

УДК 631.33.024.2

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.121-133>**Д.Ю. Артеменко**, доц., канд. техн. наук, **П.Г. Лузан**, доц., канд. техн. наук,**О.Р. Лузан**, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна***В.П. Ковбаса**, проф., д-р техн. наук*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна**e-mail: artemenkodyu@kntu.kr.ua*

Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки

У статті представлено результати теоретичного обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки, спрямованої на підвищення якості формування борозни, рівномірності укладання насіння та зниження тягового опору. Проведено аналіз сучасних конструкцій сошників, визначено їх переваги та недоліки при роботі у різних ґрунтових умовах. Запропоновано нову конструкцію комбінованого наральника, у якій поєднані гострі та тупі кути входження в ґрунт, що забезпечує ефективне різання, розпушення та ущільнення шару ґрунту. Розроблено математичну модель для визначення тягового опору сошника з урахуванням геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей ґрунту. Отримано аналітичні залежності впливу кутових і лінійних параметрів наральника на енергетичні показники роботи. Результати досліджень підтверджують, що удосконалена конструкція комбінованого наральника сприяє стабільному руху сошника, покращує якість формування насінневого ложа та зменшує енерговитрати процесу сівби.

сошник, наральник, посів, борозна, насіннєве ложе, укладання насіння

Постановка проблеми. Процес формування борозни сошником просапної сівалки та подальшого загортання насіння є складною операцією, яка потребує точного дотримання агротехнічних вимог для створення сприятливих умов проростання насіння культури, що висівається [1, 2]. Під час утворення борозни сошник в момент занурення в ґрунт, рухаючись поступально, розсуває його шари в боки. Геометричні параметри передньої частини наральника сошника, зокрема кут атаки у вертикальній та горизонтальній площинах, а також його форма, визначають характер його взаємодії з ґрунтом і конфігурацію утвореної борозни. Наральники з гострим кутом входження більше розпушують ґрунт, тоді як із тупим – ущільнюють його, формуючи борозну необхідної ширини та глибини. Форма наральника безпосередньо впливає на якість стінок борозни та дна насінневого ложа. Нижня частина борозни має бути рівною і помірно ущільненою, що забезпечує стабільний контакт насіння з ґрунтом і рівномірність його розподілу як по довжині, так і по глибині [3–6]. Отже, вдосконалення конструкції наральника сошника істотно впливає на низку якісних і технологічних показників, що дозволяє підвищити точність висіву, покращити якість загортання насіння, мінімізувати його пошкодження, забезпечити ефективну роботу в складних умовах або на недостатньо підготовленому ґрунті, зменшити тяговий опір посівного агрегату і поліпшити енергетичні характеристики процесу, що може позитивно вплинути на кінцеву врожайність сільськогосподарської культури, яка висівається.

Основною характеристикою роботи ґрунтообробних органів є тяговий опір, який являється одним із ключових показників, що визначають енергетичну ефективність та продуктивність сільськогосподарського агрегату. Мінімізація тягового опору сошників

Більш доцільним, з точки зору технологічного процесу, є використання сошників із гострим кутом входження в ґрунт, адже вони формують борозну шляхом піднімання ґрунтових шарів знизу догори, що забезпечує ефективну роботу в умовах підвищеної вологості.

Водночас зазначена конструкція має певні недоліки. Під час руху сошник часто формує передсошниковий пагорб, що ускладнює рівномірне укладання насіння у борозну. Крім того, частина ґрунту відкидається убік, унаслідок чого дно борозни залишається надмірно розпушеним і не забезпечує стабільного розміщення насіння на заданій глибині. Серед суттєвих переваг цього типу сошників варто відзначити покращену здатність до заглиблення, стабільність руху на заданій глибині, якісне розрізання ґрунту та зменшення тягового опору [6].

Перспективним напрямом удосконалення сучасних конструкцій є створення комбінованих сошників, у яких поєднуються переваги тупого та гострого кутів входження в ґрунт. Такий підхід дозволяє усунути характерні недоліки обох типів і забезпечити більш стабільний та енергоефективний процес укладання насіння [12].

Постановка завдання. Метою роботи є розробка і теоретичне обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки із зменшеним тяговим опором і елементами для забезпечення рівномірного розміщення насіння в борозні.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасних конструкцій сошників просапних сівалок з метою визначення їхніх переваг та недоліків під час виконання процесу укладання насіння;
- розробити математичну модель для визначення тягового опору запропонованого сошника та теоретично обґрунтувати параметри його конструктивних елементів, що впливають на величину цього опору.

