IDE, яка базувалась на розробленій математичній моделі роботи дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіненних культур.

Складено програму в Wolfram Cloud для визначення режимних параметрів дозатора висівного апарата (кут повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрита Δt) з урахуванням заданих середнього ефективного діаметра насіння D_m , норми висіву N і швидкості переміщення сівалки V . В подальшому дану програму буде використано при створенні виробничого зразка дозатора висівного апарата.

Результати випробування експериментального зразка удосконаленого висівного апарата у виробничих умовах показують, що точність його висіву вища (89,3–95,1 %) ніж базового сівалки «Клен-4,2» (85,2–92,0 %). Також про якість висіву свідчить отримана густина стояння рослин: для удосконаленого висівного апарата – 982,0–1057,5 тис. шт/га, а для базового – 940,9–1029,8 тис. шт/га. Це при встановленій нормі висіву – 1000 тис. шт/га. Урожайність гірчиці озимої складала: для удосконаленого висівного апарата – 0,92–1,07 т/га, а для базового – 0,89–1,03 т/га. Найменша істотна різниця для урожайності складала 0,03 т/га, що підтверджує статистичну адекватність результатів вимірювань.

Ключові слова: сівалка, насіння, висівний апарат, точність висіву, норма висіву, параметри, ефективність, модель, компромісна задача, випробування, сипкий матеріал, моделювання, частинки, технологічний процес, сімба, сошник, робочий орган, продуктивність, агрегат, показники.



Вступ. Висівний апарат є одним з ключових компонентів сівалки, і його функція полягає в відборі необхідної кількості насіння з загального обсягу та формуванні потоку насіння з заданими параметрами. Таким чином, ефективність сівалок і якість розподілу насіння в ряду та на полі в цілому визначаються великою мірою роботою висівних апаратів [1, 2].

Найвищу точність при сівбі дрібнонасінневих культур забезпечують електромеханічні висівні апарати. Вони відрізняються від механічних апаратів тим, що мають електричний привід для робочих органів. Цей привід може бути виконаний як за допомогою крокових двигунів, так і за допомогою сервоприводів [3, 4]. Використання системи контролю з електроприводами та різноманітними датчиками швидкості та положення дозволяє виконувати процес висіву з високою точністю, навіть для дрібнонасінневих культур. Проте варто відзначити, що електромеханічні висівні апарати вимагають складнішого технічного обслуговування, високого рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу та попередньої підготовки бази даних з сортозразками перед початком висіву [4–7].

Тому дослідження, спрямовані на удосконалення процесу дозування насіння електромеханічними висівними апаратами сівалок для селекційних робіт, мають велике наукове і практичне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз показав, що в Україні найпоширенішими селекційними сівалками є сівалки «Клен» з електромеханічними висівними апаратами. Ці сівалки призначені для точного рядового висіву дрібнонасінневих культур на ділянках попереднього і виробничого конкурсного сортовипробування, а також для проведення агротехнічних досліджень. Вони оснащені надійним електромеханічним приводом і ротаційним розподільником насіння. Розподільник насіння має можливість плавного регулювання частоти обертання для оптимального розподілу насіння по сошниках [1].

Проведений аналіз роботи електромеханічної висівної системи «Клен» дозволив ідентифікувати основні напрямки для її вдосконалення [8–10]:

1. Необхідно покращити робочий орган висівного апарата, з метою забезпечення точності висіву дрібнонасінневих культур на

рівні 95,0 %.

2. Для посіву ділянок добазового насінництва важливо впровадити автоматичне завантаження насіння різних сортозразків до висівного апарата.

3. Потрібно удосконалити систему висіву на ділянках добазового насінництва з використанням GPS-трекінгу для кращого контролю і точності.

4. Елементи системи висіву мають бути блочними, щоб забезпечити легку заміну у випадку виникнення несправностей.

В цій статті розглянуто рішення першої задачі.

Мета та завдання досліджень.

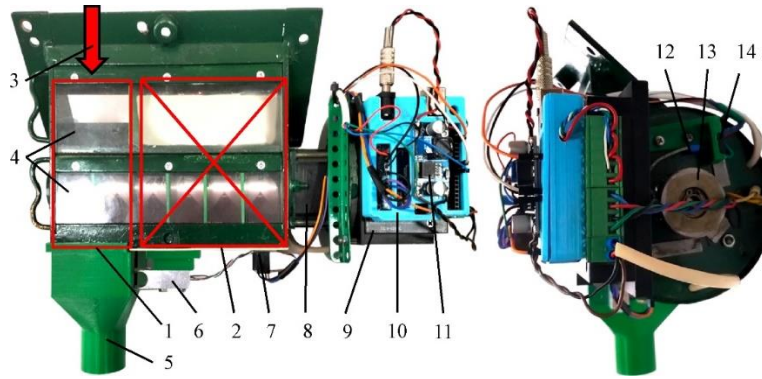
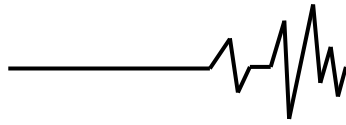
Метою досліджень є розробка математичної моделі роботи дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур і виробнича її перевірка.

