

УДК 631.33.024.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.238-249>

О.Р. Лузан, канд. техн. наук, **Д.Ю. Артеменко**, доц., канд. техн. наук, **П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук, **Р.В. Кісільов**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: luzanpg@gmail.com

Теоретичний аналіз роботи сошника прямої сівби з адаптивними вертикальними дисками

У статті наведено теоретичне обґрунтування роботи сошника прямої сівби з адаптивними вертикальними дисками в умовах технології No-Till. Розроблено розрахункову схему сошника, визначено систему сил та отримано аналітичні залежності для оцінки тягового опору. Сошник розглянуто як коливальну систему, побудовано амплітудно-частотну характеристику та проаналізовано вплив швидкості руху на стабільність глибини загортання насіння. Показано, що адаптивні вертикальні диски підвищують демпфування системи та зменшують амплітуду коливань, що покращує якість сівби.
пряма сівба, сошник, адаптивні вертикальні диски, тяговий опір, сівалка

Постановка проблеми. Сучасні технології прямої сівби (No-Till) передбачають мінімальне або повне усунення механічного обробітку ґрунту з метою збереження родючості, структури орного шару, вологи та зменшення енергетичних витрат. У цих умовах значно зростають вимоги до робочих органів сівалок, зокрема до сошників, які повинні забезпечувати: стабільне прорізання шару мульчі та рослинних решток, формування якісної борозни із заданими геометричними параметрами, точне розміщення насіння на однаковій глибині, мінімальне руйнування ґрунтового профілю, самоочищення та надійність роботи у різних польових умовах.

У традиційних конструкціях сошників під час прямої сівби спостерігаються такі проблеми: нестабільність глибини сівби, спричинена змінами щільності ґрунту, наявністю нерівностей поверхні поля та коливаннями тягового опору; недостатнє перерізування та відведення рослинних решток, що призводить до його забивання та порушення стабільності ходу; збільшення тягового опору та ускладнення робочих органів для відведення рослинних решток; вібраційні процеси, які негативно впливають на рівномірність висіву, особливо на підвищених швидкостях руху сівалки; недостатнє самоочищення дискових та долотоподібних робочих органів, особливо під час сівби у вологих або щільних ґрунтах.

Проблема полягає в тому, що традиційні сошники не забезпечують достатньої стабільності та ефективності роботи в умовах нерівної поверхні поля та значної кількості рослинних решток, в той час як вимоги до якості сівби та зниження витрат енергії підвищуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вдосконалення робочих органів сівалок для технологій прямої сівби (No-Till) протягом останніх десятиліть є предметом активних наукових досліджень як вітчизняних, так і зарубіжних учених. Основна увага приділяється конструкції сошників, їх взаємодії з ґрунтом, енергоефективності та забезпеченню стабільної глибини висіву в умовах наявності рослинних решток.

У працях [1–4] показано, що застосування дискових сошників дозволяє ефективно прорізати рослинні рештки та зменшувати забивання робочих органів. Проте дискові сошники мають обмежену здатність до формування борозни необхідної геометрії, особливо на щільних і сухих ґрунтах, що негативно впливає на точність розміщення насіння.

Долотоподібні та анкерні сошники, досліджені в роботах [5–7], забезпечують якісніше формування посівного ложа та кращу стабільність глибини загортання. Разом з тим, їх суттєвим недоліком є підвищений тяговий опір, інтенсивне руйнування ґрунтової структури та схильність до накопичення рослинних решток у зоні стояка.

Комбіновані конструкції сошників, що поєднують долото або анкер зі встановленими попереду або збоку дисками, розглянуті в дослідженнях [8–11]. Такі рішення частково поєднують переваги дискових і долотоподібних сошників, зменшуючи забивання та покращуючи якість формування борозни. Однак більшість таких конструкцій має жорстко фіксовані диски, що не дозволяє їм адаптуватися до змін умов роботи.

Окрему групу досліджень становлять роботи, присвячені динаміці руху сошників у ґрунті та впливу коливальних процесів на рівномірність висіву [12–14]. У цих працях встановлено, що нерівності поверхні поля та неоднорідність ґрунту зумовлюють вертикальні коливання сошника, які можуть призводити до істотних відхилень глибини розміщення насіння. Водночас у більшості досліджень сошник розглядається як жорстка система без урахування впливу додаткових адаптивних елементів.

У роботах [15–18] показано, що застосування пружних і демпфуючих елементів у підвісці сошників дозволяє зменшити амплітуду коливань. Проте вплив таких елементів на амплітудно-частотну характеристику системи «сошник-ґрунт» залишається недостатньо дослідженим, особливо для конструкцій, що працюють у режимі прямої сівби.

Питання взаємодії дискових робочих органів з рослинними рештками, а також умови їх самоочищення розглянуті в працях [19–21]. Установлено, що геометрія різальних елементів, кут атаки та швидкість обертання істотно впливають на якість різання та інтенсивність налипання ґрунту. Разом із тим, у наявних дослідженнях відсутній комплексний аналіз адаптивних вертикальних дисків, які здатні одночасно виконувати функції різання, стабілізації та демпфування.