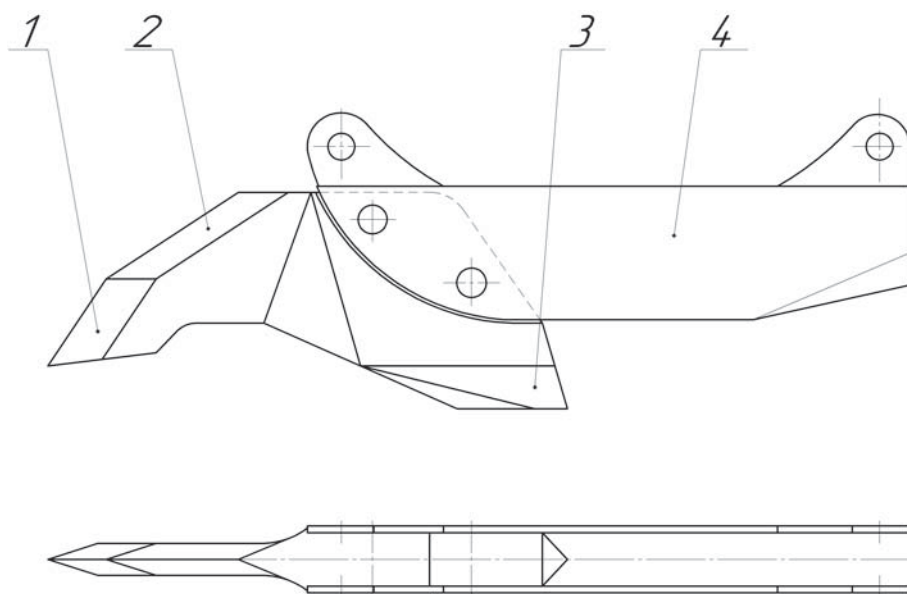
Викладення основного матеріалу. Для можливості конструктивного обґрунтування удосконаленої конструкції сошника з наральником, який має зменшений тяговий опір, були визначені основні технологічні операції, які він повинен виконувати (рис. 2).



Рисунок 2 – Технологічні операції утворення борозни наральником сошника які впливають на його тяговий опір

Джерело: розроблено авторами

Для реалізації наральником сошника наведених технологічних характеристик технологічного процесу була розроблена нова конструкція сошника. Запропоноване технічне рішення полягає в тому, що сошник оснащений комбінованим наральником, який складається з трьох основних робочих частин (рис. 3). Середня частина виконує функцію формування борозни і характеризується гострим кутом входження в ґрунт як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Верхня частина призначена для відведення сухих шарів ґрунту від борозни, при цьому у вертикальній площині вона має кут атаки, що у два рази перевищує кут середньої частини, а в горизонтальній площині зберігає гострий кут входження в ґрунт. У задній нижній зоні наральника розташована клиноподібна п'ята з тупим кутом входження, яка формує насінневе ложе. Товщина середньої та верхньої частин наральника становить половину товщини нижньої задньої частини, що сприяє оптимальному розподілу навантаження під час роботи. Носок наральника має загострення в нижній частині, а безпосередньо за ним передбачено порожнину, яка знижує тяговий опір і перешкоджає налипанню ґрунту на п'яту. Усі робочі елементи наральника розташовані під кутом, меншим за кут тертя ґрунту по сталі, що забезпечує покращене проникнення в ґрунт і стабільність руху сошника.



1 – носок, 2 – поверхня відкидання, 3 – п'ята, 4 – щоки

Рисунок 3 – Сошник із комбінованим наральником

Джерело: розроблено авторами

Запропонований сошник виконує технологічний процес наступним чином. Під час руху на заданій глибині посіву середня частина наральника за допомогою носка 1, який має гострий кут входження в ґрунт у вертикальній та горизонтальній площинах, розрізає ґрунт, розсовуючи його в боки та частково піднімаючи на поверхню відкидання 2. Носок 1 не лише полегшує поступальний рух сошника в ґрунті, а і забезпечує стабільність глибини ходу, долаючи наявні перешкоди. Завдяки куту атаки верхньої частини наральника у вертикальній площині та гострому куту входження в горизонтальній площині, верхні шари ґрунту відкидаються в сторони від борозни. Після проходження середньої та верхньої частин, унаслідок збільшення товщини наральника, здійснюється ущільнення стінок борозни. У нижній задній зоні клиноподібна п'ята 3 формує насінневе ложе, забезпечуючи рівномірне розміщення

насіння як по глибині, так і по довжині рядка. Порожнина, розташована безпосередньо за носком, сприяє зниженню тягового опору, запобігає налипанню ґрунту на п'ята та забезпечує її самоочищення. Щоки сошника 4 утримують ґрунт до моменту потрапляння насіння на дно борозни, після чого воно прикривається шаром вологого ґрунту.

