**Вовнянко Б.Г.**

аспірант

*Центральноукраїнський
національний технічний
університет***Vovnianko B.**

postgraduate student

**Central Ukrainian National
Technical University****УДК 631.331; 631.33.24.2****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-4-16****ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПАРАМЕТРІВ ЗАГОРТАЮЧОЇ
П'ЯТКИ СОШНИКА**

Стаття присвячена теоретичному дослідженню параметрів загортаючої п'ятки сошника як важливого конструктивного елемента посівної секції, що істотно впливає на якість виконання процесу сівби зернових культур. Обґрунтовано, що за сучасних умов розвитку сільськогосподарського виробництва, які характеризуються широким упровадженням ресурсозберігаючих і прямих технологій сівби, традиційні конструкції сошників не завжди забезпечують стабільну глибину загортання насіння в товщі ґрунту під час сівби. Це зумовлює нерівномірність розміщення насіння в ґрунті, погіршення польової схожості та зниження потенційної врожайності агрокультур.

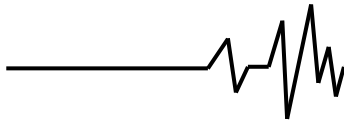
У роботі доведено, що однією з основних причин нестабільності глибини загортання насіння є складний характер руху насінини після її сходження з насіннеспроводу. Багатократні відбивання насіння від дна борозни, осипання ґрунту зі стінок та вплив повітряного середовища призводять до його переміщення на різні горизонти ґрунту. З метою більш точного опису цих процесів запропоновано теоретичний підхід до дослідження руху насінини з урахуванням опору повітря, що дозволяє більш адекватно змодельовати реальні умови функціонування посівної секції.

На основі положень класичної механіки отримано аналітичні залежності, які описують зміну координат і складових швидкості насінини під час її переміщення у внутрішній частині сошника та після контакту з ґрунтом. Це дало змогу визначити фактори, що впливають на умови стабілізації положення насіння на дні борозни. У статті також окреслено основні геометричні та технологічні параметри загортаючої п'ятки сошника, від яких залежить ефективність загортання та фіксації насіння.

Отримані аналітичні залежності можуть бути використані як теоретична основа для подальшого обґрунтування конструкційних і технологічних параметрів сошників з утримуючими п'ятками для різних типів ґрунтів і культур. Запропонований підхід є універсальним і може бути адаптований для сучасних посівних машин, зокрема тих, що працюють за ресурсозберігаючими технологіями сівби. Результати дослідження мають практичну цінність для конструкторських розробок нових та модернізації існуючих посівних секцій, а також створюють наукове підґрунтя для подальших експериментальних досліджень з метою уточнення раціональних параметрів загортаючої п'ятки в польових умовах.

Ключові слова: сошник, загортаюча п'ятка, процес сівби, рух насіння, математичне моделювання, глибина загортання.

Постановка проблеми. Забезпечення залежить від ефективності технологій продовольчої безпеки держави безпосередньо вирощування зернових культур, якість виконання



яких визначається рівнем технічного забезпечення виробничих процесів. Одним із впливових факторів, що визначають врожайність зернових, є якість виконання процесу сівби, зокрема рівномірність розміщення насіння на заданій глибині залягання [1, 2, 6]. Польові дослідження підтверджують, що відхилення глибини загортання від оптимальної у межах ± 2 см призводить до зниження врожайності на 10...12%, тоді як відхилення на $\pm 2,5$ см може спричинити втрати до 25...30% урожаю [2, 3].

Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарського виробництва характеризуються широким впровадженням ресурсозберігаючих технологій, зокрема прямих способів сівби з мінімальною або нульовою підготовкою ґрунту. За таких умов традиційне технічне забезпечення виявляється недостатньо ефективним. Існуючі посівні машини, обладнані дисковими сошниками з тупим кутом входження в ґрунт, незважаючи на свою здатність працювати на полях із значною кількістю рослинних решток, демонструють незадовільні показники рівномірності загортання насіння – коефіцієнт варіації під час їх роботи може перевищувати 60...70% [2, 3, 4].

Головна причина зазначеної проблеми полягає у фізичному процесі багаторазового відбивання насінин від дна борозни під час сівби з подальшим блокуванням цих насінин ґрунтом на різних горизонтах. Насіння після контакту з поверхнею ґрунту на дні борозни здійснює серію відскоків, під час яких відбувається одночасне осипання стінок борозни, що призводить до перерозподілу посівного матеріалу по всій глибині ходу сошника [5, 6].

Альтернативний підхід передбачає використання сошників з гострим кутом входження, які потребують значно менших енергетичних затрат [7, 8, 9]. Однак їхнім суттєвим недоліком є накопичення рослинних решток на робочих поверхнях, що унеможливило якісне виконання технологічного процесу при прямих способах сівби. Для усунення перелічених обмежень дослідники та виробники пропонують використовувати посівні секції з додатковими конструкційними елементами, зокрема утримуючими п'ятками, призначеними для фіксації насіння на заданій глибині [8, 11, 13].