Викладення основного матеріалу.

При випробуванні експериментального зразка висівного апарата селекційної сівалки у виробничих умовах за базу було взято висівний апарат сівалки «Клен-4.5», який був переобладнаний у відповідності до отриманих результатів досліджень. У конструкції базового висівного апарата було змінено форму дозатора у відповідності до [10–11], додано розподільник згідно [12]. Для вимірювання параметрів маси насіння і контролю якості висіву, розподільник був прикріплений до рами висівного апарата через тензодатчик. Загальний вигляд удосконаленого висівного апарата наведено на рис. 1.

В якості блока керування для удосконаленого висівного апарата обрано плату керування Arduino UNO спільно із драйвером крокового двигуна TB6600. В якості датчику початкового положення заслінки обрано кінцевий вимикач. Визначення маси насіння під час дозування відбувалося з використанням підсилювача сигналу HX711. Для визначення швидкості переміщення сівалки використовувався датчик Хола 314X, який встановлений на колесі. Електрична схема підключення експериментального зразка удосконаленого висівного апарата наведена на рис. 2.

Для роботи висівного апарата складена програму в середовищі Arduino IDE, яка базувалась на розробленій математичній моделі роботи дозатора висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур.



1 – два робочих підключених дозатора; 2 – чотири заблокованих дозатора; 3 – подача насіння; 4 – оглядові лючки; 5 – розподільник; 6 – тензодатчик; 7 – Weight sensor HX711; 8 – кроковий двигун дозатора; 9 – драйвер TB6600; 10 – Arduino Uno ATmega328; 11 – перетворювач напруги; 12 – прапорець положення заслінки дозатора; 13 – пружинний механізм повернення заслінки дозатора; 14 – кінцевий вимикач

Рис. 1. Загальний вигляд удосконаленого висівного апарата

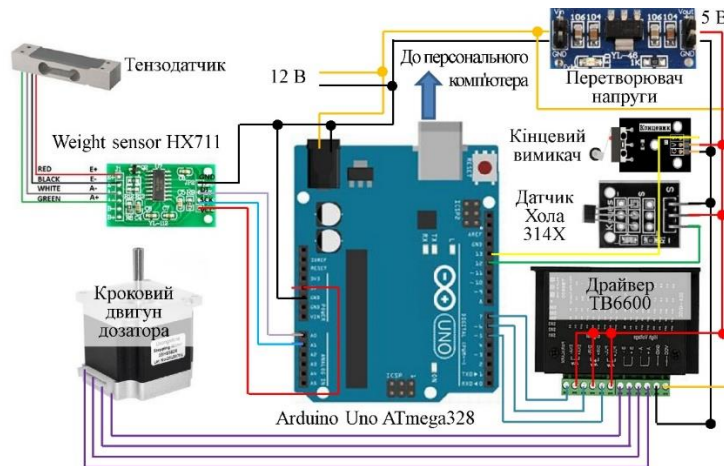


Рис. 2. Електрична схема підключення експериментального зразка удосконаленого висівного апарата

Враховуючи умову компромісної задачі: для забезпечення найбільш ефективної роботи висівного апарата необхідною умовою є забезпечення найбільшої точності висіву δ_N при заданому значенні швидкості переміщення сівалки V , ефективного діаметра насіння D_0 і норми висіву насіння N . Ця умова математично записана у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} N(D_0, \Delta t, \alpha, V_0) = N_0, \\ \delta_N(D_0, \Delta t, \alpha, V_0) \rightarrow \max, \\ D_0 = \text{const}, \\ V_0 = \text{const}. \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \Delta t(D_0, N_0, V_0), \\ \alpha(D_0, N_0, V_0). \end{cases} \quad (1)$$

де N – норма висіву насіння, тис. шт./га; δ – точність висіву, %; D_0 – ефективний діаметр насіння, м; Δt – проміжок часу, коли заслінка відкрита або закрита, с; α – кут повороту заслінки, рад; V – швидкість переміщення транспортерної стрічки (сівалки), м/с.