Аналіз літературних джерел показує, що, незважаючи на значну кількість досліджень, залишаються недостатньо вивченими такі питання впливу адаптивних вертикальних дисків на силову взаємодію сошника з ґрунтом, закономірності формування тягового опору сошника з урахуванням геометричних і кінематичних параметрів дисків, динаміка руху сошника з адаптивними елементами в умовах нерівної поверхні поля та вплив конструкції сошника на його амплітудно-частотну характеристику та рівномірність глибини висіву.

Постановка завдання. Виходячи з аналізу сучасного стану досліджень та існуючих конструкцій сошників для прямої сівби, встановлено, що застосування адаптивних вертикальних дисків є перспективним напрямом підвищення стабільності роботи посівних агрегатів у складних ґрунтово-польових умовах. Разом з тим, вплив таких дисків на силову, кінематичну та динамічну взаємодію сошника з ґрунтом залишається недостатньо обґрунтованим з теоретичної точки зору.

У зв'язку з цим метою даної роботи є теоретичне обґрунтування роботи сошника прямої сівби з адаптивними вертикальними дисками, спрямоване на підвищення

стабільності глибини висіву, якості формування борозни та зниження енергоємності процесу сівби.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно розв'язати такі основні задачі: розробити розрахункову схему сошника та визначити систему сил, що діють на нього під час роботи в ґрунті; встановити залежності тягового опору сошника від глибини ходу, геометричних параметрів долота та властивостей ґрунту; дослідити кінематику адаптивних вертикальних дисків та умови ефективного різання рослинних решток; проаналізувати динаміку руху сошника як коливальної системи та побудувати його амплітудно-частотну характеристику; оцінити вплив швидкості руху сівалки на амплітуду коливань сошника та стабільність глибини висіву.

Викладення основного матеріалу. Для реалізації поставлених задач і досягнення мети запропонована конструкція сошника [22]. Запропоноване технічне рішення полягає в тому, що сошник являє собою стояк 1 (рис. 1), який одночасно є і насіннепроводом, з кронштейном 2. До нижньої частини стояка прикріплені наральник 3 з долотом 4 та дві щоківини 5 і 6 з крильцями 7 в задній частині. На кронштейні стояка 2 закріплено два вертикальні диски 8 і 9 з різальними сегментами 10. Кронштейн має продовгуватий отвір для можливості переміщення дисків (рис. 1).

Під час руху сівалки долото сошника створює борозну, куди з насіннепроводу надходить насіння і загортається крильцями. Вертикальні диски, обертаючись біля бокових поверхонь стояка, знімають з нього рослинні рештки за допомогою загострених сегментів. При зміні глибини ходу сошника диски також мають можливість переміщення в вертикальній площині завдяки продовгуватому отвору на кронштейні.

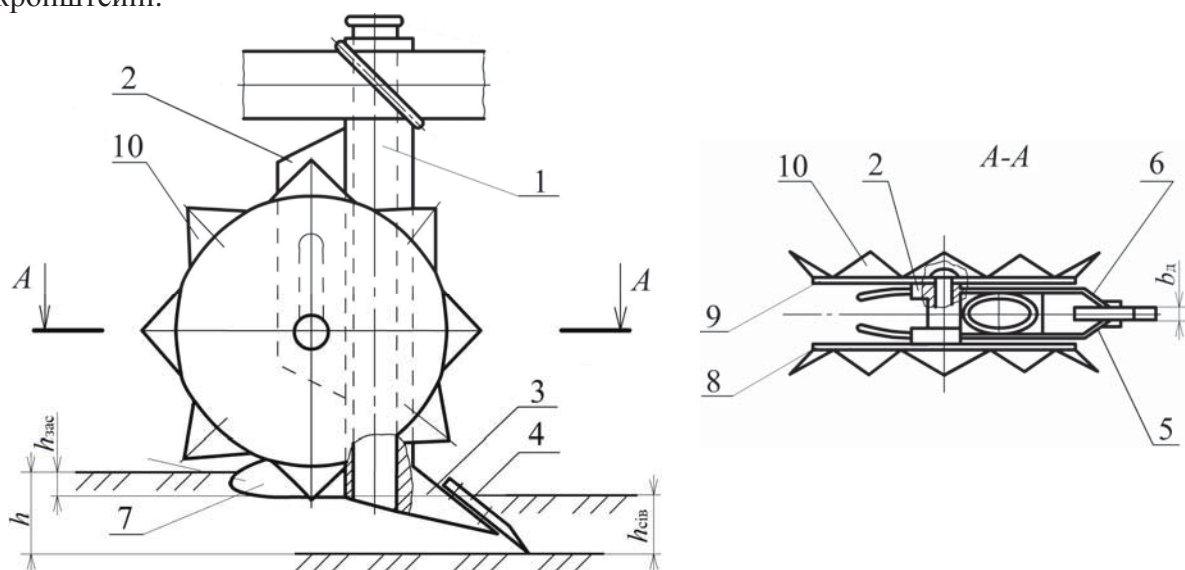


Рисунок 1 – Сошник для прямого посіву.