Незважаючи на наявність окремих технічних рішень, на сьогодні відсутнє комплексне теоретичне обґрунтування конструкційних параметрів загортаючих п'яток сошників. Не визначені раціональні геометричні характеристики цих елементів, не встановлені залежності між параметрами п'ятки та технологічно-режимними умовами роботи для різних культур. Крім того, відсутня математична модель руху насіння в системі подачі посівної секції, що враховувала б реальні фізичні процеси взаємодії насінини з

ґрунтом та утримуючою п'яткою.

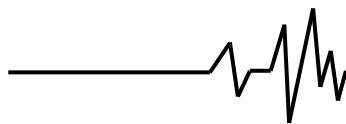
Таким чином, актуальною науково-технічною проблемою є теоретичне обґрунтування раціональних параметрів загортаючої п'ятки сошника, що дозволить забезпечити якісне виконання технологічного процесу сівби при використанні ресурсозберігаючих технологій та підвищити ефективність виробництва зернових культур.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проблема забезпечення рівномірності загортання насіння на задану глибину є актуальною і вивчалася багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями. Фундаментальні дослідження процесів сівби та удосконалення загортаючих робочих органів представлені у працях П.М. Василенка, Л.В. Погорілого, П.В. Сисоліна, В.І. Пастухова, М.В. Бакума, Д.Г. Войтюка, А.І. Бойка, Е.Б. Алієва, А.В. Рудя, І.М. Бендери [5, 10, 12, 13, 18]. Значний внесок у розвиток теорії робочих процесів загортаючих систем зробили академіки В. Адамчук та В. Булгаков [16, 17, 18], розробивши математичні моделі коливального руху в ґрунті дискових та зубчастих сошників.

Аналіз наукових публікацій дозволяє класифікувати дослідження за трьома основними напрямками. Перший напрям охоплює теоретичний аналіз руху посівного матеріалу та обґрунтування оптимальних траєкторій [14]. Так, С.В. Мартиненко та М.В. Личук встановили [15], що врахування опору повітря може змінювати траєкторію руху насінини на 19%, особливо після першого відбивання від дна борозни. Розроблені математичні моделі коливального руху сошників з гострим кутом входження в ґрунт, клинових відвальників, а також обґрунтовані параметри відбивачів насіння підтверджують багатоаспектність підходів до вирішення проблеми.

Другий напрям представлений конструкторськими розробками нових та удосконалених сошників [19, 20]. Провідні світові виробники, зокрема JOHN DEERE у моделі сівалок 1890 та вітчизняний виробник ПАТ «ELVORTI» у комплексі Orion-9,6, застосували еластичні притискні елементи для утримання насіння на дні борозни. Полозовидні сошники, обладнані шарнірно закріпленими утримуючими п'ятками, довели свою ефективність в експериментальних дослідженнях, проте їхні конструкційні параметри потребують подальшого обґрунтування. Особливу увагу заслуговують сошники з гострим кутом входження [21, 22], які забезпечують зниження тягового опору, але такі конструкції потребують вирішення проблеми накопичення рослинних решток.

Третій напрям сформований експериментальними дослідженнями ефективності різних конструкцій. Розроблені



методики оцінки здатності дискових сошників прорізати рослинні рештки, застосування тензометричних вимірювальних систем для визначення енергетичних характеристик робочих органів, аналіз роботи прикочуючих котків та пружинних загортачів створюють методологічну базу для комплексної оцінки посівних систем [10, 18].

Найбільш ґрунтовними у контексті досліджуваної проблеми є роботи Е.Б. Алієва щодо теоретичного аналізу переміщення насіння з урахуванням сповільнювача [13]. Для висівної системи JOHN DEERE 90 Series обґрунтовані раціональні параметри: кут вильоту 47° , висота розміщення сповільнювача менше 0,134 м, параболічна форма робочої поверхні з фокусом у точці 0,134 м. Однак зазначені результати отримані для пневматичного транспортування посівного матеріалу без врахування опору повітря.

Незважаючи на значний науковий доробок щодо обґрунтування параметрів сошників сівалок, відсутнє комплексне теоретичне обґрунтування параметрів утримуючих п'яток для сошників різних конструкцій. Не встановлені залежності між геометричними характеристиками п'ятки та технологічно-режимними параметрами роботи для різних культур і типів ґрунтів. Математичні моделі руху насіння переважно не враховують взаємодію з утримуючими елементами та багаторазові відбивання в реальних умовах. Перелічені проблеми підтверджують необхідність розробки нових підходів до теоретичного дослідження параметрів загортаючих п'яток сошників сівалок.

Постановка завдання. В даній роботі заплановано розробити математичну модель руху насіння у системі подачі посівної секції з урахуванням опору повітря та обґрунтувати раціональні параметри утримуючої п'ятки сошника.

Виклад основного матеріалу. При проведенні сівки загортаюча п'ятка сошника повинна провести загортання насіння, причому насіння має загортатися вологим шаром ґрунту, у

поєднанні з його подальшим ущільненням, після розміщення насіння на заданій глибині в товщі ґрунту. Можливість виконання поставленої задачі визначатиметься технологічними параметрами п'ятки (рис. 1), а саме:

- відстанню розташування п'ятки від точки скидання насіння $L_{роз}$;
- кута нахилу п'ятки до горизонтальної площини α ;
- кута нахилу щік п'ятки до повздовжньо-вертикальної площини γ ;
- ширини п'ятки b ;
- загальної довжини L ;
- ширини захвату в передній частині b_1 ;
- довжини горизонтальної частини L_1 .