Рішення системи рівнянь (1) спільно з

$$\begin{aligned} N &= 245,046 - 40216,7 D - 172,054 V + \\ &+ 198,079 V^2 + 1995,69 \alpha - 2285,11 V \alpha + \\ &+ 9851,9 \alpha^2 - 734,58 \Delta t - 128250, D \Delta t + \\ &+ 1065,12 V \Delta t - 11418,9 \alpha \Delta t + 4586,35 \Delta t^2; \\ \delta_N &= 94,4276 + 5,54487 V - 0,75 V^2 + \\ &+ 9,73294 \alpha - 17,0785 V \alpha - \\ &- 7,0641 \Delta t + 8,25 V \Delta t + 26,4442 \alpha \Delta t - \\ &+ 19,0625 \Delta t^2; \end{aligned} \quad (2)$$

у аналітичному вигляді є достатньо складною задачею. Тому скористаємось програмним пакетом Wolfram Cloud. Алгоритм розробленої програми на мові програмування Wolfram можна представити в декілька етапів (рис. 3).

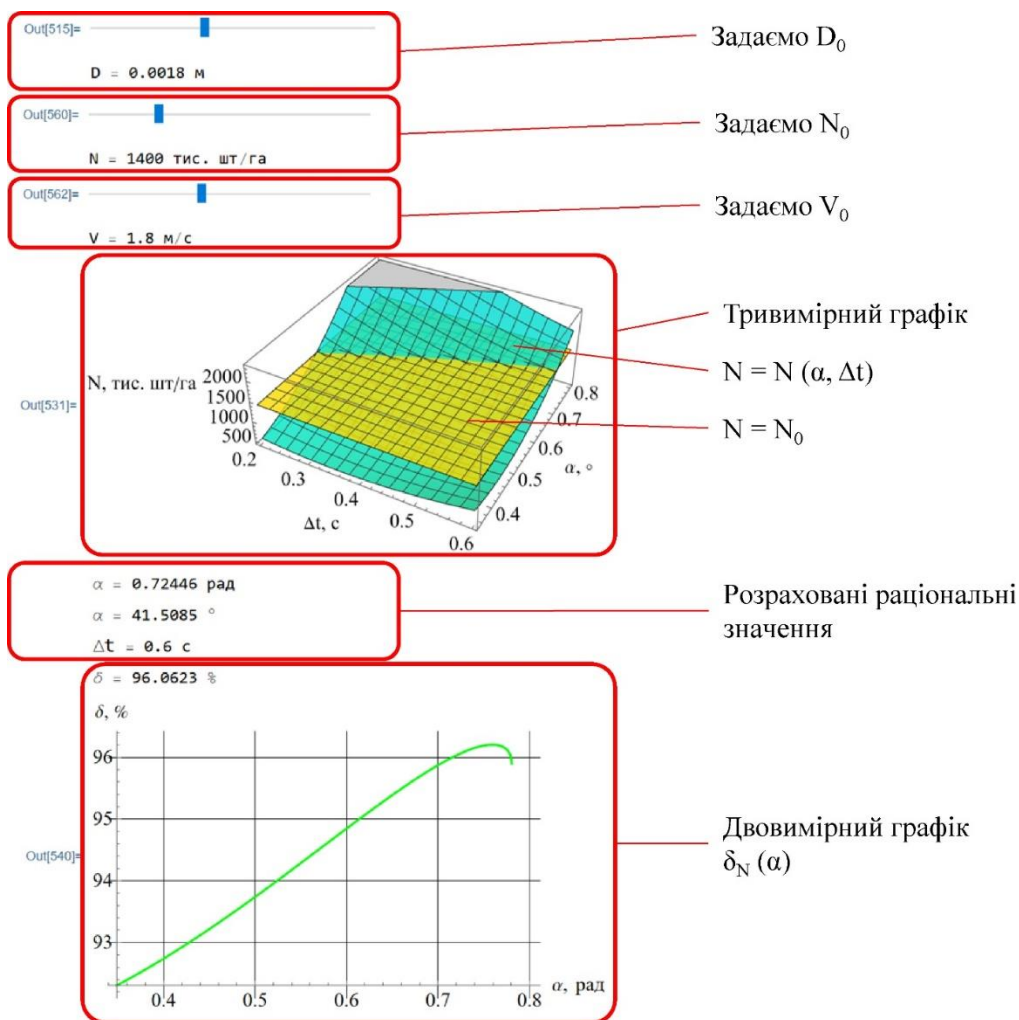
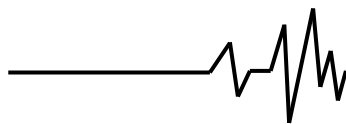


Рис. 3. Візуалізація програми Wolfram Cloud для обчислення раціональних параметрів дозатора висівного апарата

1. Задаємо значення ефективного діаметра насіння D_0 . Його можна задавати прямим способом, або використовуючи повзунок.

