



Механізація, електрифікація

УДК 621.01:[631.372+
631.331]

© 2023

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ АСИМЕТРИЧНОГО ПОСІВНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², В.Т. Надикто³,
В.М. Кюрчев⁴, О.М. Троханяк⁵

^{1,2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

^{3,4}доктори технічних наук, професори, члени-кореспонденти НААН

⁵кандидат технічних наук, доцент

^{1,5}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

^{3,4}Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна
e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com,

³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁴radnik@tsatu.edu.ua, ⁵klendii_o@ukr.net
ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946,

³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-4671-5824

Надійшла 27.03.2023

Мета. Визначити умови стійкого руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату при плоскопаралельному робочому переміщенні з певною швидкістю у горизонтальній площині, виконавши експериментальну оцінку його траєкторій. **Методи.** Експериментальні дослідження асиметричного просапного машинно-тракторного агрегату проводили під час посіву соняшнику за спеціально розробленою методикою з використанням основ математичної статистики і спектрального аналізу. **Результати.** Оскільки для сівалки просапних культур (кукурудзи, соняшнику, сої та ін.) число k , яке визначає відношення величини колії трактора до ширини міжрядь культури, може бути непарним, проведені польові експериментальні дослідження з визначення умов руху такого асиметричного агрегату за його плоскопаралельного переміщення з певною швидкістю у горизонтальній площині. Викладено результати експериментального дослідження посівного машинно-тракторного агрегату, у якого сівалка Leda-12 зміщена у поперечному напрямку від осі симетрії агрегатуючого трактора ХТЗ-16131 на половину ширини міжряддя, що дорівнює 70 см. Для запобігання негативного явища, пов'язаного зі створенням додаткового моменту, що розвертає такий агрегат, був

розроблений, виготовлений та успішно випробуваний спеціальний перехідний пристрій. **Висновки.** Встановлено, що асиметричність посівного агрегату не погіршує стійкості його руху у горизонтальній площині. Це підтверджується тим, що згідно з G-критерієм Кохрена дисперсії коливань траєкторії сліду маркера сівалки без маркера і з ним, приєднаної до трактора з поперечним зміщенням на 0,35 м і без зміщення, є однорідними. Збільшення швидкості руху асиметричного посівного агрегату від 2,1 до 2,6 м·с⁻¹ проявляється у певному зростанні дисперсії коливань траєкторії сліду маркера сівалки. Але оскільки значення цієї дисперсії (6,55 см²) майже вдвічі менше від значення, визначеного агротехнічними вимогами (12,50 см²), то при виборі швидкісного режиму роботи такого посівного машинно-тракторного агрегату його динамічні властивості не можуть бути обмежувальним чинником.

Ключові слова: агрегат, просапна сівалка, експериментальні дослідження, передаточна функція, нормована спектральна щільність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202306-06>

Серед різноманітних посівних сільсько-господарських машинно-тракторних агрегатів особливе місце посідають ті, що їх використовують для вирощування просапних культур — кукурудзи, соняшнику, сої та ін. Це зумовлює підвищені агротехнічні вимоги до якості їх сівби. У нашій країні прямолінійність посівів просапних культур, що вирощуються за ширини міжряддя 45–70 см, вважається задовільною тоді, коли дисперсія коливань їх рядків D_{lim} не перевищує 12,50 см², а частота зрізу нормованої спектральної щільності цих коливань ω_{lim} становить не більш ніж 0,25 м⁻¹ [1, 2]. Слід підкреслити, що параметр ω_{lim} визначає діапазон частот $0 - \omega_{\text{lim}}$, у якому зосереджено щонайменше 95% дисперсії коливань досліджуваного параметра.

Донедавна як за кордоном, так і у нашій країні превалювала симетрична схема просапних машинно-тракторних агрегатів [3–5]. У таких агрегатах кожна просапна сівалка має парну кількість висівних секцій. Розмір колії агрегатуючих тракторів, які можуть бути при цьому успішно використані (B_t , см), має бути таким, за якого значення коефіцієнта k відповідатиме такій умові [8]:

$$k = \frac{B_t}{B_r} = \text{парне число}, \quad (1)$$

де B_r — ширина міжряддя просапної культури, см.

Поява на теренах України трактора серії ХТЗ-160 зумовила можливість реалізації на його основі досить перспективного 12-рядного комплексу машин для вирощування просапних культур із міжряддям 70 см [6, 7]. Зазначений комплекс розроблений фірмою Elvorti (м. Кропивницький) і складається із сівалки Leda-12 та культиватора КРНВ-8,4.