Ефективність роботи запропонованого сошника визначається сукупністю конструктивних факторів: завдяки носку наральника та поверхні відкидання, які мають гострі кути входження в ґрунт і малу ширину, досягається мінімальний опір під час руху та стабільність ходу у вертикальній площині. Розташована в задній частині п'ята з тупим кутом входження забезпечує формування ущільненого насінневого ложа, що сприяє рівномірному розміщенню насіння по глибині; крім того, поєднання гострих кутів входження в середній і верхній частинах наральника гарантує стабільний рух сошника по глибині рядка, ефективно відведення верхніх сухих шарів ґрунту в сторони від борозни та руйнування ущільнених ділянок. У разі підвищення вологості ґрунту конструкція сошника сприяє його самоочищенню, що забезпечує стабільність технологічного процесу посіву.

Для розрахунку тягового опору даної конструкції необхідно розглянути її як систему, що складається з окремих функціональних зон, кожна з яких робить свій внесок у загальний тяговий опір.

Носок сошника, що має гострий кут входження в ґрунт, є першим елементом, що взаємодіє з ґрунтом. Його основна функція мінімізувати опір різанню, розсікаючи ґрунт, а не ущільнюючи його, як це робить елемент з тупим кутом робочої поверхні. Наральник має загострення в передній нижній частині, що є раціональним інженерним рішенням. Ґрунт на більшій глибині, особливо ущільнений, має більший опір. Загострення носка саме в цій зоні дозволяє знизити енерговитрати на початкове руйнування ґрунтового шару, забезпечуючи більш легкий та стабільний рух сошника на заданій глибині. Тяговий опір носка переважно складається з опору різанню та мінімального тертя [19].

Верхня частина наральника має поверхню відкидання з кутом атаки, який удвічі перевищує кут атаки середньої частини. Це забезпечує відведення верхніх сухих шарів ґрунту вбік від борозни. Збільшення кута атаки робочого органу зазвичай спричиняє зростання тягового опору [20, 21]. Проте, оскільки висота контакту цієї частини наральника з ґрунтом є незначною, вплив на загальний тяговий опір машини також залишається мінімальним.

Метою такого конструктивного рішення є не лише підвищення енергоефективності, а й досягнення оптимального агротехнічного ефекту – забезпечення укладання насіння у вологий шар ґрунту, розташований нижче, із одночасним захистом його від пересихання у верхньому шарі. Тому збільшення опору цієї частини сошника є обґрунтованим з агрономічної точки зору.

Опір верхньої частини наральника складається із сил деформації ґрунту (підняття та бокового зсуву) і сил тертя між поверхнею робочого органу та ґрунтом.

П'ята сошника має тупий кут входження в ґрунт і збільшену товщину порівняно з іншими частинами наральника. Така конструктивна особливість визначає її основну функцію – ущільнення дна та стінок борозни з метою формування рівномірного і щільного насінневого ложа. На відміну від носка, який виконує функцію різання ґрунту, п'ята здійснює його ущільнення [4].

Процес ущільнення виникає під дією високого нормального тиску, унаслідок чого формується значний опір, що складається з опору деформації (ущільнення) та опору тертя. Таким чином, у конструкції наральника функції різання та зсуву ґрунту

виконує гострий елемент передньої частини, тоді як ущільнення забезпечується нахилом робочої поверхні п'яти під тупим кутом, що дає змогу оптимізувати кожен технологічний процес окремо.

Конструкцією наральника передбачена порожнина, розташована одразу за носком, що сприяє зменшенню тягового опору та налипанню ґрунту. Фізична суть цього явища полягає у створенні зони декомпресії або розриву потоку ґрунту [22]. Коли ґрунт проходить через носок, він розрізається та піднімається. Замість того, щоб формувати щільний ущільнений клин перед клинковою п'ятою, ґрунтова маса частково обсипається у порожнину. Це запобігає прямому контакту та адгезії ґрунту з передньою частиною п'яти, що є критично важливим у вологих умовах, коли ґрунт схильний до налипання. Зменшення адгезійних сил та тертя, які зазвичай є значною складовою загального опору, дозволяє досягти зниження тягового зусилля. Додатково, щоки сошника утримують ґрунт над стінками борозни, що також є джерелом опору тертя [23].