Джерело: розроблено авторами на підставі [22]

Роботу сошника прямої сівби доцільно аналізувати, виходячи з вимог до створення борозни та розташування насіння. Основні агротехнічні параметри борозни: глибина сівби насіння – $h_{\text{сiв}}$, м, товщина шару ґрунту над насінням – $h_{\text{зас}}$, м, загальна глибина ходу сошника $h = h_{\text{сiв}} + h_{\text{зас}}$, ширина борозни b , яка забезпечує добре розміщення насіння і впливає на роботу крилець-загортачів. Ширина борозни пов'язана з шириною долота $b_{\text{д}}$ і геометрією стояка. В першому наближенні можна вважати

$$b \approx b_d + \Delta b, \quad (1)$$

де Δb – збільшення ширини за рахунок кришення та осипання стінок ґрунту.

Під час руху посівного агрегату з швидкістю V_m на сошник діють: тягове зусилля трактора – $P_{тр}$; реакція ґрунту на долото та стояк (горизонтальна – R_x і вертикальна – R_z), реакції ґрунту та рослинних решток на вертикальні диски – N_d ; сили різання – $P_{різ}$; сила ваги сошника – G .

Горизонтальна складова R_x визначає тяговий опір, вертикальна R_z разом із вагою G формує умову рівноваги $\sum F_z = 0 \Rightarrow R_z + N_d = G$, де N_d – вертикальні реакції на дисках.

У загальному вигляді опір заглибленої у ґрунт частини сошника «долото+стояк» можна записати у вигляді

$$P = qbh = qF, \quad (2)$$

де q – питомий опір ґрунту;

F – проекція площі заглибленої частини сошника на вертикальну площину.

Тоді з урахуванням (2) отримаємо

$$P_c = k_d qb_d h + k_c qb_c h_c, \quad (3)$$

де k_d та k_c – коефіцієнти, що враховують форму долота та стояка;

b_d, b_c, h_d, h_c – відповідно, частини долота та стояка, які заглиблені в ґрунт.

Вертикальні диски виконують кілька функцій: прорізання рослинних решток, стабілізацію стінок борозни, часткове сприйняття вертикальних навантажень, демпфування коливань сошника. Опір одного диска можна визначити за формулою

$$P_d = f_k N_d + \frac{F_p z}{2\pi R_d}. \quad (4)$$

де f_k – коефіцієнт опору коченню диска;

N_d – нормальна реакція ґрунту на диск;

F_p – зусилля зрізання решток одним сегментом;

z – кількість сегментів;

R_d – радіус диска.

Крильця-загортачі, розташовані в задній частині щоківин стояка, забезпечують переміщення розпушеного ґрунту в борозну, формування шару товщиною $h_{зас}$ над насінням, часткове вирівнювання поверхні.

Об'єм ґрунту, який переміщується крильцями

$$Q = k_{роз} b_{кр} h_{кр}, \quad (5)$$

де $k_{роз}$ – коефіцієнт розпушення, ($k_{роз} = 1,1 \dots 1,3$);

$b_{кр}$ – ширина крильця;

$h_{кр}$ – ефективна висота шару, який захоплюється крильцями.

З іншого боку, для забезпечення заданої товщини шару ґрунту над насінням $h_{зас}$ у борозні шириною b потрібний об'єм шару ґрунту

$$Q_{\text{потр}} = bh_{\text{зас}}. \quad (6)$$

Умова забезпечення агротехнічних вимог до загортання насіння $Q \geq Q_{\text{потр}}$. Тоді

$$k_{\text{роз}} b_{\text{кр}} h_{\text{кр}} \geq bh_{\text{зас}}. \quad (7)$$

Звідки можна визначити необхідну ширину крилець

$$b_{\text{кр}} \geq \frac{bh_{\text{зас}}}{h_{\text{кр}} k_{\text{роз}}}. \quad (8)$$

Опір переміщенню ґрунту крильцями оцінюємо за питомим опором при поверхневому його зрізанні та переміщенні

$$P_{\text{кр}} = q_{\text{пов}} b_{\text{кр}} h_{\text{кр}} = q_{\text{пов}} F_{\text{кр}}, \quad (9)$$

де $q_{\text{пов}}$ – питомий опір поверхневого переміщення ґрунту;

$F_{\text{кр}} = b_{\text{кр}} h_{\text{кр}}$ – проєкція робочої площі крилець на вертикальну площину.

Сумарний тяговий опір одного сошника

$$P_{\Sigma} = P_{\text{с}} + 2P_{\text{д}} + P_{\text{кр}}, \quad (10)$$

де $P_{\text{с}}$ – опір від зануреної у ґрунт частини сошника;

$P_{\text{д}}$ – опір вертикального диска;

$P_{\text{кр}}$ – опір крилець-загортачів.

Загальний тяговий опір сівалки

$$P_{\text{сів.}} = n \cdot P_{\Sigma}, \quad (11)$$

де n – кількість сошників.

Вертикальні диски встановлені позаду та по боках стояка і обертаються від взаємодії з ґрунтом без зовнішнього приводу. При коченні диска без ковзання кутова швидкість обертання

$$\omega_0 = \frac{V_{\text{м}}}{R_{\text{д}}}, \quad (12)$$

де $R_{\text{д}}$ – радіус диска.

