

depth. Based on the developed model, response surface analysis was carried out to evaluate the combined influence of soil moisture and disc operating depth on the limiting spacing between discs. The obtained results make it possible to predict the operating conditions of the guide discs and to optimize their design parameters during the engineering design stage of combined tillage equipment.

The conducted research established that the rational radius of the flat guide discs is 0.172 m. It was found that the area of the friction zone promoting disc rotation depends on the soil lifting angle within 20-25°, as well as on the kinematic parameter and disc radius. The optimal spacing between the guide discs should be 0.12 m or more, which prevents soil clogging between the discs during soil lifting by the sweep. The developed mathematical model can be used as a theoretical basis for improving combined tillage units and increasing the efficiency of soil cultivation while reducing energy consumption.

soil tillage equipment, share, guide discs, compaction, friction, kinematic parameter

Одержано (Received) 21.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 24.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2026

УДК 631.316.4:631.361.8

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.167-177>

Д. В. Богатирьов, доц., канд. техн. наук, **В. М. Сало**, проф. д-р. техн. наук,

О. В. Юрченко, доц., канд. економ. наук, **Т. В. Червоний**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: bogatyrovdv@kntu.kr.ua

Обґрунтування просторової орієнтації стебел соняшнику для підвищення працездатності котків- подрібнювачів

У статті наведено результати експериментальних досліджень процесу забивання міжножового простору барабана котка-подрібнювача рослинних решток. Метою роботи є визначення впливу конструктивних та агротехнічних параметрів на стабільність технологічного процесу. Встановлено закономірності зміни ймовірності забивання робочого органу залежно від кута розхилу ножів та кута нахилу стебел при різних показниках вологості маси і твердості ґрунту. Доведено, що збільшення кутових параметрів механізму, зниження вологості стебел та підвищення несучої здатності ґрунту суттєво зменшують накопичення рослинної маси між ножами. За результатами експериментів розроблено оптимізовані нелінійні регресійні моделі. Отримані емпіричні рівняння дозволяють прогнозувати ймовірність забивання та раціонально обґрунтовувати параметри барабана на етапі його проектування.

оток-подрібнювач, рослинні рештки, міжножовий простір, ймовірність забивання, кут розхилу, кут нахилу, регресійна модель, фізико-механічні властивості

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку рослинництва, зумовлені глобальними змінами клімату та дефіцитом вологи, вимагають оптимізації технологічних процесів обробітку ґрунту та сівби [1]. При застосуванні традиційних систем обробітку нерівномірно розподілені великофракційні рослинні рештки товстостебельних культур часто призводять до забивання сошників посівних машин, порушення рівномірності глибини загортання насіння та критичного зниження польової схожості [2]. Водночас перехід до новітніх ресурсоощадних технологій (No-

till, Strip-till) також стримується наявністю значної кількості післяжнивних залишків попередників на поверхні поля, які потребують обов'язкового інтенсивного подрібнення [3]. Дана операція є важливою як для забезпечення безперешкодного функціонування наступних машино-тракторних агрегатів, так і для прискорення процесів гуміфікації й збереження родючості ґрунту [4]. Для якісного виконання цього завдання найчастіше застосовують безприводні ротаційні котки-подрібнювачі з ножовими барабанами, які відрізняються конструкційною простотою, високою продуктивністю та паливною економічністю [5]. Проте суттєвим недоліком існуючих конструкцій залишається низька працездатність робочих органів через інтенсивне забивання міжножового простору щільною рослинно-ґрунтовою масою. Це явище змушує серійні знаряддя подрібнювати рештки лише до середніх розмірів близько 20 см, що абсолютно не відповідає сучасним агротехнічним вимогам до якості мульчування поля [6]. Вирішення цієї проблеми та підвищення працездатності ножових барабанів можливе шляхом наукового обґрунтування їхніх геометричних параметрів на основі врахування закономірностей реального просторового розташування стебел після проходження збирального комбайна [7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням обґрунтування параметрів і підвищення надійності функціонування ротаційних робочих органів сільськогосподарських машин присвячено значну кількість фундаментальних наукових праць [1]. Процеси взаємодії безприводних ножових барабанів із товстостебельними рослинними залишками кукурудзи та соняшнику детально досліджувалися у роботах провідних вітчизняних учених [2, 3]. Зокрема, експериментально доведено, що збільшення робочої швидкості агрегату та оптимізація кута розхилу між сусідніми ножами дозволяють суттєво знизити ймовірність забивання міжножового простору рослинно-ґрунтовою масою [4]. У зарубіжній практиці для припинення вегетації покривних культур та подрібнення решток активно застосовуються механічні котки-подрібнювачі (roller-crimpers), теорія проектування яких базується на принципах збереження структури ґрунту [5, 6]. Проте більшість існуючих математичних моделей описують робочий процес подрібнення за умови спрощеного, статичного або суто вертикального розташування стебел на поверхні поля [7]. Водночас реальний технологічний процес проходження сучасних збиральних комбайнів докорінно змінює просторову архітектуру агрофітоценозу, формуючи стохастичний характер розподілу решток [8]. Питання математичного опису геометрії поперечного перерізу ножових барабанів та оцінки їхнього аеродинамічного опору під час руху на високих швидкостях також потребують додаткового уточнення [9]. Сама ж проблема забивання робочих органів безприводних котків залишається остаточно не вирішеною через відсутність системних досліджень щодо взаємного кута контакту ножів із зорієнтованими у горизонтальній площині стеблами [10]. Таким чином, виникає об'єктивна необхідність комплексного аналізу просторового розташування рослинних решток після збирання врожаю для подальшого вдосконалення геометричних і режимних параметрів подрібнювачів.