2. Задаємо значення норми висіву насіння N_0 . Його можна задавати прямим способом, або використовуючи повзунок.

3. Задаємо значення швидкості переміщення сівалки V_0 . Його можна задавати прямим способом, або використовуючи повзунок.

4. Враховуючи закономірність (2) з використанням функції Plot3D будується відповідний тривимірний графік $N(\alpha, \Delta t)$ – відмічений зеленим кольором, і задана норма висіву N_0 – відмічений жовтим кольором.

5. З використанням функції Solve проводиться перетворення рівняння (2) типу $N(D_0, \Delta t, \alpha, V_0) = N_0$ у наступний вид $\Delta t = \Delta t(D_0, N_0, \alpha, V_0)$.

6. Отримана залежність $\Delta t = \Delta t(D_0, N_0, \alpha, V_0)$ підставляється у

рівняння (3) і представляється у наступному вигляді $\delta_N(D_0, \Delta t(D_0, N_0, \alpha, V_0), \alpha, V_0)$.

7. З використанням функції FindMaximum проводиться розрахунок аргументів функції при яких функція $\delta_N(D_0, \Delta t(D_0, N_0, \alpha, V_0), \alpha, V_0)$ досягає максимального значення в межах їх варіювання $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$, $\Delta t_{\min} \leq \Delta t \leq \Delta t_{\max}$.

8. В результаті отримуємо значення раціональних кутів повороту заслінки α_{opt} і проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрыта Δt_{opt} .

9. Для демонстрації процесу розрахунку з використанням функції Plot виводиться двовимірний графік залежності $\delta_N(\alpha)$.

Проведемо аналіз деяких розрахованих результатів.

При діаметрі насіння гірчиці $D_0 = 1,8$ мм = 0,0018 м і нормі їх висіву для широкорядного посіву $N_0 = 1400$ тис. шт/га і швидкості руху



сівалки $V_0 = 1,8$ м/с отримуємо наступні режимні параметри дозатора висівного апарата $\alpha = 0,72446$ рад ($41,5^\circ$), $\Delta t = 0,6$ с. Цікавим є те, що при зміні швидкості переміщення сівалки, тобто її коливань від 1,6 м/с до 2,0 м/с відбувається постійне перналаштування дозатора: $\alpha(1,6 \text{ м/с}) = 0,72446$ рад ($41,5^\circ$), $\Delta t(1,6 \text{ м/с}) = 0,658451$ с; $\alpha(2,0 \text{ м/с}) = 0,72446$ рад ($41,5^\circ$), $\Delta t(2,0 \text{ м/с}) = 0,552203$ с. При цьому точності висіву $\delta_N(1,6 \text{ м/с}) = 97,0\%$, $\delta_N(2,0 \text{ м/с}) = 94,8\%$. Тобто режими роботи дозатора прагнуть досягти такого значення при якому точність висіву δ_N є максимальною.

Ще одним практичним прикладом застосування даної програми є зміна насіння (зміна їх діаметра) і норми висіву при ділянковому посіві селекційних дослідів з урахування концептуальної конструктивно-технологічної схеми висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіневих культур, який дозволяє повністю автоматизувати процес висіву ділянок доbazового насінництва практично без участі селекціонера із забезпечення високої точності висіву. Так, наприклад, при заміні насіння гірчиці з діаметром $D_{01} = 1,1$ мм = 0,0011 м на $D_{02} = 2,6$ мм = 0,0026 м і норми висіву з $N_{01} = 1000$ тис. шт/га на $N_{02} = 1500$ тис. шт/га отримуємо наступні зміни режимних параметрів дозатора при постійній швидкості руху $V_0 = 1,8$ м/с:

– $\alpha(0,0011 \text{ м}, 1000 \text{ тис. шт/га}) = 0,5122$ рад ($29,3^\circ$), $\Delta t(0,0011 \text{ м}, 1000 \text{ тис. шт/га}) = 0,788232$ с; $\delta_N = 94,5\%$

– $\alpha(0,0026 \text{ м}, 1500 \text{ тис. шт/га}) = 0,6243$ рад ($35,8^\circ$), $\Delta t(0,0026 \text{ м}, 1500 \text{ тис. шт/га}) = 0,513401$ с; $\delta_N = 93,6\%$.

Програмування роботи висівного апарата для заданої культури (середній діаметр насіння D_0) і норми висіву (N_0) здійснювалася через персональний комп'ютер. Однак, при необхідності можна створити

незалежний інтерфейс, який дозволить змінювати параметри роботи висівного апарата безпосередньо на полі.