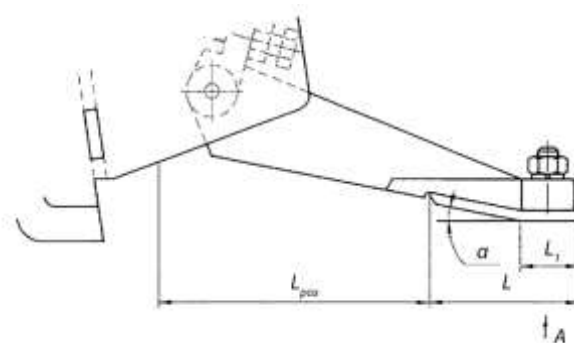


Рис. 1. Технологічні параметри п'ятки сошника

Розташування п'ятки сошника по відношенню до точки скидання насіння має бути таким, щоб обрушений ґрунт зі стінок борозни загортав насіння зазначеною п'яткою. Слід врахувати, що на етапі загортання насіння воно має перебувати у стані спокою на дні утвореної борозни (рис. 2). Таким чином, з метою аналітичного встановлення окремих параметрів і режимів роботи, необхідно дослідити рух насіння від точки його скидання до дна борозни та вивчити відбивання насіння від дна борозни.

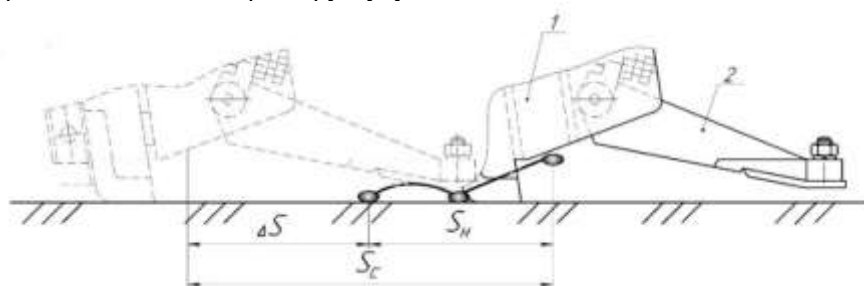
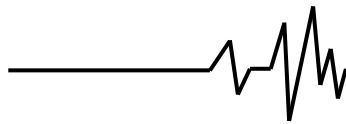


Рис. 2. Схема руху насіння відносно сошника: 1 – насіннєпровід; 2 – утримуюча п'ятка

На етапі дослідження руху насіння від точки скидання до дна борозни багато дослідників [5, 12] проводили моделювання без врахування опору повітря. Це не дозволяло отримати максимально наближену до реальної траєкторію

польоту насіння. Для врахування опору повітряного потоку можна припустити, що сила опору повітря під час руху зернівки дорівнює

$$F_0 = -\lambda \cdot m \cdot g \cdot \vartheta, \quad (1)$$



де λ – коефіцієнт опору повітряного потоку;

m – маса насінини, що висівається;

g – прискорення вільного падіння;

ϑ – швидкість руху насінини.

Враховуючи схему руху насінини (рис. 3), проведемо розкладання сил на складові, отримаємо:

$$\begin{cases} F_x = -\lambda \cdot m \cdot g \cdot \vartheta_x; \\ F_y = -\lambda \cdot m \cdot g \cdot \vartheta_y. \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, можна рух насінини розкласти на окремі горизонтальну (вздовж осі x) та вертикальну (вздовж осі y) складові (рис. 3). У цьому випадку, рівняння руху для окремих складових будуть мати наступний вигляд

$$\begin{cases} m a_x = -\lambda \cdot m \cdot g \cdot \vartheta_x; \\ m a_y = -\lambda \cdot m \cdot g \cdot \vartheta_y + m \cdot g. \end{cases} \quad (3)$$

У диференційному вигляді

$$\begin{cases} \frac{d\vartheta_x}{dt} = -\lambda \cdot g \cdot \vartheta_x; \\ \frac{d\vartheta_y}{dt} = -\lambda \cdot g \cdot \vartheta_y - g. \end{cases} \quad (4)$$

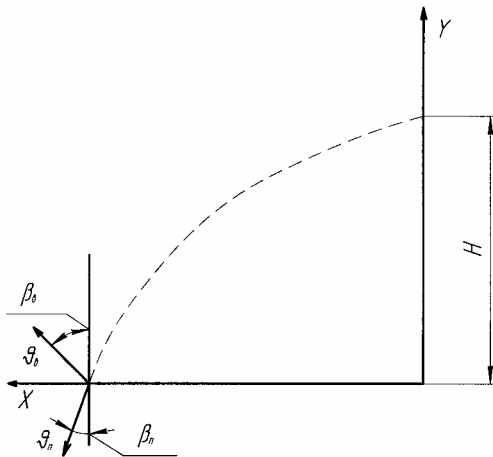


Рис. 3. Схема руху насінини від точки скидання до дна борозни

Приймемо початкові умови

$$t = 0, \vartheta_x = \vartheta_{x0}, \vartheta_y = \vartheta_{y0}, x = 0, y = H. \quad (5)$$