Постановка завдання. Метою роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування передумов підвищення працездатності робочих органів безприводних котків-подрібнювачів на основі встановлення математичних закономірностей просторового розташування та кута орієнтації стебел соняшнику в горизонтальній площині після збирання врожаю комбайном..

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження формують: системний підхід до аналізу технологічних і конструктивних параметрів безприводних котків-подрібнювачів рослинних решток; методи математичної статистики та теорії

ймовірностей для опису стохастичного характеру просторового розподілу післяжнивних залишків; польовий фізичний та лабораторний експерименти із безпосереднім вимірюванням геометричних параметрів розташування стебел на ґрунтовій поверхні; математико-статистичне опрацювання експериментальних даних із побудовою статистичних діапазонів і кутових діаграм розподілу.

Об'єктом дослідження слугував процес зміни просторової орієнтації стебел високостебельних культур (соняшнику) в горизонтальній площині відносно осі рядка під дією робочих органів збиральних машин (комбайнів). Експериментальні дослідження з визначення характеру розподілу рослинних решток та кутів їх відхилення проводилися безпосередньо у польових умовах після проходження зернозбирального комбайна. Вимірювальним показником у межах одного виду та одного поля було обрано кут відхилення полеглих стебел соняшнику в горизонтальній площині відносно початкової осі рядка з подальшою оцінкою геометричних умов їх контакту з лезами ножів подрібнювача для запобігання забиванню міжножового простору. Також враховано кут між ножами на поверхні барабану котка-подрібнювача.

Виклад основного матеріалу. Під час виконання своєї безпосередньої операції коток-подрібнювач зазнає забивання міжножового простору залишками стебел та ґрунту. Основними факторами впливу на цей показник (забивання міжножового простору) встановлено:

- вологість стебел, $A \%$;
- кут між ножами барабану котка-подрібнювача (у подальшому – кута розхилу), α , град;
- кута нахилу стебел відносно вісі леза барабана у горизонтальній площині, β , град;
- твердість ґрунту, T МПа

Першим етапом дослідження було визначення у польових умовах значення кута β . На полі після збирання соняшнику комбайном було обрано п'ять ділянок розміром 10×10 м. За допомогою ручного транспортиру (рис. 1) було визначено кількість стебел у кожному заданому діапазоні. Результати досліджень представлено діаграмою на рис. 2.