Загальний тяговий опір сошника (R_3) є сумою сил опору, що діють на його окремі конструктивні елементи. Виходячи з конструкції (рис. 3), його можна представити як суму опорів чотирьох основних робочих зон: середня частина (носок), що виконує основне розрізання та розсування ґрунту; верхня частина (поверхня відкидання), що відводить верхній шар ґрунту; нижня задня частина (п'ята), що ущільнює насінневе ложе; бокові поверхні, що формують стінки борозни.

Враховуючи наведене вище, загальний тяговий опір сошника

$$R_3 = R_H + R_B + R_{II} + R_T, \quad (1)$$

де R_H – опір середньої частини (носка);

R_B – опір верхньої частини (поверхні відкидання);

R_{II} – опір п'яти;

R_T – опір, зумовлений тертям по бокових поверхнях.

Розглянемо кожну складову окремо. Для цього введемо позначення для всіх параметрів, що характеризують конструктивні особливості нового наральника (рис. 4). Геометричні параметри удосконаленого наральника згідно в метрах: h – повна глибина ходу сошника (глибина загортання насіння); h_1 – висота носка і поверхні відкидання; h_2 – висота робочої зони носка; h_3 – висота підйому задньої частини носка (визначається із конструктивних міркувань); h_4 – висота п'яти; h_5 – висота порожнини (залежить від міцності матеріалу із якого виготовлений наральник); l_1 – довжина носка і поверхні відкидання; l_2 – довжина п'яти; l_3 – довжина бічної поверхні наральника; b – товщина носка і поверхні відкидання; B – товщина наральника; B_1 – ширина п'яти; α – кут атаки середньої частини (носка); α_1 – кут атаки верхньої частини ($\alpha_1 = 2\alpha$); β – кут входження п'яти в ґрунт; γ – кут загострення носка і поверхні відкидання в горизонтальній площині, δ – кут загострення п'яти у вертикальній площині.

Фізико-механічні властивості ґрунту, які впливають на умови роботи наральника: k – питомий опір ґрунту (опір різанню та деформації), [Па]; φ – кут тертя ґрунту по сталі, [град], відповідний коефіцієнт тертя $f = tg\varphi$; q_{yuc} – опір ґрунту ущільненню, [Па]; p_{yuc} – середній бічний тиск ґрунту на бічну поверхню наральника,

[Па]; ρ – щільність ґрунту, [кг/м³]; V_c – швидкість руху сошника, [м/с]; g – прискорення вільного падіння, [м/с²].

Розглянемо визначення складових тягового опору удосконаленого наральника сошника. Опір середньої частини (носка) R_H складається з опору різанню ґрунту передньою кромкою та опору від деформації і тертя ґрунту по клинових поверхнях носка. Опір лобовому зминанню та різанню пропорційний площі поперечного перерізу