Зважаючи на те, що диференціальні рівняння у системі (4) незалежні, правомірним є проведення розв'язку кожного із рівнянь окремо. Маємо для першого рівняння:

$$\frac{d\vartheta_x}{\vartheta_x} = -\lambda g dt,$$

$$\ln \frac{\vartheta_x}{c_1} = -\lambda g t.$$

Отже, загальний розв'язок першого рівняння системи (4) такий

$$\vartheta_x = c_1 e^{-\lambda g t}. \quad (6)$$

Враховуючи початкові умови (5) частинний розв'язок першого рівняння наступний

$$\vartheta_x = \vartheta_{x0} e^{-\lambda g t}. \quad (7)$$

Рівняння (7) це диференціальне рівняння першого порядку, яке після розв'язку набуває вигляду

$$x = -\frac{\vartheta_{x0}}{\lambda g} e^{-\lambda g t c_2}. \quad (8)$$

В свою чергу, частинний розв'язок рівняння наступний

$$x = \frac{\vartheta_{x0}}{\lambda \cdot g} (1 - e^{-\lambda g t}). \quad (9)$$

Аналогічно проведемо розв'язок другого рівняння системи (4). Для цього можемо його представити у такому вигляді:

$$\frac{d(\lambda \cdot \vartheta_y - 1)}{\lambda \cdot \vartheta_y - 1} = -\lambda g dt. \quad (10)$$

Після проведення інтегрування маємо

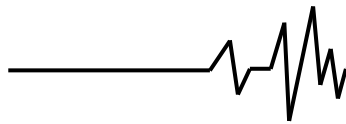
$$\ln(\lambda \cdot \vartheta_y - 1) = -\lambda g t + \ln c_3. \quad (11)$$

Враховуючи початкові умови (5), маємо наступний розв'язок

$$\vartheta_y = \frac{1}{\lambda} [(\lambda \vartheta_{y0} - 1) e^{-\lambda g t} + 1]. \quad (12)$$

Останнє диференціальне рівняння можна записати у такому вигляді:

$$-\frac{dy}{dt} = \frac{1}{\lambda} [(\lambda \vartheta_{y0} - 1) e^{-\lambda g t} + 1]. \quad (13)$$



В наведеному вище рівнянні перед $\frac{dy}{dt}$ з'явився знак «-» через різні знаки перед dy і dt . Отже, маємо:

$$y = \frac{1}{\lambda^2 g} (\lambda g_{y0} - 1) e^{-\lambda g t} - \frac{t}{\lambda} + c_4. (14)$$

Рівняння (14) є загальним розв'язком, знову, враховуючи початкові умови (5), отримаємо

$$y = H - \left[\frac{\lambda \cdot g_{y0} - 1}{\lambda^2 \cdot g} (1 - e^{-\lambda g t}) + \frac{t}{\lambda} \right]. (15)$$

Отримані рівняння (9) та (15) це параметричні рівняння, які описують рух насінини під час руху у внутрішній частині сошника після сходу із насіннепровода в

$$y = H - \frac{1}{\lambda^2 \cdot g} \left[(\lambda \cdot g_{y0} - 1) \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{g_{x0}} - \ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{g_{x0}} \right) \right]. (19)$$

Припустимо, що насінина в точці S зіткнулася із ґрунтом. Час зіткнення можна знайти виходячи із залежності (14), враховуючи умову, що $y(t_1) = 0$. Використовуючи рівняння (7) і (12) знайдемо горизонтальну складову швидкості падіння насінини g_y^n в момент її зіткнення із ґрунтом, отримаємо:

$$g_x^n = g_{x0} \cdot e^{-\lambda g t_1}, (20)$$

$$g_y^n = \frac{1}{\lambda} \left[(\lambda \cdot g_{y0} - 1) e^{-\lambda g t_1} + 1 \right]. (21)$$

Знайдемо складові швидкості відбивання

$$\begin{cases} g_\epsilon^e \equiv g_{n1} = R \cdot g_n^e, \\ g_\epsilon^e \equiv g_{x1} = (1 - \mu) \cdot g_n^e. \end{cases} (22)$$

де g_ϵ^e – вертикальна складова швидкості відбивання насіння;

g_ϵ^e – горизонтальна складова швидкості відбивання насіння;

R – коефіцієнт відновлення швидкості;

повітряному середовищі. Таким чином, отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} x = \frac{g_{x0}}{\lambda \cdot g} (1 - e^{-\lambda g t}), \\ y = H - \left[\frac{\lambda \cdot g_{y0} - 1}{\lambda^2 \cdot g} (1 - e^{-\lambda g t}) + \frac{t}{\lambda} \right]. \end{cases} (16)$$

Якщо із (16) виключити параметр

$$t = -\frac{1}{\lambda \cdot g} \ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{g_{x0}} \right), (17)$$

або

$$e^{-\lambda g t} = 1 - \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{g_{x0}}. (18)$$

З врахуванням проведених перетворень, рівняння руху насінини у явному вигляді до її зіткнення із ґрунтом наступне:

μ – коефіцієнт місцевого тертя.