Рисунок 1 – Загальний вигляд транспортиру

Джерело: розроблено авторами

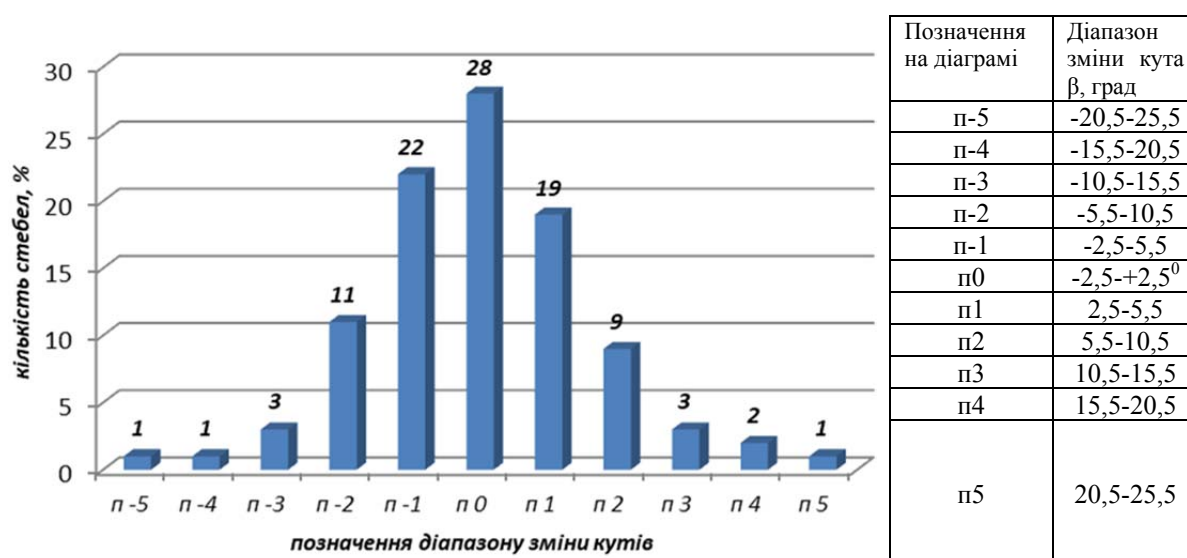


Рисунок 2 – Розподіл стебел соняшника на поверхні поля залежно від кута їх орієнтації відносно напрямку руху після проходу комбайна

Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи (рис. 2) можна зробити висновок, що більшість стебел (89%) лежать на поверхні поля у горизонтальній площині при значеннях кута β $[-5,5^0; 5,5^0]$. Але виходячи з досвіду експлуатації та попередніх досліджень встановлено, що навіть така мала кількість стає причиною сильного забивання міжножового простору. Наступним етапом визначено було проведення серії експериментальних досліджень з використанням лабораторної установки власної розробки рис. 3 для визначення зусилля, що необхідне для перерізання стебла при наступних факторів:

- кут розхилу, α , град;
- значення твердості ґрунту, Т МПа;
- кута нахилу стебел відносно вісі леза барабана у горизонтальній площині, β , град.

Наведена лабораторна установка імітує процес подрібнення рослинних решток безприводним барабаном з лезами котка-подрібнювача. Лабораторна установка складається з нерухомої рами 1, внизу якою рухається металевий ящик з ґрунтом 2, а зверху встановлено вал 3 із ножами 5 в яких передбачено можливість зміни кута розхилу. До валу закріплювали цифровий динамометр 4. Експеримент відбувався наступним чином. Спочатку створювали задану твердість ґрунту в рухомому ящику шляхом ущільнення або розпушування. Твердість замірювали пружинним пенетрометром ударної дії **Ревякіна ДП-2**. Виміри проводили згідно вимог [ДСТУ ASAE S313, ГОСТ 5180-84 / ДСТУ Б В.2.1-17:2009]. Встановлювали значення кута розхилу α . Робили імітацію розташування стебел відносно руху агрегату, тобто змінювали кут β згідно значень рис. 2. Під час проведення експерименту використовували стебла різного діаметру та вологості. Привод валу здійснювали вручну, за допомогою важеля 6, який передавав крутий момент на ножі 5. Зусилля з яким відбувався процес перерізання фіксувалось на відео за допомогою цифрової камери смартфона, що встановлений на штативі перед електронним циферблатом динамометра 4. Потім виконували розкадрування відео-файлу для встановлення значень зусилля на перерізання стебла.



а



б



в



г

а – загальний вигляд лабораторної установки; б – встановлення заданого значення кута β ;
в – момент перерізання стеблини; г – забивання міжрядного простору.