$$P_{\text{лоб}} = k \cdot b \cdot h_2 \quad (2)$$

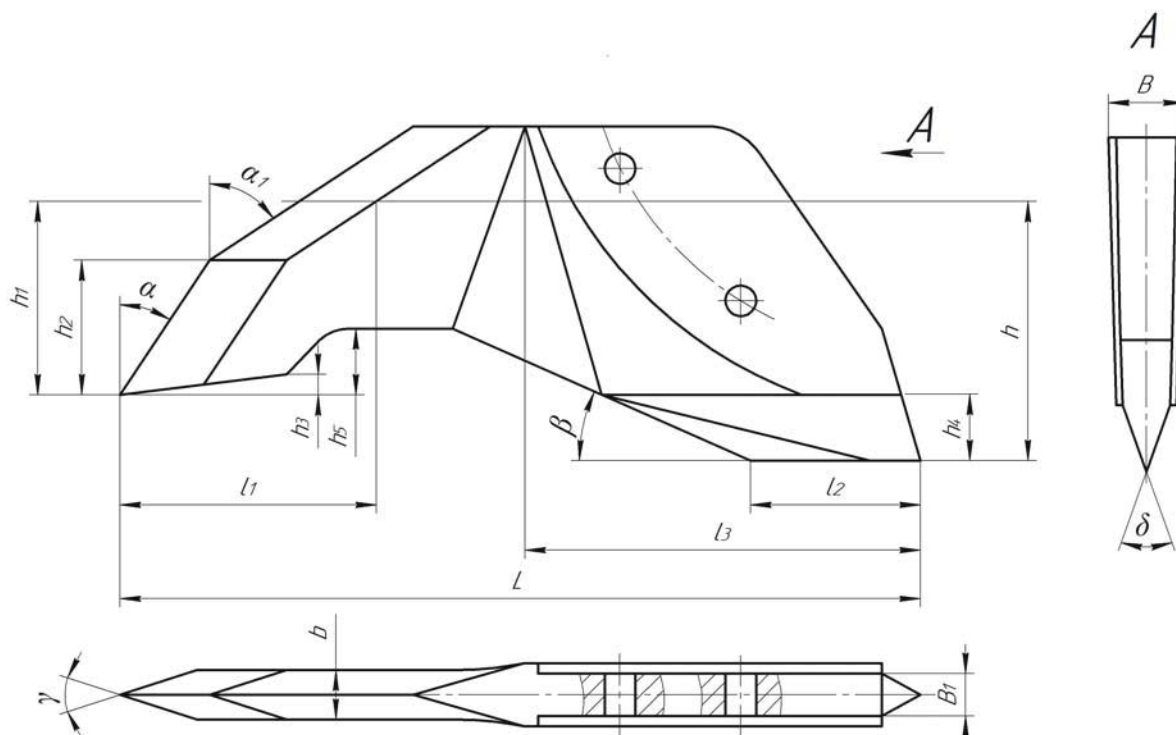


Рисунок 4 – Конструктивні параметри наральника сошника, що впливають на його тяговий опір
Джерело: розроблено авторами

Опір від деформації та тертя: ґрунт розсувається в сторони і вгору – сила опору є горизонтальною проекцією нормальних сил та сил тертя, що діють на робочі поверхні.

$$R_H = k \cdot b \cdot h_2 + k \cdot l_1 \cdot \left(h_2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right) + b \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \right) \cdot (\sin(\alpha) + \operatorname{tg}(\varphi) \cdot \cos(\alpha)). \quad (3)$$

Перший доданок описує опір різанню, другий – опір деформації та тертя по клинових поверхнях (вертикальній та горизонтальній).

Опір верхньої частини (поверхні відкидання) R_B – ця частина відкидає вже підрізаний ґрунт. Опір тут створюється підніманням, тертям та прискоренням руху маси ґрунту.

Сила на піднімання ґрунту – вага шару ґрунту, що піднімається, створює опір, а об'єм ґрунту, що проходить через цю ділянку за одиницю часу, можна визначити за формулою

$$V = (h_1 - h_2) \cdot b \cdot V_c. \quad (4)$$

Опір від піднімання ґрунту

$$P_{ni0} = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot b \cdot l_1 \cdot tg(\alpha_1). \quad (5)$$

Сила тертя

$$F_T = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot b \cdot l_1 \cdot tg(\varphi). \quad (6)$$

Загальний опір цієї частини робочої поверхні наральника з урахуванням $\alpha_1 = 2\alpha$

$$R_B = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot b \cdot l_1 \cdot (tg(2\alpha) + tg(\varphi)). \quad (7)$$

На високих швидкостях в отриману залежність доцільно додавати інерційну складову, пропорційну V_c^2 , але для умов посіву просапних культур на глибини (6-8 см) для спрощення математичної моделі її можна не враховувати.

П'ята ущільнює дно борозни, а її опір R_{II} – це переважно опір ущільненню ґрунту. Опір ущільненню клином з тупим кутом β можна визначити за класичною формулою для клина [3, 4], де основну роль грає опір ґрунту ущільненню q_{yuc}

$$R_{II} = q_{yuc} \cdot B_1 \cdot h_4 \cdot \left(tg\left(\frac{\beta}{2}\right) + tg(\varphi) \right). \quad (8)$$

Наявність порожнини за носком, на яку робиться акцент при обґрунтуванні конструкцій наральника, зменшує налипання та може знизити ефективний коефіцієнт тертя φ , що позитивно впливає на загальний опір.

Опір тертю бокових поверхонь, R_T . Бічні поверхні зазнають тертя об стінки вже сформованої борозни. Опір є виключно силою тертя, тоді площа контакту однієї бічної поверхні з ґрунтом

$$A_T \approx l_3 \cdot h. \quad (9)$$

Сила тертя для двох бічних поверхонь

$$F_T \approx 2 \cdot p_{yuc} \cdot A_T \cdot tg(\varphi) = 2 \cdot p_{yuc} \cdot l_3 \cdot h \cdot tg(\varphi). \quad (10)$$

Середній бічний тиск p_{yuc} залежить від глибини та властивостей ґрунту і може бути розрахований за формулою

$$p_{yuc} = k_0 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{h}{2}, \quad (11)$$

де k_0 – коефіцієнт бічного тиску ґрунту.