Якщо провести переміщення системи координат у точку зіткнення насінини із ґрунтом та прийнявши початкові умови

$$t = 0, g_x = g_{x1}, g_y = g_{y1}, x = 0, y = 0. (23)$$

Отримаємо рівняння руху в наступному вигляді

$$\begin{cases} \frac{dg_x}{dt} = -g \cdot \lambda \cdot g_x, \\ \frac{dg_y}{dt} = -g(g_y \cdot \lambda + 1). \end{cases} (24)$$

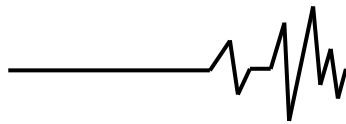
Проінтегрувавши перше рівняння системи (24) маємо загальний розв'язок

$$g_x = c_1 \cdot e^{-\lambda \cdot g \cdot t}. (25)$$

За умови, якщо $t = 0$

$$g_{x1} = (1 - \mu) g_{x0} \cdot e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1}. (26)$$

Отримаємо числовий розв'язок рівняння



$$\mathcal{G}_x = (1 - \mu) \mathcal{G}_{x0} \cdot e^{-\lambda \cdot g(t+t_1)}. \quad (27)$$

Проведемо інтегрування рівняння (27) та отримаємо його загальний розв'язок

$$x = -\frac{1-\mu}{\lambda \cdot g} \mathcal{G}_{x0} \cdot e^{-\lambda \cdot g(t+t_1)} + c_2. \quad (28)$$

Враховуючи початкові умови (23) маємо частинний розв'язок рівняння

$$x = \frac{1-\mu}{\lambda \cdot g} \mathcal{G}_{x0} \cdot e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} (1 - e^{-\lambda \cdot g \cdot t}) \quad (29)$$

Рівняння (29) дозволяє визначити час польоту насінини після її відбивання від ґрунту

$$t = -\frac{1}{\lambda \cdot g} \ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{(1-\mu) \mathcal{G}_{x0}} e^{\lambda \cdot g \cdot t_1} \right). \quad (30)$$

Після проведення інтегрування другого рівняння системи (24) маємо його загальний розв'язок

$$\lambda \cdot \mathcal{G}_y + 1 = c_3 \cdot e^{-\lambda \cdot g \cdot t}. \quad (31)$$

Для подальшої роботи скористаємося початковими умовами

$$t = 0,$$

$$\mathcal{G}_y = \mathcal{G}_{y1} = \frac{R}{\lambda} \left[(\lambda \cdot \mathcal{G}_{y0} - 1) e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} + 1 \right], \quad (32)$$

та одержимо залежність для вертикальної швидкості відбивання насіння

$$\mathcal{G}_y = \left\{ \frac{R}{\lambda} \left[(\lambda \cdot \mathcal{G}_{y0} - 1) e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} + 1 \right] + \frac{1}{\lambda} \right\} e^{-\lambda \cdot g \cdot t} - \frac{1}{\lambda}. \quad (33)$$

Загальний розв'язок диференціального рівняння (33) отримано у вигляді

$$y = -\frac{1}{g \cdot \lambda} \left\{ \frac{R}{\lambda} \left[(\lambda \cdot \mathcal{G}_{y0} - 1) e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} + 1 \right] + \frac{1}{\lambda} \right\} e^{-\lambda \cdot g \cdot t} - \frac{t}{\lambda} + c_4. \quad (34)$$

Із врахуванням початкових умов (32) можемо отримати вертикальну складову координати, яка є такою:

$$y = \frac{1}{\lambda^2 \cdot g} \left\{ R \left[(\lambda \cdot \mathcal{G}_{y0} - 1) e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} + 1 \right] + 1 \right\} (1 - e^{-\lambda \cdot g \cdot t}) - \frac{t}{\lambda}. \quad (35)$$

Підстановка t із залежності (34) у рівняння (35) дозволяє отримати формулу, що

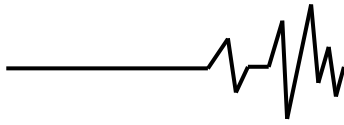
$$y = \frac{1}{\lambda^2 \cdot g} \left\{ R \left[(\lambda \cdot \mathcal{G}_{y0} - 1) e^{-\lambda \cdot g \cdot t_1} + 1 \right] + 1 \right\} \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{(1-\mu) \mathcal{G}_{x0}} e^{\lambda \cdot g \cdot t_1} + \frac{1}{\lambda^2 \cdot g} \ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot g \cdot x}{(1-\mu) \mathcal{G}_{x0}} e^{\lambda \cdot g \cdot t_1} \right). \quad (36)$$

Висновки. 1. В результаті проведеного теоретичного аналізу встановлено, що однією з головних причин нерівномірності загортання насіння є його багаторазове відбивання від дна борозни з подальшим переміщенням у ґрунтовому середовищі. Цей процес суттєво впливає на варіацію глибини загортання та, відповідно, на формування врожаю зернових культур.

2. Обґрунтовано доцільність використання загортаючої п'ятки як

конструктивного елемента сошника, призначеного для стабілізації положення насіння на дні борозни та формування рівномірного ґрунтового шару над ним. Застосування п'ятки дозволяє мінімізувати негативний вплив відскоків насіння та осипання стінок борозни.

3. Розроблено математичну модель руху насінини від моменту сходу з насіннепроводу до контакту з ґрунтом з урахуванням опору повітряного середовища. Отримані аналітичні



залежності більш повно відображають реальні умови функціонування посівної секції порівняно з моделями, у яких аеродинамічний опір не враховується.