Для врахування відносного ковзання диска по ґрунту вводимо коефіцієнт ковзання ($s = 0 \dots 0,2$), тоді фактична кутова швидкість

$$\omega = \frac{(1-s)V_{\text{м}}}{R_{\text{д}}}. \quad (13)$$

Різальні сегменти розміщені на зовнішньому колі диска і виступають над ним на довжину $l_{\text{с}}$. Лінійна швидкість руху кінців сегментів відносно ґрунту

$$V_{\text{с}} = \omega(R_{\text{д}} + l_{\text{с}}) = (1-s)V_{\text{м}} \left(1 + \frac{l_{\text{с}}}{R_{\text{д}}} \right). \quad (14)$$

Для ефективного зрізання рослинних решток та самоочищення необхідно, щоб лінійна швидкість сегментів була не меншою за швидкість руху сошника

$$V_c \geq k_{оч} \cdot V_m. \quad (15)$$

де $k_{оч} = 1,1 \dots 1,3$ – коефіцієнт підвищення швидкості сегментів для забезпечення самоочищення.

З урахуванням (15), отримаємо умову для відношення l_c/R_d

$$(1-s) \left(1 + \frac{l_c}{R_d} \right) \geq k_{оч}. \quad (16)$$

Звідки

$$\frac{l_c}{R_d} \geq \frac{k_{оч}}{1-s} - 1. \quad (17)$$

Ця формула дозволяє узгодити радіус диска, довжину сегментів та допустимий рівень ковзання для забезпечення самоочищення.

Розглянемо елемент ґрунту, що контактує із сегментом. Реакція ґрунту на сегмент R може бути розкладена на нормальну N і тангенціальну T складові

$$T = f \cdot N, \quad (18)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу сегмента.

$$\varphi_{тер} = \arctan f = \arctan \frac{T}{N}. \quad (19)$$

Сегменти диска відігнуті назовні на кут відносно радіального напрямку. При відгинанні сегмента на кут α до радіальної лінії проєкція сили T на напрям, протилежний налипанню, зростає. Для того, щоб ґрунт не налипав на сегмент і не затримувався на ньому, необхідно, щоб проєкція тангенціальної складової перевищувала силу зчеплення й ваги налиплого шару.

У спрощеному вигляді умову самоочищення можна записати

$$\alpha \geq \varphi_{тер}. \quad (20)$$

При цьому сегмент працює як клиновий елемент, що знімає налиплий шар ґрунту при обертанні. Враховуючи наявність відцентрових сил при обертанні диска, реальний ефект самоочищення буде ще вищий, ніж впливає з аналізу.

Для аналізу вертикального переміщення посівної секції сівалки, яке впливає на рівномірність загортання посівного матеріалу по глибині, приймаємо сошник як одномасову модель масою m , що спирається на «еквівалентну» пружну основу ґрунту з жорсткістю k і демпфуванням c . Вертикальне переміщення сошника позначимо координатою $z(t)$, відрахованою від положення рівноваги. До сошника прикладені: вага сошника $G = mg$; вертикальна складова реакції ґрунту R_z , що залежить від глибини заглиблення сошника; інерційні сили, обумовлені нерівностями поверхні та зміною опору ґрунту; демпфувальні сили в зонах контакту (тертя, опір ґрунту, демпфування підвіски).

Таку систему можна розглядати як коливальну систему з одним ступенем вільності, яка збуджується кінематичними збуреннями від нерівностей ґрунту й

силовими збуреннями від зміни тягового опору та реакцій на долоті й дисках. Адаптивні вертикальні диски в цій моделі відіграють роль додаткових пружно-демпфувальних елементів, що зменшують амплітуду коливань.

Запишемо рівняння вертикального руху сошника у загальному вигляді

$$m\ddot{z}(t) + c\dot{z}(t) + kz(t) = F_{3\phi}(t), \quad (21)$$

де m – приведена маса сошника; c – коефіцієнт демпфування; k – еквівалентна вертикальна жорсткість системи «грунт-сошник-адаптивні диски»; $F_{3\phi}(t)$ – сумарна збуджувальна сила.

Збуджувальна сила може бути представлена

$$F_{3\phi}(t) = F_z(t) + F_n(t), \quad (22)$$

де $F_z(t)$ – складова від зміни опору ґрунту; $F_n(t)$ – складова від кінематичних збурень через нерівності поверхні, які передаються через долото та диски.

Для поверхні ґрунту з нерівністю довжиною λ при швидкості руху агрегату V_m кутова частота збурення

$$\omega_{3\phi} = \frac{2\pi V_m}{\lambda}. \quad (23)$$

Силове збурення можна описати у відповідності до гармонічного закону $F_{3\phi}(t) = F_0 \sin(\omega_{3\phi} t)$, де F_0 – амплітуда збурювальної сили. Підставляючи цей вираз у рівняння руху (21), одержимо задачу про вимушені коливання лінійної системи. Визначимо власну частоту, демпфування та амплітудно-частотну характеристику.