Трактор моделі ХТЗ-16131 має колію шириною $B_t = 2100$ мм (210 см). Його рушії обладнані пневматичними шинами типорозміру 16.9R38. Оскільки ширина шин $B_k = 43$ см, то вони вписуються в міжряддя $B_r = 70$ см з шириною захисної зони 13 см. Водночас умова (1) для цього енергетичного засобу не виконується, адже $k = 210 \cdot 70^{-1} = 3$. Якщо до нього приєднати симетрично просапну сівалку, дві її посівні секції висіватимуть насіння у ґрунт, ущільнений відносно вузькими колесами трактора з усіма негативними наслідками, що звідси випливають.

Вихід із такого становища полягає у забезпеченні поперечного зміщення просапної сівалки відносно осі симетрії агрегатуючого трактора на величину, що дорівнює половині ширини міжряддя. У нашому випадку це $B_r \cdot 2^{-1} = 35$ см (0,35 м). Посівні секції просапної сівалки в такому разі будуть розташовані поза слідами коліс трактора, але сам машинно-тракторний агрегат

стане асиметричним з постійним ексцентриситетом, що дорівнює 35 см. По суті, це те плече, через яке поздовжня складова тягового опору просапної сівалки створюватиме постійний розвертальний момент, що діятиме на колісний трактор у горизонтальній площині.

Ступінь впливу зазначеного моменту на стійкість руху посівного машинно-тракторного агрегату багато в чому залежить від його конструктивних параметрів. У роботі [8] аспекти цієї проблеми досить предметно розглянуті на теоретичному рівні. Розрахунки показали, що стійкість руху асиметричного машинно-тракторного агрегату у горизонтальній площині залежить не стільки від поперечного зміщення сівалки, скільки від дії її механічного маркера. Але саме за сукупної й одночасної їх дії формується максимальний розвертальний момент. Проте навіть за зміни швидкості робочого руху асиметричного агрегату в межах $2,0-2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ця дія відбивається на характері функціонування динамічної системи більше у якісному, ніж у кількісному вираженні. З огляду на це прийнятне значення швидкісного режиму роботи такого машинно-тракторного агрегату слід визначати в польових умовах

з урахуванням якості виконання ним сівби просапної культури.

Мета досліджень — визначити умови стійкого руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату при плоскопаралельному робочому переміщенні з певною швидкістю у горизонтальній площині, експериментально оцінивши його траєкторії.

Матеріали та методи досліджень. До складу досліджуваного посівного машинно-тракторного агрегату входили трактор ХТЗ-16131 і агрегатована ним сівалка Leda-12 (рис. 1).

Сівалку приєднали до трактора з правостороннім поперечним зміщенням $0,35 \text{ м}$ за допомогою спеціально розробленого з'єднувального перехідного бруса (рис. 2). Секції сівалки були налаштовані на глибину висіву соняшникового насіння 7 см .

Експериментально досліджували чотири варіанти налаштування посівного агрегату (табл. 1), що різнилися величиною правостороннього поперечного зміщення сівалки (параметр d) та довжиною вильоту її правого маркера (параметр S_m).

Для проведення експериментальних досліджень поле розбили на ділянки довжиною 250 м . Перші 50 м кожної ділянки



Рис. 1. Трактор ХТЗ-16131 із сівалкою Leda-12

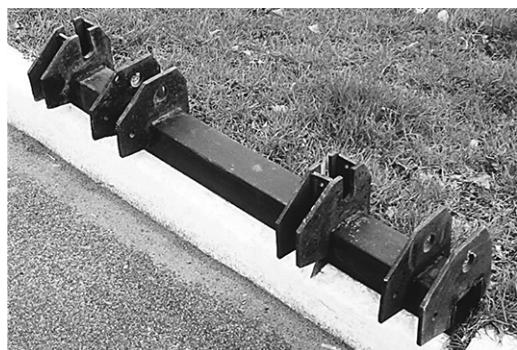


Рис. 2. Пристрій для асиметричного приєднання просапної сівалки до трактора ХТЗ-16131

використовували для розгону посівного агрегату. Далі, на ділянці довжиною 200 м, відбувався його робочий рух. Вказівниками напрямку руху агрегату слугували покажчики (вішки), встановлені по прямій лінії.

Посівний агрегат за кожного з чотирьох налаштувань рухався робочою ділянкою на одній і тій самій передачі. Виняток становив посівний агрегат варіанта V_4 (табл. 1), дослідження якого проводили за двох різних значень швидкості (V_0 , м·с⁻¹). Значення цього параметра розраховували із виразу $V_0 = 200 \cdot t^{-1}$, де t — час проходження посівним агрегатом ділянки довжиною 200 м. Для фіксації часу використовували секундомір марки КНР РС3860 (Китай) із похибкою вимірювання 0,01 с.