4. Встановлено закономірності зміни координат і складових швидкості насіння під час її падіння та після відбивання від дна борозни, що дозволило описати траєкторію руху насіння у параметричному та явному вигляді. Це створює передумови для прогнозування зони розміщення насіння та визначення раціонального положення загортаючої п'ятки відносно точки скидання.

5. Теоретично доведено, що геометричні параметри загортаючої п'ятки (кут нахилу до горизонтальної площини, ширина, довжина та відстань від точки скидання насіння) мають визначальний вплив на умови загортання і фіксації насіння у вологому шарі ґрунту. Нераціональний вибір цих параметрів призводить до повторного переміщення насіння та погіршення якості сівби.

6. Отримані аналітичні залежності можуть бути використані як теоретична основа для подальшого обґрунтування конструкційних і технологічних параметрів сошників з утримуючими п'ятками для різних типів ґрунтів і культур. Запропонований підхід є універсальним і може бути адаптований для сучасних посівних машин, зокрема тих, що працюють за ресурсозберігаючими технологіями сівби.

7. Результати дослідження мають практичну цінність для конструкторських розробок нових та модернізації існуючих посівних секцій, а також створюють наукове підґрунтя для подальших експериментальних досліджень з метою уточнення раціональних параметрів загортаючої п'ятки в польових умовах.

Список використаних джерел

1. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : Підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. М. Барановський та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. 2-ге вид., перероб. та допов. Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2019. 508 с.

2. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування : Підручник для студ. вищ. навч. закл. / П. В. Сисолін [та ін.] ; за ред. М. І. Черновола. Книга 1 : Машини для рільництва. Київ : Урожай, 2001. 384 с. ISBN 966-05-0080-7.

3. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : Навч. посіб. / В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. 220 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12307>.

4. Сисолін П. В. Конструкторські розробки нових вітчизняних, універсальних машин для звичайної, стерньової, мульчо-стерньової, екологічно-безпечної, енергозберігаючої технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні : [наук. вид.] / П. В. Сисолін. Кіровоград : КОД, 2009. 128 с.

5. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / А. І. Бойко, М. О. Свірень, С. І. Шмат, М. М. Ножнов. Київ, 2003. 206 с.

6. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1, ч. 2 : Машини для сівби та садіння. Харків : Око, 2002. 452 с.

7. Artemenko D., Leshchenko S., Onopa V., Majara V., Deikun V. Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2022. Vol. 24, No. 4. P. 57–71. URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>.

8. Сало В. М., Вовнянко Б. Г., Лещенко С. М., Лузан П. Г. Покращення якісних показників процесу сівби. *Сільськогосподарські машини*. 2024. Вип. 50. С. 113–119. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>.

9. Сало В. М., Лещенко С. М., Вовнянко Б. Г., Мороз С. М. Порівняльні показники роботи сошників двох типів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2024. Вип. 54. С. 160–167. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.160-167>.

10. Лузан О. Р. Обґрунтування параметрів загортаючих робочих органів для прямої сівби зернових культур : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Кіровоград, 2013. 184 с.

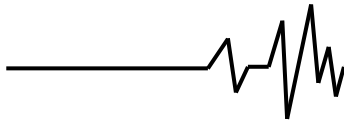
11. Бейкер С. Дж., Сакстон К. Е., Рітчі В. Р. Технологія і посів. США, 2002. 263 с.

12. Морозов І. В. Теоретичні і технічні основи удосконалення конструкції сошників зернових сівалок : дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2003. 400 с.

13. Алієв Е. Б., Безверхній П. Є. Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2022. Вип. 52. С. 86–98. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.86-98>.

14. Бойко А. І., Лісовий І. О., Тасенко В. В. Функціонування сошника прямого посіву як відкритої технічної системи. *Механізація сільськогосподарського виробництва : Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2008. Вип. 75, т. 1. С. 256–258.

15. Мартиненко С. В., Личук М. В. Рух зернини в повітрі при малих швидкостях. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж.*



міжвідом. наук.-техн. зб. Кіровоград : КДТУ, 2003. Вип. 33. С. 323–327.

16. Булгаков В. М., Головач І. В., Горобей В. П., Свірень М. О. Побудова математичної моделі коливального руху у ґрунті зубчастого сошника селекційної сівалки. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж. міжвідом. наук.-техн. зб.* 2015. Вип. 45. С. 50–63. URL:

<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2213>

17. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Ігнат'єв Є. І. Теорія коливального руху в ґрунті дискового сошника зубчастого типу зернової сівалки прямої сівби. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва : Загальнодерж. зб.* 2022. Вип. 15 (114). С. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-1>.

18. Заришняк А. С., Адамчук В. В., Булгаков В. М. та ін. Теорія і проектування робочих органів сівалок для селекції та насінництва зернових культур : Монографія / [А. С. Заришняк та ін.]. Київ : Аграрна наука, 2017. 318 с.

19. Di Renzo A., Di Maio F. P. Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes. *Chemical Engineering Science*. 2004. Vol. 59. P. 525–541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2003.09.037>.