Власна частота системи

$$\omega_c = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (24)$$

а відповідна частота в герцах

$$f_0 = \frac{\omega_c}{2\pi}. \quad (25)$$

Коефіцієнт затухання

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}}. \quad (26)$$

У стаціонарному режимі амплітуда вимушених коливань сошника при гармонічному збуренні частотою $\omega_{3\phi}$

$$Z(\omega_{3\phi}) = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega_{3\phi}^2)^2 + (c\omega_{3\phi})^2}}. \quad (27)$$

Якщо ввести безрозмірне відношення частот $r = \omega_{3\phi}/\omega_c$, то амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) приймає вигляд

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{1}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}}, \quad (28)$$

де $Z_0 = F_0/k$ – квазістатична амплітуда, коли $\omega_{зб} \rightarrow 0$.

Ця залежність дозволяє оцінити резонансну область (коли $\omega_{зб} = \omega_0$), дослідити вплив швидкості руху V_m та характерної довжини нерівностей λ на амплітуду коливань, обґрунтувати вимоги до жорсткості k та демпфування c для забезпечення прийнятної стабільності глибини ходу.

При застосуванні адаптивних вертикальних дисків еквівалентні параметри системи змінюються:

- еквівалентна жорсткість

$$k_{\text{екв}} = k_{\text{г}} + k_{\text{д}}, \quad (29)$$

де $k_{\text{г}}$ – жорсткість реакції ґрунту під долотом;

$k_{\text{д}}$ – додаткова жорсткість, зумовлена вертикальним впливом дисків і їх підвіски;

- еквівалентне демпфування

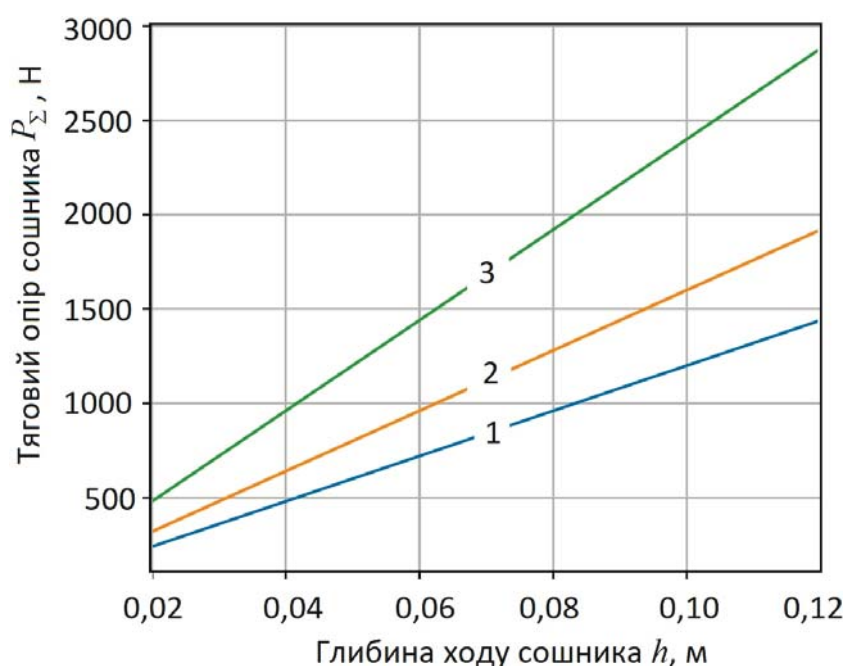
$$c_{\text{екв}} = c_{\text{г}} + c_{\text{д}}, \quad (30)$$

де $c_{\text{г}}$ – демпфування в ґрунті навколо долота;

$c_{\text{д}}$ – демпфування в зоні контакту дисків із ґрунтом та в елементах їх кріплення.

Зі збільшенням $k_{\text{екв}}$ зростає власна частота ω_c , а зі збільшенням $c_{\text{екв}}$ – зменшується пікова амплітуда на резонансі.

На рис. 2 показано залежність тягового опору сошника від глибини його ходу при різних значеннях ширини долота.



1 – $b_{\text{д}}=15$ мм, 2 – $b_{\text{д}}=20$ мм, 3 – $b_{\text{д}}=30$ мм, $q = 80$ кПа

Рисунок 2 – Залежність тягового опору сошника від глибини ходу

Джерело: розроблено авторами

Отримані залежності мають лінійний характер, що свідчить про пропорційність тягового опору площі заглибленої частини сошника та підтверджує справедливність прийнятої аналітичної моделі. Зі збільшенням глибини ходу та ширини долота тяговий

опір зростає, що обґрунтовує доцільність застосування мінімально можливої ширини долота за умови виконання агротехнічних вимог до формування борозни. Наявність адаптивних вертикальних дисків дозволяє зменшити навантаження на долото та знизити енергоємність процесу сівби.

На рис. 3 наведено вплив характерної довжини нерівностей поверхні ґрунту на амплітуду вертикальних коливань сошника при різних швидкостях руху агрегату. Установлено, що зі зменшенням довжини нерівностей зростає частота збурень, що призводить до збільшення амплітуди коливань, особливо в діапазоні підвищених швидкостей. Найбільший вплив на стабільність глибини загортання насіння створюють короткохвильові нерівності з $\lambda = 0,3 \dots 0,6$ м. Наявність адаптивних вертикальних дисків підвищує демпфування системи «ґрунт-сошник», зменшує пікові амплітуди коливань і забезпечує більш стабільну роботу сошника у широкому діапазоні швидкостей.