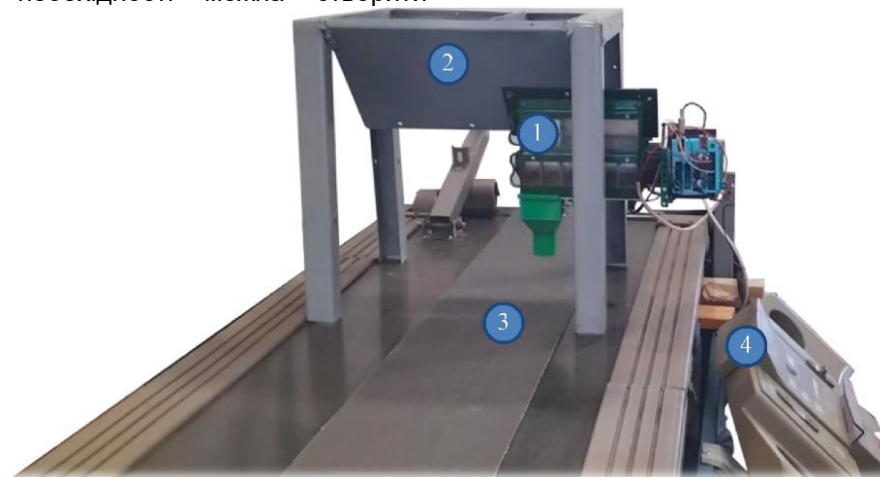
Випробування проводились в два етапи:
– налагодження роботи висівного апарата на стенді із імітацією рухомого поля;
– безпосередні виробничі випробування на навісній рядовій сівалці для овочевих і дрібнонасіневих культур «Клен-4,2».

Стенд для налагодження роботи висівного апарата із імітацією рухомого поля представлено на рис. 4. Рухоме поле виконано у вигляді стрічкового конвеєра, швидкість якого регулюється з використанням блока керування. Для визначення середньої норми висіву в кінці стрічкового конвеєра встановлені цифрові ваги, які фіксують динаміку зміни маси насіння.

Для налагодження висівного апарата була прийнята норма висіву – 1000 тис. шт/га при міжрядді – 70 см. Тобто відстань між насіннями повинна бути 14,3 мм. Швидкість переміщення стрічки стенда змінювали в межах 0,5–4,0 м/с. Узагальнена гістограма розподілу відстані між насіннями при різних швидкостях стрічки наведена на рис. 5.

Також для кожної швидкості розрахована точність висіву висівного апарата. В результаті налагодження програми блока керування висівного апарата середня точність його висіву знаходилася в межах 81,7–95,7%. Чим менше швидкість руху стрічки, тим точність висіву вище. Однак при цьому продуктивність роботи сівалки є меншою, а витрати палива більше. Тому в подальших економічних розрахунках необхідно обґрунтувати раціональну швидкість руху сівалки.

Для другого етапу було скомплектовано одну висівну секцію навісної рядової сівалки для овочевих і дрібнонасіневих культур «Клен-4,2». Загальний вигляд висівної секції наведено на рис. 6.



1 – удосконалений висівний апарат; 2 – бункер для насіння; 3 – стрічковий конвеєр;
4 – блока керування стрічковим конвеєром

Рис. 4. Стенд для налагодження роботи висівного апарата із імітацією рухомого поля

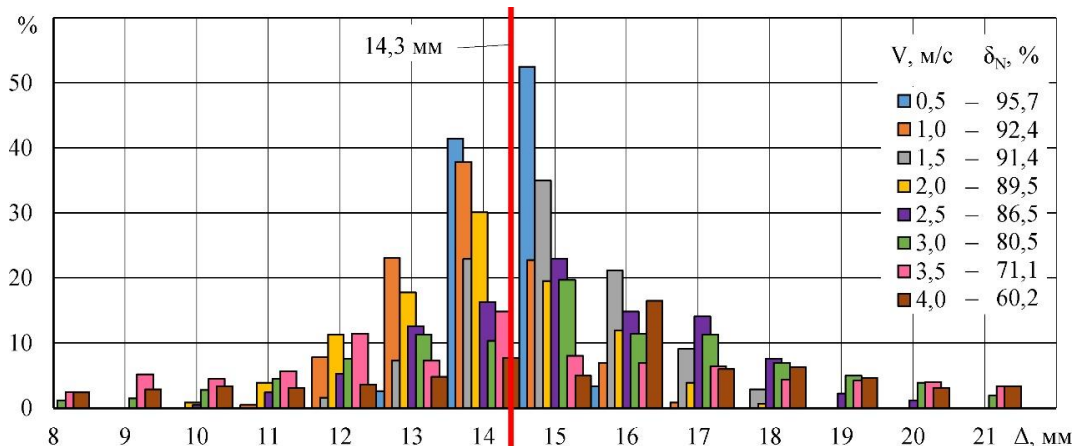
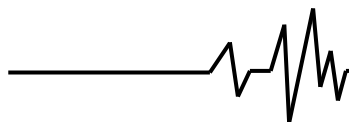