20. Ponjičan O., Radomirović D., Kešelj K. et al. Physical and mechanical properties of preprocessed pea, bean, spinach and radish seeds. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2018. Vol. 22, no. 4. P. 196–201. DOI: <https://doi.org/10.5937/jpea1804196P>.

21. Kubík L., Božíková M., Kažimírová V. Mechanical properties of wheat grains at compression. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021. Vol. 24, no. 4. P. 202–208. DOI: <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0033>.

22. Zhang X., Li H., Du R., Ma S., He J., Wang Q., Chen W., Zheng Z., Zhang Z. Effects of key design parameters of tine furrow opener on soil seedbed properties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2016. Vol. 9, No. 3. P. 67–80. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160903.2259>.

References

1. Voitiuk, D. H., Aniskevych, L. V., Baranovskyi, V. M. et al. (2019). *Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku* [Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation] (D. H. Voitiuk, Ed.; 2nd ed.). Naukovo-metodychnyi tsentr VFPO.

2. Sysolin, P. V., Chervonol, M. I., Salo, V. M., & Pantielevieiev, O. S. (2001). *Silskohospodarski mashyny: teoretychni osnovy, konstruktsiia, projektuvannia. Knyha 1: Mashyny dlia rilnytstva* [Agricultural machines: theoretical

foundations, construction, design. Book 1: Machines for field cultivation] (M. I. Chervonol, Ed.). Urozhai. ISBN 966-05-0080-7.

3. Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., & Salo, L. (2022). *Mashyny dlia sivby, sadinnia ta dohliadu za posivamy* [Machines for sowing, planting and crop care: Study guide]. Lysenko V. F. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12307>.

4. Sysolin, P. V. (2009). *Konstruktorski rozrobky novykh vitchyznyanykh, universalnykh mashyn dlia zvychainoi, sternovoi, mulcho-sternovoi, ekolohichno-bezpechnoi, enerhozberihayuchoi tekhnolohii vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur v Ukraini* [Design developments of new domestic universal machines for conventional, stubble, mulch-stubble, environmentally friendly, energy-saving technology of agricultural crops cultivation in Ukraine]. KOD.

5. Boiko, A. I., Sviren, M. O., Shmat, S. I., & Nozhnov, M. M. (2003). *Novi konstruktsii hruntoobrobnykh ta posivnykh mashyn* [New designs of tillage and seeding machines]. Kyiv.

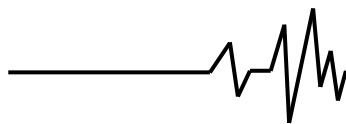
6. Zaika, P. M. (2002). *Teoriia silskohospodarskykh mashyn: Vol. 1, Pt. 2. Mashyny dlia sivby ta sadinnia* [Theory of agricultural machines: Vol. 1, Part 2. Machines for sowing and planting]. Oho.

7. Artemenko, D., Leshchenko, S., Onopa, V., Majara, V., & Deikun, V. (2022). Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 24(4), 57–71. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>.

8. Salo, V. M., Vovnianko, B. H., Leshchenko, S. M., & Luzan, P. H. (2024). Pokrashchennia yakysnykh pokaznykiv protsesu sivby [Improvement of quality indicators of the sowing process]. *Silskohospodarski mashyny [Agricultural Machines]*, (50), 113–119. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>.

9. Salo, V. M., Leshchenko, S. M., Vovnianko, B. H., & Moroz, S. M. (2024). Porivnyalni pokaznyky roboty soshnykiv dvokh typiv [Comparative performance indicators of two types of openers]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn [Design, Production and Operation of Agricultural Machines]*, (54), 160–167. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.160-167>.

10. Luzan, O. R. (2013). *Obhruntuvannia parametriv zahortaiuchykh robochykh orhaniv dlia priamoi sivby zernovykh kultur* [Substantiation of parameters of covering working parts for direct sowing of grain crops] (Doctoral dissertation, Central Ukrainian National Technical University).



11. Baker, C. J., Saxton, K. E., & Ritchie, W. R. (2002). *Tekhnolohiia i posiv* [No-tillage seeding: Science and practice]. Urozhai.

12. Morozov, I. V. (2003). *Teoretychni i tekhnichni osnovy udoskonalennia konstrukttsii soshnykiv zernovykh sivalok* [Theoretical and technical bases for improving the design of grain drill openers] (Doctoral dissertation, Ternopil National Technical University).

13. Aliiev, E. B., & Bezverkhni, P. Ye. (2022). Chyselne modelyuvannya spovilnyuvacha nasynnya pnevmatychnoi sivalky tochnoho vysivu [Numerical simulation of the seed decelerator of a pneumatic precision seeder]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn* [Design, Production and Operation of Agricultural Machines], (52), 86–98. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.86-98>

14. Boiko, A. I., Lisovyi, I. O., & Tassenko, V. V. (2008). Funktsionuvannya soshnyka priamoho posivu yak vidkrytoi tekhnichnoi systemy [Functioning of the direct seeding opener as an open technical system]. *Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva: Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskohospodarskoho hospodarstva im. Petra Vasylenka* [Mechanization of Agricultural Production: Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko], 75(1), 256–258.

15. Martynenko, S. V., & Lychuk, M. V. (2003). Rukh zernyny v povitri pry malykh shvydkostiakh [Movement of grain in the air at low speeds]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn* [Design, Production and Operation of Agricultural Machines], (33), 323–327.