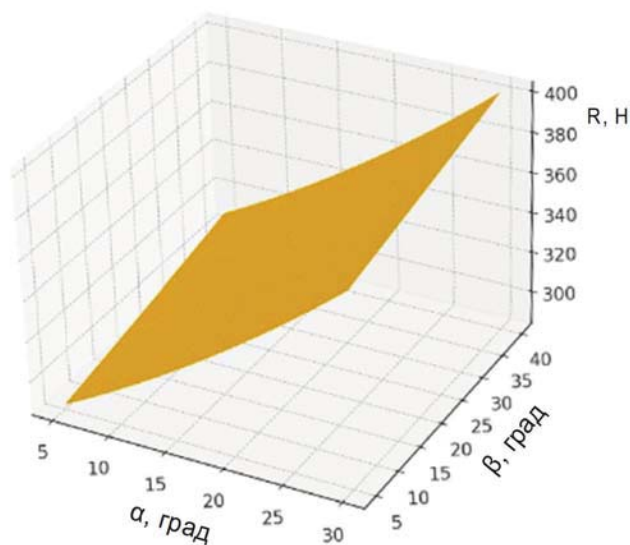
Загальна залежність для розрахунку тягового опору удосконаленого наральника сошника просапної сівалки в символічному вигляді

$$\begin{aligned} R_3 = & \left[k \cdot b \cdot h_2 + k \cdot l_1 \cdot \left(h_2 \cdot tg\left(\frac{\gamma}{2}\right) + b \cdot tg(\alpha) \right) \cdot (\sin(\alpha) + tg(\varphi) \cdot \cos(\alpha)) \right] + \\ & + [\rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \cdot b \cdot l_1 \cdot (tg(2\alpha) + tg(\varphi))] + \left[q_{yuc} \cdot B_1 \cdot h_4 \cdot \left(tg\left(\frac{\beta}{2}\right) + tg(\varphi) \right) \right] + \\ & + [2 \cdot p_{yuc} \cdot l_3 \cdot h \cdot tg(\varphi)] \end{aligned} \quad (12)$$

Отримана залежність (12) дозволяє аналізувати, як конструктивні параметри сошника та властивості ґрунту впливають на його тяговий опір. Гострі кути (α, γ) зменшують складові опору, пов'язані з деформацією ґрунту, що підтверджує ефективність конструкції носка. Порожнина за носком не входить у формулу безпосередньо, але її ефект полягає у зниженні сил налипання та, як наслідок, у зменшенні ефективного кута тертя φ , що знижує всі складові опору, де він присутній. Збільшення товщини (b до B) в задній частині необхідне для формування стінок, але призводить до збільшення опору тертя від бічних поверхонь наральника. Тупий кут п'яти (β) є ключовим для створення ущільненого насінневого ложа, але створює значний опір. В розробленій моделі вплив кута загострення п'яти (δ) не виділяється в окремий доданок, а враховується опосередковано через емпіричний коефіцієнт питомого опору ґрунту (k) і має лінійний характер. Таким чином розроблена модель дозволяє теоретично оцінити вплив зміни будь-якого з параметрів на загальний енергетичний показник роботи розробленого наральника сошника.

Підставляючи проектні теоретичні значення конструктивних параметрів запропонованого наральника сошника і умов його роботи (фізико-механічні властивості ґрунту для умов посіву просапних культур [3, 4, 23-24]), нами отримані теоретичні залежності зміни тягового опору наральника від параметрів основних елементів, які на нього впливають (рис. 5 і рис. 6).

На рис. 5 наведено залежність тягового опору наральника від кутових параметрів його носка і п'яти. Графік показує, що існує оптимальний кут атаки. Спочатку опір падає (зменшується роль тертя), а потім починає стрімко зростати, оскільки збільшується сила, необхідна для підйому та деформації ґрунту. Для даної конструкції мінімальний опір досягається в діапазоні $\alpha = 10 - 15^\circ$.