Рис. 5. Узагальнена гістограма розподілу відстані між насіннями при різних швидкостях стрічки



1 – рама; 2 – бункер для насіння; 3 – транспортне колесо; 4 – базовий висівний апарат; 5 – удосконалений висівний апарат; 6 – насіннепровід; 7 – сошник; 8 – загортачі; 9 – причоувальне колесо

Рис. 6. Загальний вигляд висівної секції із удосконаленим висівним апаратом

Під час дослідів у виробничих умовах висівалась гірчиця озима сорту Новинка із нормою висіву – 1000 тис. шт/га при міжрядді – 70 см. Маса 1000 насінин складала 2,4 г, їх схожість – 98,3 %. Дата висіву 04.09.2022 р. Ґрунт ділянок для дослідів – чорнозем звичайний важкосуглинковий (вміст гумусу в орному горизонтів – 3,5 %. рН – 6,5-7,0). Основний обробіток ґрунту – полицевий на глибину 20–22 см.

Передпосівний обробіток проводили на глибині загортання насіння. Проводили допосівне та післяпосівне коткування. Погодні умови були сприятливі для посіву гірчиці озимої. Виконання дослідів і проведення досліджень відбувались відповідно до загальноприйнятих методів для польових

дослідів в галузі сільського господарства та рослинництва.

В якості контролю використовувався базовий висівний апарат сівалки «Клен-4,2». Швидкість руху сівалки обрано на 4 рівнях – 0,5 м/с (1,8 км/год), 1 м/с (3,6 км/год), 1,5 м/с (5,4 км/год), 2 м/с (7,2 км/год).

Після сходів визначалась: густина стояння рослин на 5 м контрольному рядку і відстань між рослинами на 2 м контрольному рядку в п'ятиразовій повторності. Фото сходів із роз'ясненнями наведена на рис. 6. На фото наочно видно, що удосконалений висівний апарат забезпечує кращу точність висіву ніж базовий. Це підтверджується і результатами вимірювань, які показані на рис. 7.

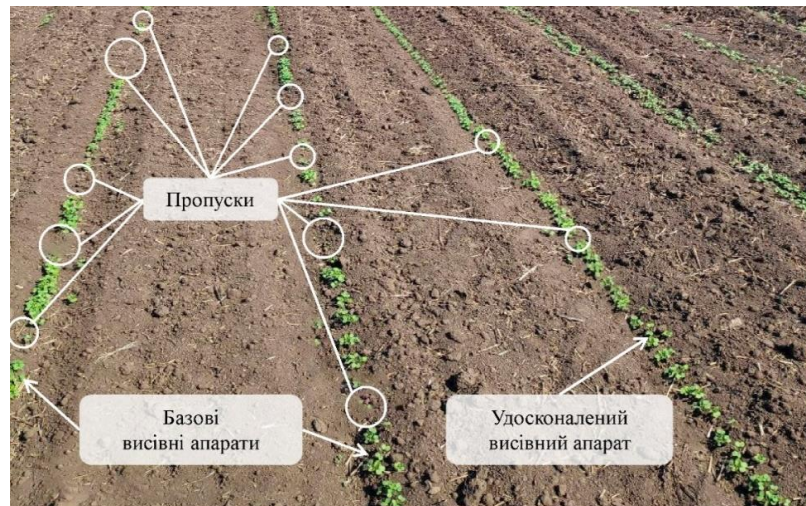
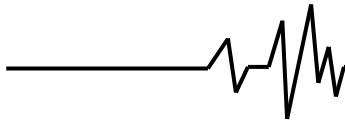


Рис. 6. Фото сходів гірчиці, що посіяна базовими і удосконаленим висівними апаратами

Збирання проводили на ділянці вручну, шляхом формування снопів, при досягненні вологості насіння 10–12 %. Дата забирання урожаю – 11–13.07.2023. Далі сформовані снопи обмолочували і визначали масу отриманих

насінин. Врожайність визначалася суцільним поділяночним методом з подальшим перерахуванням на стандартну вологість та 100 % чистоту [13]. Результати вимірної врожайності наведені на рис. 7.