16. Bulhakov, V. M., Holovach, I. V., Horobei, V. P., & Sviren, M. O. (2015). Pobudova matematychnoi modeli kolyvalnoho rukhu u hrunti zubchastoho soshnyka selektsiinoi sivalky [Construction of a mathematical model of the oscillatory motion of a notched opener of a selection seeder in the soil]. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn* [Design, Production and Operation of Agricultural Machines], (45), 50–63. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2213>.

17. Adamchuk, V. V., Bulhakov, V. M., Holovach, I. V., & Ihnatiev, Ye. I. (2022). Teoriia kolyvalnoho rukhu v hrunti dyskovoho soshnyka zubchastoho typu zernovoi sivalky priamoi sivby [Theory of oscillatory motion in soil of a notched disc opener of a direct seeding grain drill]. *Mekhanika ta avtomatyka ahropromysloвого vyrobnytstva* [Mechanics and Automation of Agricultural Production], (15), 11–23. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-1>.

18. Zaryshniak, A. S., Adamchuk, V. V., Bulhakov, V. M., Holovach, I. V., Kaletnik, H. M., & Horobei, V. P. (2017). *Teoriia i proektuvannya robochykh orhaniv sivalok dlia selektsii ta nasynnytstva zernovykh kultur* [Theory and design of seeder working parts for selection and seed production of grain crops]. *Ahrarna nauka*.

19. Di Renzo, A., & Di Maio, F. P. (2004). Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes. *Chemical Engineering Science*, 59(3), 525–541. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2003.09.037>.

20. Ponjičan, O., Radomirović, D., Kešelj, K., Visković, J., Sedlar, A., & Bikić, S. (2018). Physical and mechanical properties of processed pea, bean, spinach and radish seeds. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 22(4), 196–201. <https://doi.org/10.5937/jpea1804196P>.

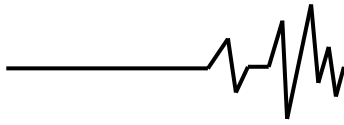
21. Kubík, L., Božiková, M., & Kažimírová, V. (2021). Mechanical properties of wheat grains at compression. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(4), 202–208. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0033>.

22. Zhang, X., Li, H., Du, R., Ma, S., He, J., Wang, Q., Chen, W., Zheng, Z., & Zhang, Z. (2016). Effects of key design parameters of tine furrow opener on soil seedbed properties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(3), 67–80. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160903.2259>.

THEORETICAL STUDY OF THE PARAMETERS OF THE SEED DRILL COULTER COVERING HEEL

The article is devoted to the theoretical study of the parameters of the coulters covering heel as a vital design element of the sowing unit, which significantly influences the quality of the grain crop seeding process. It is substantiated that under modern conditions of agricultural production, characterized by the widespread implementation of resource-saving and direct seeding technologies, traditional coulters designs do not always ensure stable seed placement depth within the soil profile during sowing. This leads to non-uniform seed distribution in the soil, deterioration of field germination, and a decrease in potential crop yield.

The study proves that one of the primary reasons for seed placement depth instability is the complex nature of seed movement after its discharge from the seed tube. Multiple seed bounces off the furrow bottom, soil crumbling from the furrow walls, and the influence of the air environment lead to seed displacement across different soil horizons. To provide a more accurate description of these processes, a theoretical approach to studying seed movement, accounting for air resistance, has been proposed, allowing for



a more adequate modeling of the real operating conditions of the sowing unit.

Based on the principles of classical mechanics, analytical dependencies have been derived to describe the changes in coordinates and velocity components of the seed during its movement within the internal part of the coulter and after contact with the soil. This allowed for the identification of factors influencing the stabilization conditions of the seed position at the furrow bottom. The article also outlines the primary geometric and technological parameters of the coulter covering heel, which determine the efficiency of seed covering and fixation.

The obtained analytical dependencies can serve as a theoretical basis for the further

substantiation of the design and technological parameters of coulters equipped with retaining heels for various soil types and crops. The proposed approach is universal and can be adapted for modern sowing machines, particularly those operating under resource-saving seeding technologies. The research results hold practical value for the design of new sowing units and the modernization of existing ones, as well as establish a scientific foundation for further experimental studies aimed at refining the rational parameters of the covering heel under field conditions.

Key words: coulter, covering heel, seeding process, seed movement, mathematical modeling, seeding depth.

Відомості про автора

Вовнянко Богдан Геннадійович – аспірант кафедри сільськогосподарського машинобудування, Центральноукраїнський національний технічний університет (ЦНТУ, пр. Університетський, 8, м. Кропивницький, Україна, 25006, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9332-4927>, e-mail: b.vovnyanko@ukr.net, b.vovnyanko@kernel.ua).

Bohdan Vovnianko – PhD student at the Department of Agricultural Machinery, Central Ukrainian National Technical University (Central Ukrainian National Technical University, 8, Prospekt Universytetsky, Kropyvnytsky, Ukraine, 25006, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9332-4927>, e-mail: b.vovnyanko@ukr.net, b.vovnyanko@kernel.ua).

Стаття надійшла 11.12.2025

Стаття прийнята 18.12.2025

Опубліковано 25.12.2025