Під час руху робочою ділянкою поля правий маркер сівалки формував слід. Після проходження агрегату паралельно до цього сліду на відстані 50 см від нього прокладали шнур. За допомогою лінійки через кожний метр вимірювали відстань між маркерним слідом і шнуром. Кількість таких вимірювань становила 200, а їх похибка дорівнювала $\pm 0,5$ см.

2. Статистичні параметри коливань траєкторій маркерних слідів досліджуваних посівних агрегатів

Варіант посівного агрегату	Дисперсія, см ²	$D_{\text{лім}}$, см ²	Частота зрізу ω_c , м ⁻¹	$\omega_{\text{лім}}$, м ⁻¹
$V_1 : d = 0; S_m = 0$	3,04	12,50	0,20	0,25
$V_2 : d = 0; S_m = 8,75$ м	3,50		0,22	
$V_3 : d = 0,35$ м; $S_m = 0$	4,23		0,22	
$V_3 : d = 0,35$ м; $S_m = 8,75$ м	4,45		0,23	

1. Варіанти налаштування посівного агрегату при проведенні польових експериментальних досліджень

Варіант посівного агрегату	Величина поперечного зміщення сівалки d , м	Виліт маркера S_m , м
V_1	0	0
V_2	0	8,75
V_3	0,35	0
V_4	0,35	8,75

Повторюваність проведення кожного дослідю — дворазова. За відсутності маркера оцінювали траєкторію крайньої правої секції сівалки. Отримані експериментальні дані використовували для розрахунку дисперсій і нормованих спектральних щільностей відхилень траєкторії сліду маркера сівалки від прямої лінії.

Перед проведенням досліджень вимірювали вологість та щільність ґрунту поля у верхньому шарі 0–10 см. Застосовувані прилади і методика визначення цих параметрів описані в роботах [9, 10].

Результати досліджень. Місце польових експериментів — Південь України (46°50'56" північної широти, 35°21'55" східної довготи, висота над рівнем моря — 37 м). Середнє значення вологості ґрунту в шарі глибиною 0–10 см становило 20,3%, а його щільності — 1,21 г·см⁻³.

Швидкість руху посівних агрегатів за всіх чотирьох схем була практично постійною. Її значення змінювалось у межах 2,10–2,15 м·с⁻¹. Дисперсії та частоти зрізу нормованих спектральних щільностей коливань траєкторій маркерного сліду для кожного з агрегатів подано у табл. 2.

Як впливає з аналізу, проведеного з використанням G-критерію Кохрена, значення дисперсій коливань траєкторій маркерного

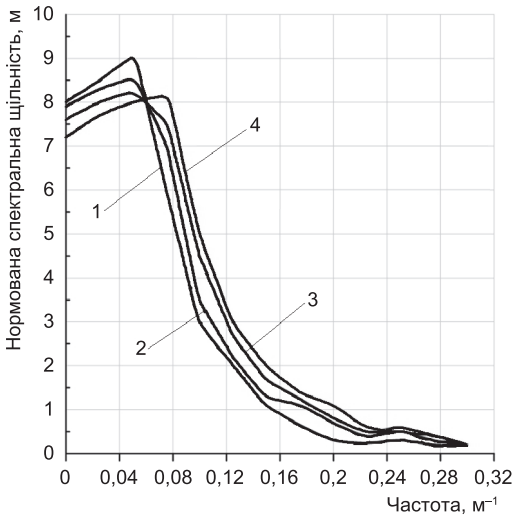


Рис. 3. Нормована спектральна щільність коливань траєкторії руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату різних схем: 1 — $d = 0$, $S_m = 0$; 2 — $d = 0$, $S_m = 8,75$ м; 3 — $d = 0,35$ м, $S_m = 0$; 4 — $d = 0,35$ м, $S_m = 8,75$ м

сліду кожного з чотирьох посівних агрегатів виявилися однорідними, тобто вони належать одній і тій самій генеральній сукупності. Правильність такого результату підтверджується меншим реальним значенням G-критерію (0,29) порівняно з табличним, рівним у цьому випадку 0,32.

Згідно з даними табл. 2, всі ці дисперсії є меншими від згадуваного вище граничного значення $D_{lim} = 12,5$ см². До того ж, як впливає з аналізу нормованих спектральних щільностей коливань траєкторій слідів маркера сівалки (рис. 3), основна частина кожної з оцінюваних дисперсій потрапляє у діапазон частот $0 - \omega_{lim}$. У нашому випадку частота зрізу кожної з чотирьох порівнюваних спектральних щільностей (ω_c) є меншою за значення ω_{lim} , яке дорівнює $0,25$ м⁻¹.