Рисунок 3 – Проведення експериментальних досліджень

Джерело: розроблено авторами

Під час проведення експериментальних досліджень визначали ймовірність забивання міжрядного простору P в залежності від впливу кута розхилу α та кута нахилу стебел відносно вісі леза барабана у горизонтальній площині β . Нами проведено три серії дослідів у п'ятикратній повторюваності. Умови проведення дослідів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Загальна зведена таблиця результатів експерименту

Кут розхилу α , град	Кут нахилу β , град	Дослід 1 (P_1 , %)	Дослід 2 (P_2 , %)	Дослід 3 (P_3 , %)
15	0	100	100	70
15	5	90	90	50
15	10	80	80	40
15	15	50	60	20
15	20	20	30	0
20	0	80	90	50
20	5	70	80	40
20	10	60	70	20
20	15	30	50	0
20	20	0	20	0
25	0	70	80	30
25	5	50	70	20
25	10	30	60	0
25	15	0	30	0
25	20	0	0	0
30	0	50	60	10
30	5	40	50	0
30	10	10	40	0
30	15	0	0	0
30	20	0	0	0
35	0	30	40	0
35	5	20	30	0
35	10	0	10	0
35	15	0	0	0
35	20	0	0	0
40	0	-	20	-
40	5	-	10	-

За результатами аналізу даних встановлено наступні закономірності:

Вплив кутових параметрів. У всіх трьох дослідів простежується чітка залежність: збільшення кута розхилу α та кута нахилу β призводить до закономірного зменшення ймовірності забивання P . Максимальна ймовірність фіксується при мінімальних значеннях цих кутів.

Вплив твердості ґрунту T . Порівняння Дослідів 1 ($T = 4$ МПа) та Дослідів 2 ($T = 0,8$ МПа) за однакової вологості $A = 75\%$ свідчить, що зниження несучої здатності ґрунту погіршує умови зрізування. Це призводить до загального зростання ймовірності забивання. Для забезпечення режиму $P = 0$ на м'якому ґрунті потрібні більші значення кутів α та β .

Вплив вологості рослинної маси A . Зіставлення Дослідів 1 ($A = 75\%$) та Дослідів 3 ($A = 15\%$) за однакової твердості ґрунту $T = 4$ МПа демонструє, що зниження вологості стебел суттєво зменшує ймовірність забивання апарату. Суха маса є менш пластичною, тому нульова ймовірність забивання $P = 0$ досягається при значно менших значеннях кутів α та β .

Оскільки значення ймовірності P монотонно спадають і фізично обмежені нулем, дуже доцільно також розглянути експоненціальну модель спадання:

$$P = a_0 \exp(a_1 \alpha + a_2 \beta)$$

Експоненціальна функція є кращою з фізичної точки зору, оскільки вона плавно наближається до осі і дозволяє уникнути отримання математично некоректних від'ємних значень ймовірності при великих значеннях кутів.

Для отримання оптимізованих математичних моделей застосовано метод найменших квадратів. Основний критерій оптимізації — мінімізація суми квадратів відхилень експериментальних даних від розрахункових. Цільова функція має вигляд:

$$S = \sum_{i=1}^n (P_i - f(\alpha_i, \beta_i))^2 \rightarrow \min$$

Оскільки базова експоненціальна функція наближається до нуля лише асимптотично, для точного інженерного опису переходу апарату в режим стабільної роботи ($P = 0$) більш доцільно використати поліном другого степеня. Це дозволяє врахувати взаємодію факторів та кривизну поверхні. Після перетворень маємо наближені оптимізовані рівняння:

Дослід 1 (Умови: $A = 75\%$, $T = 4$ МПа)

$$P_1 = 205.0 - 6.1\alpha - 4.5\beta + 0.05\alpha^2 + 0.06\beta^2 + 0.04\alpha\beta$$