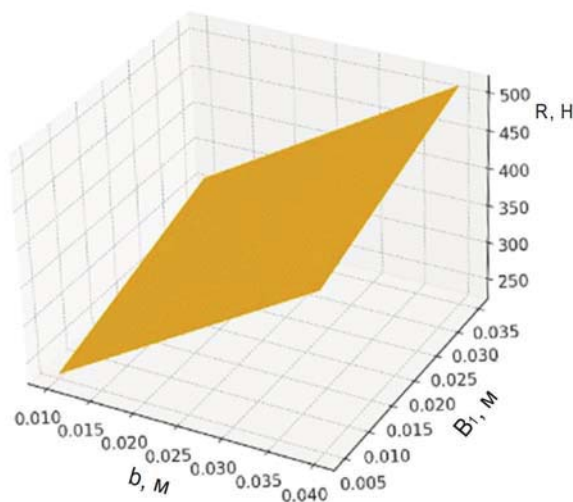
$$h = 0,08 \text{ м}; W = 20\%; \rho = 0,8 \text{ г/см}^3$$

Рисунок 5 – Залежність тягового опору наральника від кутових параметрів його носка і п'яти
Джерело: розроблено авторами

Як видно із (12), зміна кута загострення носка майже лінійна, тому чим гостріший носок (менший кут γ), тим легше він розсуває ґрунт і тим менший тяговий опір. Це підтверджує важливість гострого кута входження в ґрунт в горизонтальній площині. Якщо збільшувати кут входження п'яти (β), то це веде до експоненційного

зростання опору, оскільки п'ята починає працювати не на ущільнення, а на згортання та зсування великого об'єму ґрунту, а це найбільш енергозатратний процес.

Залежність тягового опору наральника від параметрів ширини його робочих частин наступна – зміна товщини носка (b) має лінійну залежність (рис. 6). Збільшення товщини носка пропорційно збільшує площу поперечного перерізу, що розрізається, та відповідно, опір різанню та деформації. Зміна товщини задньої частини (B) не впливає на опір, оскільки в розрахунковій формулі товщина (B) не враховується безпосередньо, а опір тертя залежить від довжини (l_3) та висоти (h), а вибір товщини (B) є конструктивною, для забезпечення міцності та формування стінок борозни. Зміна ширини п'яти (B_1) також має лінійну залежність, ширина п'яти безпосередньо визначає площу ґрунту, що ущільнюється. Збільшення ширини B_1 прямо пропорційно збільшує силу опору ущільненню.



$$h = 0,08 \text{ м}; W = 20\%; \rho = 0,8 \text{ г/см}^3$$

Рисунок 6 – Залежність тягового опору наральника від параметрів ширини його робочих частин
Джерело: розроблено авторами

Таким чином, можна стверджувати, що удосконалена конструкція наральника сошника просапної сівалки може забезпечити якісне утворення борозни і розміщення висіяного насіння по довжині і глибині борозни. Але для визначення раціональних значень конструктивних параметрів удосконаленого сошника потрібні додаткові експериментальні дослідження.

Висновки.

1. У результаті проведених теоретичних досліджень розроблено математичну модель для визначення тягового опору удосконаленого наральника сошника просапної сівалки та отримано аналітичну залежність (12) для розрахунку його величини. Проведено також аналіз отриманої залежності з метою оцінки впливу основних конструктивних і технологічних параметрів на тяговий опір.

2. Аналіз показує, що для мінімізації тягового опору наральника сошника критично важливими є:

- збереження гострих кутів входження в ґрунт як у вертикальній (α), так і в горизонтальній (γ) площинах. Оптимальний кут α знаходиться в межах $\alpha = 10 - 15^\circ$;
- кут нахилу п'яти (β) є найбільш впливовим кутовим параметром, навіть незначне його збільшення приводить до різкого збільшення енерговитрат;

– параметри ширини (b , B_1) мають лінійний вплив, оскільки вони прямо визначають площу контакту та деформації.

3. Запропонована конструкція наральника сошника поєднує в собі раціональний баланс між агротехнічними вимогами (формування якісного ложа) та енергетичною ефективністю.