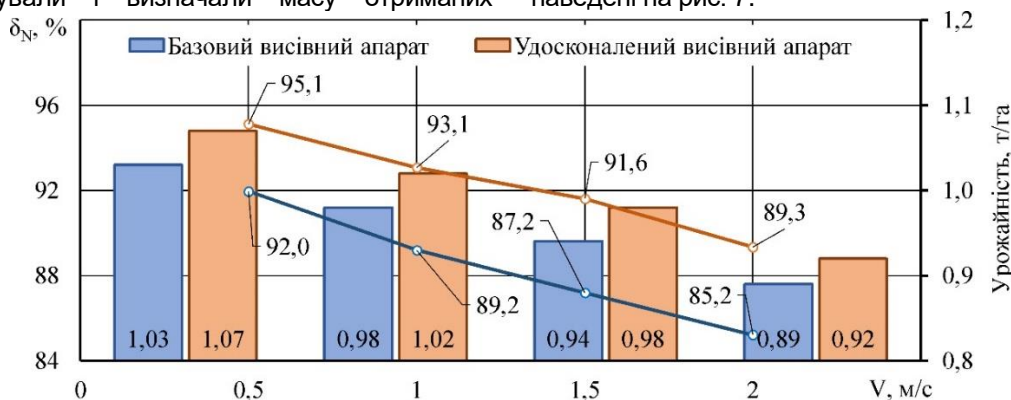


Рис. 7. Результати вимірювань точності висіву і урожайності

Результати вимірювань (рис. 7) показують, що точність висіву удосконаленого висівного апарата вища (89,3–95,1 %) ніж базового (85,2–92,0 %). Також про якість висіву свідчить отримана густина стояння рослин: для удосконаленого висівного апарата – 982,0–1057,5 тис. шт/га, а для базового – 940,9–1029,8 тис. шт/га. Це при встановленій нормі висіву – 1000 тис. шт/га. Урожайність гірчиці озимої складала: для удосконаленого висівного апарата – 0,92–1,07 т/га, а для базового – 0,89–1,03 т/га. Найменша істотна різниця для урожайності складала 0,03 т/га, що підтверджує статистичну адекватність результатів вимірювань.

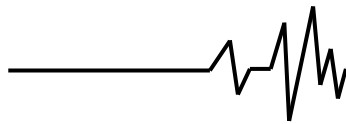
Враховуючи отримані дані можна стверджувати, що удосконалений висівний апарат є більш ефективним ніж базовий.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Враховуючи умову компромісної задачі

складено програму в Wolfram Cloud для визначення режимних параметрів дозатора висівного апарата (кут повороту заслінки α , проміжку часу, коли заслінка відкрита або закрыта Δt) з урахуванням заданих середнього ефективного діаметра насіння D_{μ} , норми висіву N і швидкості переміщення сівалки V . В подальшому дану програму буде використано при створенні виробничого зразка дозатора висівного апарата.

2. Результати випробування експериментального зразка удосконаленого висівного апарата у виробничих умовах показують, що точність його висіву вища (89,3–95,1 %) ніж базового сівалки «Клен-4,2» (85,2–92,0 %). Також про якість висіву свідчить отримана густина стояння рослин: для удосконаленого висівного апарата – 982,0–1057,5 тис. шт/га, а для базового – 940,9–1029,8 тис. шт/га. Це при встановленій нормі висіву – 1000



тис. шт/га. Урожайність гірчиці озимої складала: для удосконаленого висівного апарата – 0,92–1,07 т/га, а для базового – 0,89–1,03 т/га. Найменша істотна різниця для урожайності складала 0,03 т/га, що підтверджує статистичну адекватність результатів вимірювань.

Список використаних джерел

1. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. (2022). *Машины для сівби, садіння та догляду за посівами. Начальний посібник*. ЦНТУ. Кропивницький. 220 с.
2. Матухно Н. В., Роговський І. Л., Тітова Л. Л. (2018). *Синтез механізмів приводу висівних апаратів посівних машин*: монографія. Київ. АграрМедіаГруп. 356 с.
3. Бойко А. І., Свірень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М. (2003). *Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин: Навч. пос..* Кіровоград, Центр. Укр. Видавництво. 203 с.
4. Leela C., Saravanakumar M. (2019). Development of Electronically Meterized Maize Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(4): 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283
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
6. Сенчук М. М. Демешук В. А. (2014). *Сільськогосподарські машини в насінництві: Навчально-методичний посібник для самостійної роботи та лабораторно-практичних занять за кредитно-модульною системою навчання студентів агрономічного факультету*. Біла Церква. 164 с
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.
8. Дацюк Д. А., Яропуд В. М., Алієв Е. Б. *Висівний апарат селекційної сівалки дрібнонасіньних культур*. Патаент на корисну модель № 149682 UA, МПК А01С 7/04, А01В 49/06. u 2021 01285; заяв. 15.03.2021. Опубл. 01.12.2021. Бюл. № 48. 4 с.
9. Яропуд В. М., Дацюк Д. А. (2021). Шляхи удосконалення висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіньних культур. *Вібрації в техніці та технологіях*, 1 (100): 156–166. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15
10. Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev E. (2022). The model for random packaging of small-seeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. *Agraarteacus*, 33 (1): 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08
11. Яропуд В. М., Алієв Е. Б., Дацюк Д. А. (2021). *Методика чисельного моделювання*

висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіньних культур. *Machinery & Energetics*, 12 (3): 121–127. DOI: 10.31548/machenergy2021.03.121

12. Яропуд В. М., Дацюк Д. А. (2023). Дослідження руху насіння у розподільнику висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасіньних культур. *Сільськогосподарські машини*, 49: 7–14. DOI: 10.36910/acm.vi49.945

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. 220 p.
2. Matukhno N.V., Rogovskyi I.L., Titova L.L. (2018). *Synthesis of drive mechanisms of sowing devices of sowing machines: monograph*. Kyiv. AgrarMediaGroup. 356 p.
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. 203 p.
4. Leela C., Saravanakumar M. (2019). Development of Electronically Meterized Maize Planter. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(4): 2432–2440. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.804.283
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
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. 164 p
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.
8. Datsyuk D. A., Yaropud V. M., Aliiev E. B. *Seeding apparatus of a selection seeder of small-seeded crops*. Patent for utility model No. 149682 UA, IPC A01C 7/04, A01B 49/06. u 2021 01285; statement 03/15/2021. Publ. 01.12.2021. Bul. No. 48. 4 p.
9. Yaropud V. M., Datsyuk D. A. (2021). Ways of improving the seeding apparatus of the selection seeder of small-seeded crops. *Vibrations in Engineering and Technology*, 1 (100): 156–166. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15
10. Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev 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

11. 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

12. Yaropud V. M., Datsyuk D. A. (2023). Study of the movement of seeds in the distributor of the seeding device of the small-seeded selection seeder. *Agricultural Machinery*, 49: 7–14. DOI: 10.36910/acm.vi49.945

TESTING OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE WORK OF THE DISPENSER OF THE SEEDING APPARATUS OF THE SELECTION SEEDER OF SMALL SEED CULTURES

In Ukraine, the most common selection planters are "Maple" planters with electromechanical seeding devices. These planters are designed for accurate row sowing of small-seeded crops on the plots of preliminary and production competitive variety testing, as well as for conducting agrotechnical research. They are equipped with a reliable electromechanical drive and a rotary seed distributor.

The analysis of the operation of the "Maple" electromechanical seeding system made it possible to identify the main directions for its improvement. It is necessary to improve the working body of the seeding device in order to ensure the accuracy of sowing small-seeded crops at the level of 95.0%.

The purpose of the research is the development of a mathematical model of the operation of the dispenser of the seeding apparatus of the selection seeder of small-seeded crops and its

production verification.

For the operation of the seeder, a program was compiled in the Arduino IDE environment, which was based on the developed mathematical model of the operation of the dispenser of the seeder of the selection seeder of small-seeded crops.

A program was compiled in the Wolfram Cloud to determine the mode parameters of the seeding machine dispenser (valve rotation angle α , the time interval when the valve is open or closed Δt) taking into account the given average effective seed diameter D_{μ} , the seeding rate N and the movement speed of the planter V . In the following, the given program will be used when creating a production sample of the seeding machine dispenser.

The results of testing the experimental sample of the improved seeding device in production conditions show that its sowing accuracy is higher (89.3–95.1%) than that of the basic planter "Klen-4.2" (85.2–92.0%). Also, the quality of sowing is indicated by the obtained plant stand density: for the improved seeding device – 982.0–1057.5 thousand units/ha, and for the basic one – 940.9–1029.8 thousand units/ha. This is at the established rate of sowing – 1,000 thousand units/ha. The yield of winter mustard was: for the improved seeding apparatus – 0.92–1.07 t/ha, and for the basic one – 0.89–1.03 t/ha. The smallest significant difference for productivity was 0.03 t/ha, which confirms the statistical adequacy of the measurement results.

Key words: seeder, seed, sowing device, accuracy of sowing, rate of sowing, parameters, efficiency, model, compromise problem, test, loose material, simulation, particles, technological process, sowing, coulter, working body, productivity, unit, indicators.

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).

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)

Дацюк Дмитро Анатолійович - аспірант кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008).

Yaropud Vitaliy - 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).

Govorukha Volodymyr - 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)

Datsiuk Dmytro - postgraduate student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008)