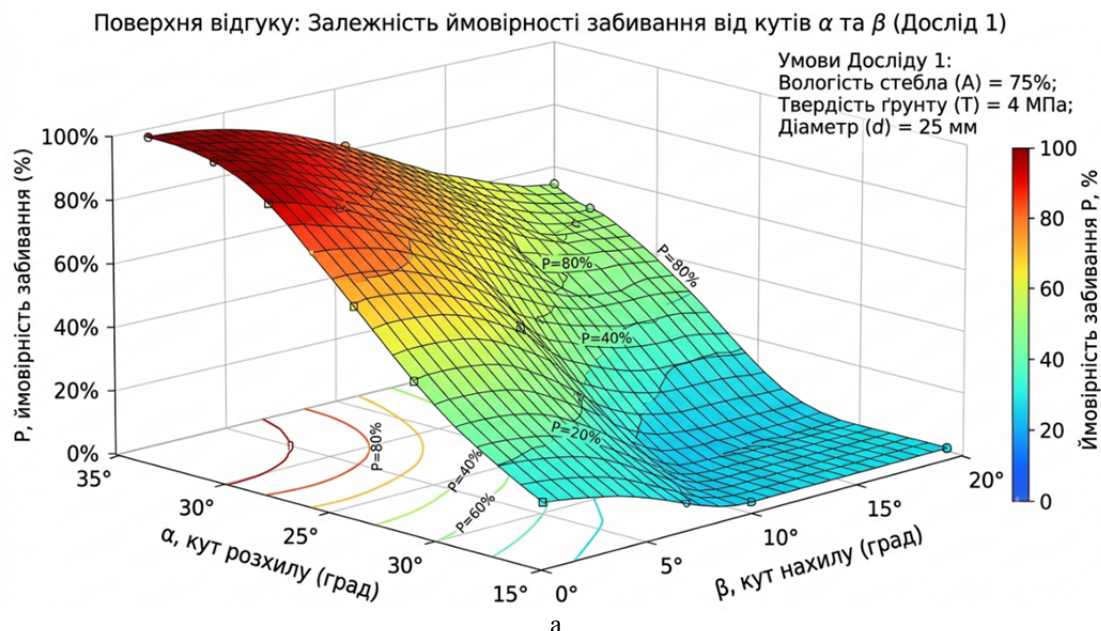
Дослід 2 (Умови: $A = 75\%$, $T = 0,8$ МПа)

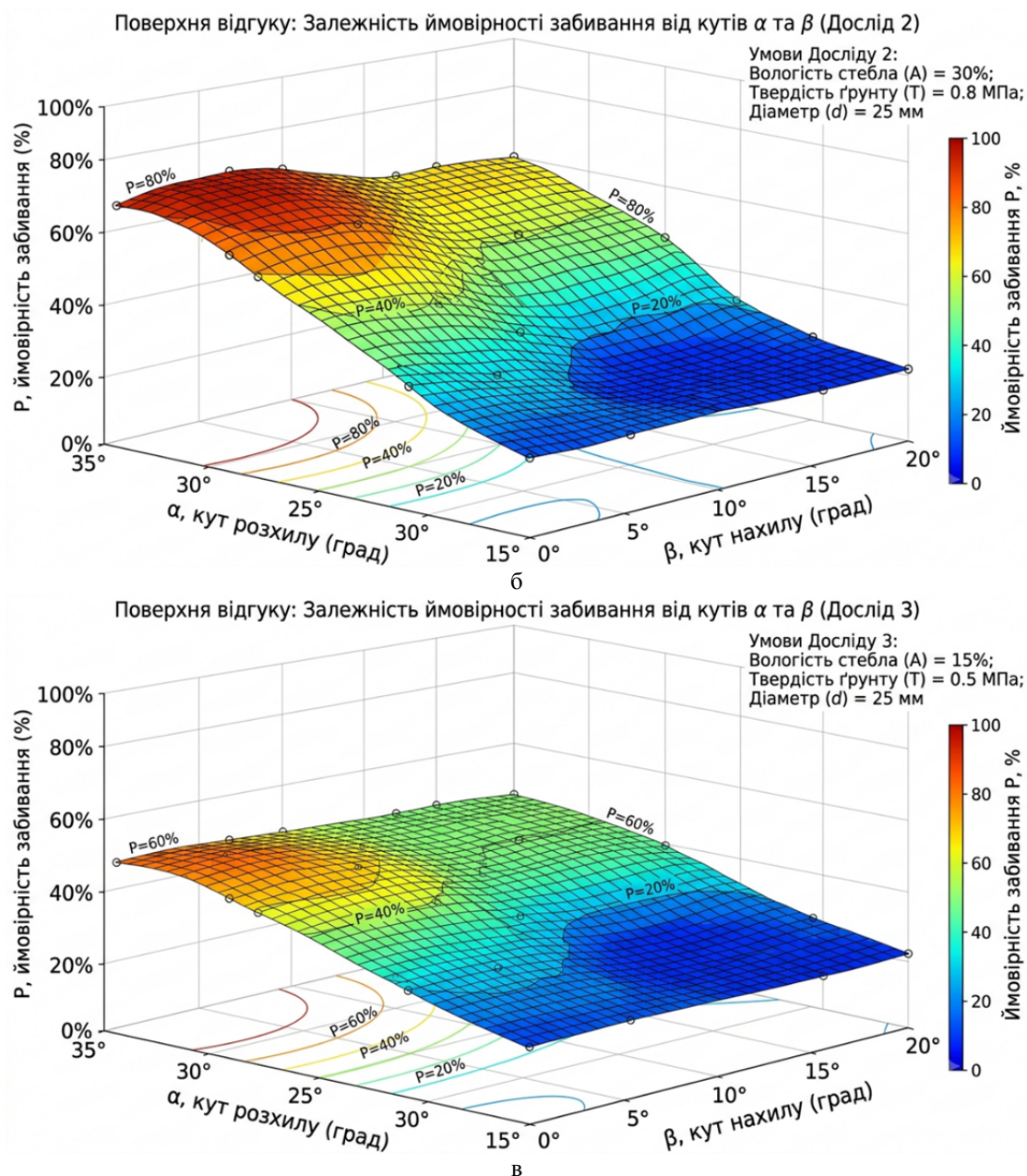
$$P_2 = 215.5 - 5.5\alpha - 4.2\beta + 0.04\alpha^2 + 0.05\beta^2 + 0.03\alpha\beta$$