Оскільки нуль-гіпотеза про рівність порівнюваних дисперсій при цьому не відхиляється, можна стверджувати, що асиметричне приєднання сівалки до трактора не призводить до погіршення поздовжньої стійкості руху посівного агрегату.

Слід наголосити, що цей результат справедливий і у разі виконання агрегатом

робочого процесу із більшою швидкістю. Експериментально встановлено, що у випадку руху посівного агрегату, налаштованого за схемою варіанта V_4 , зі швидкістю $V_0 = 2,6$ м·с⁻¹ дисперсія коливань траєкторії сліду маркера сівалки не перевищувала $6,55$ см². Це є закономірним для більшого значення дисперсії при русі цього самого посівного агрегату зі швидкістю $2,1$ м·с⁻¹ ($4,45$ см², див. табл. 2), але значно меншого за значення D_{lim} , рівного $12,50$ см².

Нормовані спектральні щільності коливань траєкторій сліду маркера агрегату схеми V_4 за його руху зі швидкістю $2,1$ і $2,6$ м·с⁻¹ відрізняються незначно (рис. 4). Максимальні значення цих статистичних характеристик (криві 1 і 2) припадають практично на одну й ту саму частоту, що дорівнює $0,07$ м⁻¹. Найменше для кривої 1 і найбільше для кривої 2 значення дисперсій коливань аналізованих процесів зосереджені в діапазоні частот $0 - 0,22$ і $0 - 0,25$ м⁻¹ відповідно. За швидкості руху посівного машинно-тракторного агрегату $2,1$ і $2,6$ м·с⁻¹ ці частотні діапазони відповідно дорівнюють $0 - 0,46$ та $0 - 65$ с⁻¹, або $0 - 0,07$ та $0 - 0,10$ Гц.

Звідси можна зробити висновок, що збільшення швидкості руху асиметричного

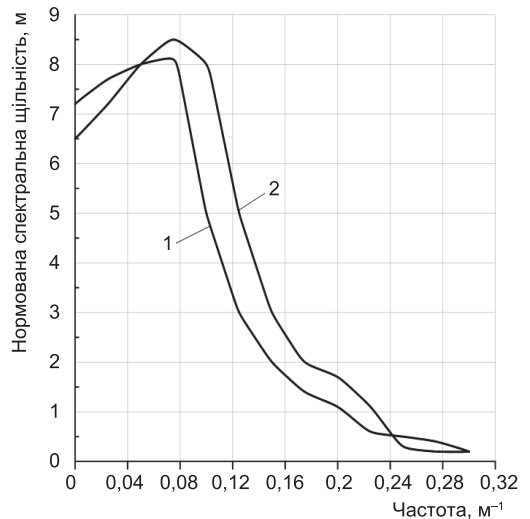


Рис. 4. Нормована спектральна щільність коливань траєкторії руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату за різної швидкості: 1 — $2,1$ м·с⁻¹; 2 — $2,6$ м·с⁻¹

посівного агрегату від 2,1 до 2,6 м·с⁻¹ (тобто на 24%) не призводить до погіршення траєкторних показників, які певним чином характеризують його курсову стійкість у горизонтальній площині. Фактично це означає, що вибір швидкісного режиму

роботи такого посівного машинно-тракторного агрегату може обмежуватися не його динамічними властивостями, а агротехнічними вимогами до такого процесу, яким є посів просапних сільськогосподарських культур.

Висновки

Експериментально доведено, що застосування асиметричного посівного агрегату не призводить до погіршення стійкості його руху в горизонтальній площині. Це підтверджується тим, що, згідно з G-критерієм Кохрена, дисперсії коливань траєкторії сліду маркера або сівалки, приєднаної до трактора з поперечним зміщенням на 0,35 м і без зміщення, є однорідними.

Збільшення швидкості руху асиметрич-

ного посівного агрегату від 2,1 до 2,6 м·с⁻¹ проявляється у певному зростанні дисперсії коливань траєкторії сліду маркера сівалки. Але оскільки значення цієї дисперсії (6,55 см²) майже вдвічі менше за агротехнічні вимоги (12,50 см²), при виборі швидкісного режиму роботи такого посівного машинно-тракторного агрегату його динамічні властивості не можуть бути обмежувальним чинником.