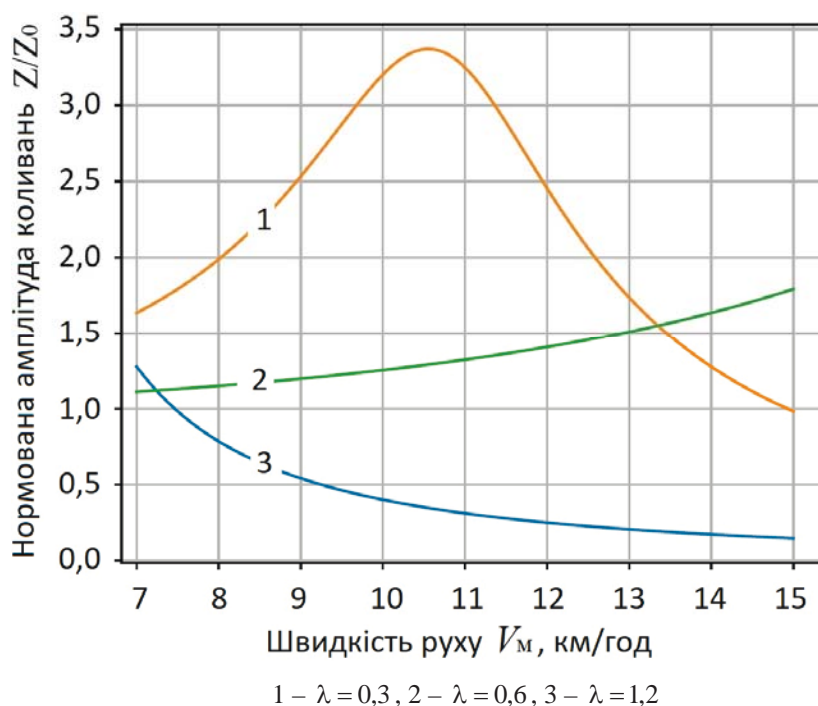


Рисунок 3 – Вплив нерівностей поля на амплітудно-частотну характеристику руху сошника

Джерело: розроблено авторами

Висновки. У роботі виконано теоретичний аналіз роботи сошника прямої сівби з адаптивними вертикальними дисками з урахуванням силової, кінематичної та динамічної взаємодії робочих органів із ґрунтом і рослинними рештками.

Запропоновано розрахункову схему сошника та визначено систему сил, що діють на нього під час роботи, що дозволило отримати аналітичні залежності для оцінки тягового опору сошника залежно від глибини ходу, ширини долота та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Встановлено, що тяговий опір сошника лінійно зростає зі збільшенням глибини ходу та ширини долота, що підтверджує доцільність застосування мінімально можливої ширини долота за умови забезпечення агротехнічних вимог до формування борозни.

Показано, що адаптивні вертикальні диски виконують одночасно функції різання рослинних решток, стабілізації стінок борозни та часткового сприйняття вертикальних навантажень, що дозволяє зменшити навантаження на долото та знизити енергоємність процесу сівби.

Отримано аналітичні умови ефективного різання та самоочищення вертикальних дисків, які пов'язують швидкість руху агрегату, радіус диска, довжину різальних сегментів і допустимий рівень ковзання, що може бути використано при проектуванні робочих органів.

Сошник з адаптивними вертикальними дисками розглянуто як коливальну систему з одним ступенем вільності, для якої побудовано амплітудно-частотну характеристику та визначено вплив швидкості руху агрегату і характерної довжини нерівностей поверхні ґрунту на амплітуду вертикальних коливань.

Встановлено, що наявність адаптивних вертикальних дисків призводить до збільшення еквівалентного демпфування та жорсткості системи «ґрунт-сошник», що зменшує пікові амплітуди коливань у резонансній області та підвищує стабільність глибини загортання насіння.

Отримані теоретичні результати можуть бути використані для обґрунтування конструктивних параметрів сошників прямої сівби, а також можуть бути основою для подальших експериментальних досліджень з метою оптимізації параметрів адаптивних вертикальних дисків у реальних польових умовах.