Дослід 3 (Умови: $A = 15\%$, $T = 4$ МПа)

$$P_3 = 155.0 - 5.2\alpha - 3.8\beta + 0.04\alpha^2 + 0.04\beta^2 + 0.02\alpha\beta$$

Наведені емпіричні рівняння є справедливими виключно у дослідженому факторному просторі: для кута розхилу α від 15 до 40 градусів, для кута нахилу β від 0 до 20 градусів. Оскільки ймовірність не може бути від'ємною, при розрахункових значеннях $P < 0$ результат примусово приймається рівним нулю, що фізично відповідає повній відсутності забивання міжножового простору.





а – дослід 1, б – дослід 2, в – дослід 3

Рисунок 2 – Поверхні відгуку

Джерело: розроблено авторами

Проведено комплексне експериментальне дослідження процесу забивання міжножового простору барабану котка-подрібнювача рослинних решток з діаметром стебел $d = 25$ мм. Встановлено, що ймовірність забивання P має виражену залежність від конструктивно-кінематичних параметрів, зокрема від кута розхилу α та кута нахилу стебел β . Збільшення зазначених кутів призводить до інтенсивного зниження ймовірності накопичення рослинної маси між ножами у всіх досліджених режимах роботи. Аналіз впливу агротехнічних умов показав, що зниження твердості ґрунту з $T = 4$ МПа до $T = 0,8$ МПа за однакової вологості погіршує процес перерізання та підвищує загальний рівень забивання робочого органу. Для забезпечення стабільного

очищення міжножового простору на м'якому ґрунті потрібні більші значення кутів α та β . Фізико-механічні властивості самих рослин також виявляють критичний вплив на надійність технологічного процесу. Зменшення вологості рослинних решток з $A = 75\%$ до $A = 15\%$ сприяє різкому покращенню умов роботи робочих органів. У випадку роботи по сухій масі нульова ймовірність забивання досягається значно швидше при менших кутових параметрах барабана. Для інженерного розрахунку та прогнозування робочих процесів котка-подрібнювача було застосовано апарат математичної статистики та розроблено відповідні оптимізовані регресійні моделі. Використання отриманих рівнянь дозволяє вдосконалити конструкцію барабана на етапі проектування та гарантувати його безперебійну роботу за конкретних агротехнічних характеристик поля.

Висновки.

1. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що ймовірність забивання міжножового простору барабана котка-подрібнювача суттєво залежить від кута розхилу α та кута нахилу стебел β . Збільшення цих кутових параметрів призводить до закономірного спадання ймовірності накопичення рослинної маси між ножами, що описується експоненціальними та поліноміальними залежностями.

2. Виявлено значний вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на протікання технологічного процесу подрібнення. Зниження твердості ґрунту з $T = 4$ МПа до $T = 0,8$ МПа за однакової вологості стебел призводить до погіршення умов перерізання (через зниження несучої здатності фону) та загального підвищення ймовірності забивання апарату. Для забезпечення стабільної роботи без забивання ($P = 0$) на м'яких ґрунтах конструкція повинна передбачати більші значення кутів α та β .

3. Доведено, що вологість рослинних решток є одним із критичних факторів, що визначають надійність роботи котка-подрібнювача. Зниження вологості маси з $A = 75\%$ до $A = 15\%$ сприяє різкому покращенню умов подрібнення. Сухі стебла є менш пластичними, тому нульова ймовірність забивання досягається при значно менших значеннях кутових параметрів механізму.