Bulgakov V.¹, Adamchuk V.², Nadykto V.³, Kyurchev V.⁴, Trokhaniak O.⁵

¹, ²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine; ²Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 11 Vokzalna Str., Glevakh village, Fastiv district, Kyiv region, 08631, Ukraine; ³, ⁴Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytskyi Ave., Melitopol, Zaporizhzhia region, 72312, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³volodymyrmyvt@meta.ua, ⁴radnik@tstatu.edu.ua, ⁵klendij_o@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0003-4377-1924, ⁵0000-0002-4671-5824

Experimental studies of the movement trajectory of asymmetric sowing machine-tractor unit

Goal. To determine the conditions of stable movement of an asymmetric sowing machine-tractor unit during plane-parallel working movement at a certain speed in the horizontal plane by experimental evaluation of its trajectories. **Methods.** Experimental studies of the asymmetric inter-row machine-tractor unit were carried out on sunflower sowing according to the developed methodology using the basics of mathematical statistics and spectral analysis. **Results.** Since for a planter of row crops (corn, sunflower, soybean, etc.), the number k , which determines the ratio of the size of the tractor track to the width of the crop rows, may be odd, field experimental studies were

conducted to determine the conditions of movement of such an asymmetric unit when it is moved parallel to the plane at a certain speed in the horizontal plane. This article presents the results of an experimental study of a seeding machine-tractor unit, in which the Leda-12 seeder is offset in the transverse direction from the axis of symmetry of the aggregating tractor KhTZ-16131 by half the width of the row spacing, which is equal to 70 cm. To prevent the negative phenomenon associated with the creation of an additional moment that deploys this unit, a special transition device was developed, manufactured and successfully tested. **Conclusions.** Experimental studies have established that using an asymmetric sowing unit does not deteriorate the stability of its movement in the horizontal plane. This is confirmed by the fact that, according to Cochren's G-criterion, the variances of the trajectory of the trace of the planter without and with a marker attached to a tractor with a lateral displacement of 0.35 m and without it are uniform. An increase in the speed of movement of the asymmetric sowing unit from 2.1 to 2.6 м·с⁻¹ is manifested in a certain increase in the dispersion of fluctuations of the trajectory of the seed drill marker. But since the value of this dispersion (6.55 cm²) is almost two times smaller than the agrotechnical requirements (12.50 cm²), its dynamic properties cannot act as a limiting factor when choosing the speed mode of operation of such a sowing machine-tractor unit.

Key words: unit, row seeder, experimental studies, transfer function, normalized spectral density.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202306-06>

Бібліографія

1. Nadykto V., Karaiev O., Kyurchev V., Be-loev H. The efficiency of tractor application with articulated frame for cultivating arable crops. *Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations. Switzerland, 2019.* P. 161–167. doi: 10.1007/978-3-030-14918-5-17
2. Адамчук В., Булгаков В., Надикто В., Кюрчев В. Дослідження непрямої рядків просапних культур із використанням нового показника. *Вісник аграрної науки.* 2021. № 8. С. 39–46.
3. Mursec B., Vindis P., Janzekovic M. et al. Analysis of the quality of sowing by pneumatic sowing machines for sugar beet. *J. of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* 2007. V. 22.1. P. 85–88.
4. Адамчук В.В., Баранов Г.Л., Барановський О.С. та ін. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки; за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.
5. Васильковська К.К. Системний аналіз конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів для точного висіву насіння просапних культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник.* 2018. Вип. 48. С. 22–35. doi: 10.32515/2414-3820.2018.48.22-35
6. Надикто В.Т., Кюрчев В.М. Використання тракторів серій ХТЗ-160 і ХТЗ-170 на вирощуванні просапних культур. *Техніка і технології АПК.* 2013. № 1. С. 7–11.
7. Надикто В.Т., Шабала М.О., Абдула С.Л. Перспективи використання тракторів ХТЗ-120/160 на сумісних посівах кукурудзи і сої. *Вісник АІНУ.* 2006. № 1. С. 65–68.
8. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Надикто В.Т. та ін. Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки.* 2023. № 5. С. 57–64.
9. Bulgakov V., Aboltins A., Be-loev H. et al. Maximum admissible slip of tractor wheels without disturbing the soil structure. *MDPI and ACS Style Agriculture.* 2021. 11 (15). 6893. Basel, Switzerland. P. 1–10. doi.org/10.3390/app11156893
10. Bulgakov V., Findura P., Nadykto V. et al. Experimental Study of Two Fallow Field Treatment Influence Methods on Soil Moisture Dynamics. *Acta Technological Agriculturae.* 2022. V. 4. P.176–182. doi: 10.2478/ata-2022-0026