Список літератури

- 1 Аніскевич Л.В., Росамаха Ю.О. Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сівалок та їх відповідність вимогам точного землеробства. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 241. С. 269–278. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_241_38 2016.
- 2 Ahmad F, Weimin D, Qishou D, Rehim A, Jabran K. Comparative Performance of Various Disc-Type Furrow Openers in No-Till Paddy Field Conditions. *Sustainability*. 2017; 9(7):1143. URL: <https://doi.org/10.3390/su9071143>.
- 3 Triplett G.B., Dick W.A. No-tillage crop production: A revolution in agriculture. *Agronomy Journal*. 2008. Vol. 100(3). P. 153-165. DOI: 10.2134/agronj2007.0005c.
- 4 Заець М.Л. Вплив параметрів дискових сошників на передавальну здатність прорізання пожнивних решток у системі нульового обробітку ґрунту. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. Вип. 53. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53>.
- 5 Драйер Х. Детальний розгляд сошника сівалки Primera DMC. Amazone Primera DMC. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. 2010, 2 с. URL: <http://www.amazone.de>.
- 6 Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. Харків : Мачулін, 2018. 236 с.
- 7 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.
- 8 Artemenko, D., S. Leshchenko, V. Onopa, V. Majara, and V. Deikun. Analysis of the combined coulter point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 24(4), 2022: 57–71. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>.
- 9 Сушина, А. Зернові сівалки: проблеми вибору. *Головний журнал з проблем агробізнесу «Пропозиція»*. №12, 2017. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-posivna-tekhnika/zernovi-sivalky-problemy-vyboru> (Дата звернення 10.12.2025).
- 10 Altuntas E., Yildiz A. Effects of different furrow openers on seed emergence. *Soil & Tillage Research*. 2007. Vol. 94. pp. 327–334. <https://doi.org/10.1002/agj2.70084>.
- 11 Kuş, E. and Yıldırım, Y. Effects of Seed Drop Height and Tillage System on the Emergence Time and Rate in the Single Seed Planters. *Alinteri Journal of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 35(1). pp. 69–76. DOI: 10.28955/alinterizbd.739387.
- 12 Лісовий І.О., Бойко А.І., Свірень М.О., Пушка О.С. Прямая сівба та обґрунтування параметрів сошника. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2015. Вип. 3. С. 177–190.
- 13 Васильковська К.В. Аналіз створення рівномірного потоку насіння до борозни. *Сільськогосподарські машини*. 2025. Вип. 51. С.24–33. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1890>.

- 14 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. URL: DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>.
- 15 Wan, L.; Li, Y.; Song, J.; Ma, X.; Dong, X.; Zhang, C.; Song, J. Vibration Response of Soil under Low-Frequency Vibration Using the Discrete Element Method. *Agriculture*. 2023, 13, 1958. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101958>.
- 16 Зубко В.М., Сіренко В.Ф., Кузіна Т.В. Аналіз конструкцій сошників посівних машин. *Інженерія природокористування*. 2016. №1(5). С. 98–102.
- 17 Гринько Ю. Класифікація сошників. Їхні переваги і недоліки. *Агроном*. URL: <https://www.agronom.com.ua/klasifikatsiya-soshnykiv-yihni-perevagy-i-nedoliky/> (Дата звернення 10.12.2025).
- 18 Xu G, Xie Y, Peng S, Liang L, Ding Q. Performance Evaluation of Vertical Discs and Disc Coulters for Conservation Tillage in an Intensive Rice–Wheat Rotation System. *Agronomy*. 2023; 13(5):1336. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051336>.
- 19 Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур : монографія / Сало В.М., Лузан О.Р., Лузан П.Г., Мачок Ю.В. Кіровоград : СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. 164 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473>.
- 20 Murray J.R., Tullberg J.N. and Basnet B.B. 2006. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. ACIAR Monograph. No. 121.
- 21 Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : навчальний посібник / В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.
- 22 Сошник сівалки прямого посіву: пат. 65087 Україна: МПК А01С 7/20. № u201105614; заявл. 04.05.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл.№ 22

References

1. Aniskevych, L. V., & Rosamakha, Yu. O. (2016). Design features of seed drill coulter systems and their compliance with precision farming requirements. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Engineering and Energy of the Agro-Industrial Complex*, (241), 269–278. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2016_241_38 [in Ukrainian].
2. Ahmad, F., Weimin, D., Qishou, D., Rehim, A., & Jabran, K. (2017). Comparative performance of various disc-type furrow openers in no-till paddy field conditions. *Sustainability*, 9(7), 1143. [in Pakistan] <https://doi.org/10.3390/su9071143>
3. Triplett, G.B., & Dick, W.A. (2008). No-tillage crop production: A revolution in agriculture. *Agronomy Journal*, 100(3), 153–165. [in USA] <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0005c>.
4. Zaiets, M.L. (2023). Influence of disc coulters parameters on the ability to cut crop residues in no-till systems. *Designing, Manufacturing and Operation of Agricultural Machines*, issue 53, 16–22 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53>.
5. Dreyer, H. (2010). *Detailed review of the Primera DMC seed drill opener*. AMAZONE-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG [in Germany]. <http://www.amazone.de>.
6. Shmat, S.I., Luzan, P.H., & Salo, V.M. (2018). *Original methods and means of tillage and crop sowing*. Kharkiv: Machulin [in Ukrainian].
7. Voitiuk, D.H., Aniskevych, L.V., Baranovskyi, V.M., et al. (2019). *Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation* (2nd ed.). Kyiv: Scientific and Methodological Center of Vocational Higher Education [in Ukrainian].
8. Artemenko, D., Leshchenko, S., Onopa, V., Majara, V., & Deikun, V. (2022). Analysis of the combined coulters point of the precision seed drill. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 24(4), 57–71, [in Ukrainian] <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>.
9. Sukhyna, A. (2017). Grain seed drills: problems of choice. *Propozytsiia*, 12 [in Ukrainian]. <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-posivna-tekhnika/zernovi-sivalky-problemy-vyboru>.
10. Altuntas, E., & Yildiz, A. (2007). Effects of different furrow openers on seed emergence. *Soil & Tillage Research*, 94, 327–334. [in Canada]. <https://doi.org/10.1002/agj2.70084>.
11. Kuş, E., & Yıldırım, Y. (2020). Effects of seed drop height and tillage system on emergence time and rate in single seed planters. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 35(1), 69–76. [in China] <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.739387>
12. Lisovyi, I.O., Boiko, A.I., Sviren, M.O., & Pushka, O.S. (2015). Direct seeding and justification of coulters parameters. *Bulletin of the Ukrainian Branch of the International Academy of Agrarian Education*, issue 3, 177–190 [in Ukrainian].