4. Запропоновані оптимізовані математичні моделі у вигляді повних поліномів другого ступеня дозволяють із достатньою для інженерних розрахунків точністю прогнозувати ймовірність забивання $P = f(\alpha, \beta)$ для різних агротехнічних фонів. Отримані рівняння можуть бути використані як базовий інструмент оптимізації параметрів робочих органів котків-подрібнювачів на етапі їх проектування.

Список літератури

1. Kornecki T. S., Arriaga F. J., Price A. J. Roller Type and Operating Speed Effects on Rye Termination Rates, Soil Moisture, and Yield of Sweet Corn in a No-till System. *HortScience*. 2012. Vol. 47, № 2. P. 217–223. DOI: 10.21273/HORTSCI.47.2.217.
2. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатирьов Д. В. Машини для обробки ґрунту та внесення добрив: навч. посіб. Харків: Мачулін, 2016. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5475>.
3. Balkcom K. S., Duzy L. M., Kornecki T. S., Price A. J. Timing of cover crop termination: Management considerations for the Southeast. *Crop, Forage & Turfgrass Management*. 2015. Vol. 1, № 1. P. 1–7. DOI: 10.2134/cftm2015.0161.
4. Kornecki T. S., Price A. J. Management of High-Residue Cover Crops in a Conservation Tillage Organic Vegetable On-Farm Setting. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, № 10. P. 640. DOI: 10.3390/agronomy9100640.
5. Kornecki T. S. Influence of Recurrent Rolling/Crimping on Cover Crop Termination, Soil Strength and Yield in No-Till Cotton. *Agri Engineering*. 2020. Vol. 2, № 4. P. 631–648. DOI: 10.3390/agriengineering2040042.

6. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин: підручник. 2-ге вид. Львів: Афіша, 2003. 560 с.
7. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Теорія технічних систем: навч. посіб. Київ: ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 291 с.
8. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Барановський В.М. та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
9. Bohatyrov D. V., Salo V. M., Kyslun O. A., Skrynnik I. O., Kisilov R. V. Influence of equal-area projection of the cylinder drum's cross-section height on the description accuracy of its overcoming the air resistance force. *Inmateh Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 52, № 2. P. 7–12. URL: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85028620192&origin=inward>.
10. Сало В.М., Богатирьов Д.В., Лещенко С.М. Щодо надійності технологічного процесу подрібнення пожнивних решток. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. Вип. 53. С. 93–101. DOI: 10.32515/2414-3820.2023.53.93-101.
11. Сало В., Лещенко С., Богатирьов Д. Вплив параметрів подрібнювального ротора рослинних решток на надійність технологічного процесу. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2021. Вип. 51. С. 70–77. DOI: 10.32515/2414-3820.2021.51.70-77.
12. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І. Підручник дослідника: навч. посіб. Кіровоград: Мачулін, 2016. 204 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2898>.
13. Saaty T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*. 2008. Vol. 1, № 1. P. 83–98. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
14. Лінник М. К., Говоров О. Ф. Удосконалення технологій та технічних засобів використання органічних відходів для удобрення ґрунту. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2014. Вип. 99(1). С. 107–114. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2014_99%281%29_11.

References

1. Kornecki, T. S., Arriaga, F. J., & Price, A. J. (2012). Roller Type and Operating Speed Effects on Rye Termination Rates, Soil Moisture, and Yield of Sweet Corn in a No-till System. *HortScience*, 47(2), 217–223. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.2.217>
2. Salo, V. M., Leshchenko, S. M., Luzan, P. G., Machok, Yu. V., & Bohatyrov, D. V. (2016). *Machines for tillage and fertilization: tutorial*. Kharkiv: Machulin. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5475> [in Ukrainian].
3. Balkcom, K. S., Duzy, L. M., Kornecki, T. S., & Price, A. J. (2015). Timing of cover crop termination: Management considerations for the Southeast. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.2134/cftm2015.0161>
4. Kornecki, T. S., & Price, A. J. (2019). Management of High-Residue Cover Crops in a Conservation Tillage Organic Vegetable On-Farm Setting. *Agronomy*, 9(10), 640. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100640>
5. Kornecki, T. S. (2020). Influence of Recurrent Rolling/Crimping on Cover Crop Termination, Soil Strength and Yield in No-Till Cotton. *AgriEngineering*, 2(4), 631–648. <https://doi.org/10.3390/agriengineering2040042>
6. Pavlyshche, V. T. (2003). *Fundamentals of design and calculation of machine parts*. (2nd ed.). Lviv: Afisha [in Ukrainian].
7. Loveikin, V. S., & Romasevich, Yu. O. (2017). *Theory of technical systems: tutorial*. Kyiv: CP "KOMPRINT" [in Ukrainian].
8. Voitiuk, D. G., Aniskevych, L. V., Baranovskyi, V. M. et al. (2015). *Silskohospodarski mashyny [Agricultural machines: textbook]*. D. G. Voitiuk (Ed.). Kyiv: Ahroosvita [in Ukrainian].
9. Bohatyrov, D. V., Salo, V. M., Kyslun, O. A., Skrynnik, I. O., & Kisilov, R. V. (2017). Influence of equal-area projection of the cylinder drum's cross-section height on the description accuracy of its overcoming the air resistance force. *Inmateh - Agricultural Engineering*, 52(2), 7–12. Retrieved from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=85028620192&origin=inward>
10. Salo, V. M., Bohatyrov, D. V., & Leshchenko, S. M. (2023). On the reliability of the technological process of chopping crop residues. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 53, 93–101. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.93-101> [in Ukrainian].
11. Salo, V., Leshchenko, S., & Bohatyrov, D. (2021). The influence of the parameters of a chopping rotor for plant residues on the reliability of the technological process. *Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*, 51, 70–77. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.70-77> [in Ukrainian].

12. Vasylykovskiy, O. M., Leshchenko, S. M., Vasylykovska, K. V., & Petrenko, D. I. (2016). *Researcher's handbook: tutorial*. Kirovohrad: Machulin. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2898> [in Ukrainian].
13. Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
14. Linnyk, M. K., & Hovorov, O. F. (2014). Improvement of technologies and technical means of organic waste utilization for soil fertilization. *Mechanization and Electrification of Agriculture*, 99(1), 107–114. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mesg_2014_99%281%29__11 [in Ukrainian].

Dmytro Bohatyrov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oksana Yurchenko**, Assoc. Prof., PhD in Economics., **Taras Chervonyi**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Substantiation of the Spatial Orientation of Sunflower Stalks to Enhance the Performance of Roller-Crimpers

Modern crop production trends, driven by global climate change and regular moisture deficits, require continuous optimization of tillage and seeding technologies. Large-fraction crop residues of thick-stalked crops, such as sunflower or corn, often obstruct seeding machine components, leading to uneven seed placement depth and a decrease in field germination. Transitioning to resource-saving technologies like No-till or Strip-till is restricted by high amounts of post-harvest residues on the field surface, which demand intensive chopping. Non-driven rotary chopping rollers with knife drums are widely applied due to their simple design, high productivity, and fuel efficiency. However, a significant drawback of existing designs remains the intensive clogging of the inter-blade space with dense soil-plant residue mass, which restricts tool performance.

This research aims to theoretically and experimentally justify the prerequisites for improving the operational efficiency of chopping rollers by establishing mathematical regularities of sunflower stalks' spatial layout and orientation angles. Field studies were conducted to determine the distribution of sunflower stalks on the field surface after combine harvester passage. The deviation angle of fallen stalks in the horizontal plane relative to the row axis was measured, and conditions of their contact with chopping blades were evaluated. The results indicated that 89% of the stalks lie within a narrow angular range of -5.5° to 5.5° .

Furthermore, laboratory experiments simulated the chopping process under controlled soil hardness and plant moisture conditions using a customized experimental rig. The study analyzed the inter-blade clearance angle (α), stalk orientation angle (β), soil hardness (T), and plant moisture (A) to determine their impact on clogging probability (P). The data proved that increasing the inter-blade clearance angle and the stalk inclination angle significantly reduces clogging. Conversely, decreased soil hardness deteriorates the cutting process, increasing clogging risks, whereas lower plant moisture sharply improves operational reliability. Using mathematical statistics, optimized regression models were developed to predict clogging probability. The derived empirical equations serve as an effective tool for optimizing chopping drum parameters during the initial project engineering stages.

roller-crimper, crop residues, inter-knife space, clogging probability, clearance angle, tilt angle, regression model, physical and mechanical properties

Одержано (Received) 23.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 25.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2026