13. Vasytkovska, K.V. (2025). Analysis of the formation of a uniform seed flow to the furrow. *Agricultural Machines*, issue 51, 24–33 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/acm.vi51.1890>.
14. Salo, V.M., Vovnianko, B.H., Leshchenko, S.M., & Luzan, P.H. (2024). Improvement of qualitative indicators of the sowing process. *Agricultural Machines*, issue 50, 113–119 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>.
15. Wan, L., Li, Y., Song, J., Ma, X., Dong, X., Zhang, C., & Song, J. (2023). Vibration response of soil under low-frequency vibration using the discrete element method. *Agriculture*, 13, 1958. [in China] <https://doi.org/10.3390/agriculture13101958>
16. Zubko, V.M., Sirenko, V.F., & Kuzina, T.V. (2016). Analysis of coulter designs of seeding machines. *Engineering of Nature Management*, 1(5), 98–102 [in Ukrainian].
17. Hrynko, Yu. (n.d.). Classification of coulters: advantages and disadvantages. *Agronom* [in Ukrainian]. <https://www.agronom.com.ua/klasifikatsiya-soshnykiv-yihni-perevagy-i-nedoliky/>.
18. Xu, G., Xie, Y., Peng, S., Liang, L., & Ding, Q. (2023). Performance evaluation of vertical discs and disc coulters for conservation tillage in an intensive rice-wheat rotation system. *Agronomy*, 13(5), 1336. [in China] <https://doi.org/10.3390/agronomy13051336>.
19. Salo, V.M., Luzan, O.R., Luzan, P.H., & Machok, Yu.V. (2012). *Covering working bodies for direct seeding of grain crops*. Kirovohrad: SPD FO Lysenko V.F. [in Ukrainian]. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473>.
20. Murray, J.R., Tullberg, J.N., & Basnet, B.B. (2006). *Planters and their components: Types, attributes, functional requirements, classification and description*. ACIAR Monograph No. 121. [in Australia].
21. Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., & Salo, L. (2022). *Machines for sowing, planting and crop care*. Kropyvnytskyi: Lysenko V.F. Publisher [in Ukrainian].
22. State Intellectual Property Service of Ukraine. (2011). *Seed drill opener for direct seeding* (Patent No. 65087, Ukraine).

Olena Luzan, PhD tech. sci., **Dmytro Artemenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Luzan**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ruslan Kisilov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Analysis of the Operation of a Direct Seeding Coulter with Adaptive Vertical Discs

The aim of the article is to provide a theoretical justification of the operation of a direct seeding coulter with adaptive vertical discs under No-Till technology conditions. The study is focused on increasing the stability of seed placement depth, improving the quality of furrow formation, and reducing the energy consumption of the sowing process. Particular attention is paid to accounting for the force and dynamic interaction between the coulter, the soil, and crop residues under variable field conditions. The relevance of the research is determined by the growing requirements for working bodies of direct seeding drills and the insufficient theoretical substantiation of coulter designs incorporating adaptive elements.

The article considers the design of a direct seeding coulter equipped with adaptive vertical discs and develops its calculation scheme. The system of forces acting on the coulter during operation is determined, and analytical relationships are obtained to evaluate the draft resistance as a function of working depth, chisel width, and physical and mechanical properties of the soil. The kinematics of the vertical discs are analyzed, and conditions for effective cutting of crop residues and self-cleaning of cutting segments are established. The coulter is modeled as a single-degree-of-freedom vibratory system, for which the equation of vertical motion is formulated and the amplitude–frequency characteristic is derived. The influence of operating speed and the characteristic length of soil surface irregularities on the amplitude of vertical oscillations of the coulter is investigated.

As a result of the theoretical analysis, it is established that the use of adaptive vertical discs allows the load to be redistributed between the chisel and the discs, reduces peak values of draft resistance, and increases the damping of the “soil-coulter” system. It is shown that an increase in the equivalent damping and stiffness of the system leads to a reduction in the amplitude of vertical oscillations, especially in the resonance region, and ensures more stable seed placement depth. The obtained results can be used in the design and optimization of direct seeding coulters and serve as a theoretical basis for further experimental research.

direct seeding, coulter, adaptive vertical discs, draft resistance, seeder

Одержано (Received) 15.12.2025

Прорецензовано (Reviewed) 19.12.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025