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/nvna_u_tech_2016_241_38 2016. (дата звернення: 17.09.2025)
2. Драйер Х. Детальний розгляд сошника сівалки Primera DMC. *Amazona Primera DMC. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG*. 2010, 2 с. URL: <http://www.amazone.de> (дата звернення: 19.09.2025)
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1. Частина 2. Машини для сівби та садіння. Харків: Око, 2002. 452 с.
4. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1: Машини для рільництва; за заг. ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 384 с.
5. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С., Соломашенко П.М. Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 40, ч.1. С. 136–142. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1795/1/26.pdf>.
6. 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>.
7. Nielsen, Søren & Munkholm, Lars & Lamandé, Mathieu & Nørremark, Michael & Skou-Nielsen, Nick & Edwards, Gareth & Green, Ole. (2017). Seed drill instrumentation for spatial coulter depth measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*. 141. 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.014>.
8. Волоха М.П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань: монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2015. С. 32–57. URL: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/17399> (дата звернення: 23.09.2025)
9. Гончарук Г.С. Якісна сівба цукрових буряків запорука високого врожаю. *Цукрові буряки*. 2001. №2. С. 8–9.
10. Коломієць О.П., Гончарук Г.С., Ломако Т.Н. Передумови якісної сівби. *Цукрові буряки*. 1999. № 2. С. 17.
11. 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> (дата звернення: 25.09.2025)
12. Дмитро Артеменко. Дослідження конструкційних параметрів елементів сошника для посіву просапних культур. *Науково-технічні дослідження у галузі механічної інженерії та транспорту: колективна монографія*; за заг. ред. А.А. Кашканова. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. 2023. С. 72–110. URL: https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf (дата звернення: 25.09.2025)
13. Murray J.R., Tullberg J.N. and Basnet B.B. Planters and their components: types, attributes, functional requirements, classification and description. *ACIAR Monograph* 2006 No. 121.
14. Planter 3. Precision seed drills: Prospect of the Kuhn Company. *Kuhn farm machinery* (UK). 2015. URL: <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html>. (дата звернення: 29.09.2025)
15. SP Range. Pneumatic precision seed drills: Prospect of the Gaspardo Company. Italy. 2017. URL: <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf> (дата звернення: 02.10.2025)
16. AMAZONE. Precision airplanter: Operating manual. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany, 2017. 224 p. URL: <http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf> (дата звернення: 02.10.2025)
17. Горобей В.П. Механіко-технологічні і конструктивні основи підвищення ефективності робочих органів для сівби в селекції і насінництві: дис. ... д-ра с.-г. наук: 05.05.11 / НВО «СЕЛТА», ННЦ «ІМЕСГ», НААН. Мелітополь, 2017. 428 с.

18. 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>.
19. 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>.
20. 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>.
21. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: підручник / Д.Г.Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. С. 141–142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/> (дата звернення: 09.10.2025)
22. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін. Київ : Мета, 2003. 448 с
23. Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур: навч. посіб. Харків: Мачулін, 2018. 236 с.
24. 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.

References

1. Aniskevych, L. V., & Rosamakha, Yu. O. (2016). Design features of seed drill coulters 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. Dreyer, H. (2010). *Detailed overview of the seed drill Primera DMC*. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. <http://www.amazone.de> [in German].
3. Zaika, P.M. (2002). *Theory of agricultural machines. Vol. 1, Part 2. Machines for sowing and planting*. Kharkiv: Oho. [in Ukrainian].
4. Sysolin, P.V., Salo, V.M., & Kropivnyi, V.M. (2001). *Agricultural machines: theoretical bases, design, construction. Book 1: Machines for tillage*. M.I. Chernovol (Ed.). Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian].
5. Artemenko, D. Yu., Magopets, O. S., & Solomashenko, P. M. (2010). Research and development of an improved design of a row-crop seed drill coulters. *Design, Production and Operation of Agricultural Machines*, 40(1), 136–142. <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1795/1/26.pdf> [in Ukrainian].
6. Salo, V.M., Luzan, O.R., Luzan, P.H., & Machok, Yu.V. (2012). *Closing working bodies for direct sowing of grain crops: Monograph*. Kirovohrad: SPD FO Lysenko V.F. <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473> [in Ukrainian].
7. Nielsen, S., Munkholm, L., Lamandé, M., Nørremark, M., Skou-Nielsen, N., Edwards, G., & Green, O. (2017). Seed drill instrumentation for spatial coulters depth measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.014>.
8. Volokha, M.P. (2015). *Technological complex of machines for sugar beet production: row spacing, theory, modeling, test results*. Kyiv: Center for Educational Literature. <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/17399> [in Ukrainian].
9. Honcharuk, H. S. (2001). Quality sowing of sugar beets is the key to a high yield. *Sugar Beets*, (2), 8–9. [in Ukrainian].
10. Kolomiiets, O. P., Honcharuk, H. S., & Lomako, T. N. (1999). Preconditions for quality sowing. *Sugar Beets*, (2), 17. [in Ukrainian].
11. 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. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7435/3947>.
12. Artemenko, D. (2023). Research of design parameters of coulters elements for sowing row crops. In A. A. Kashkanov (Ed.), *Scientific and technical research in mechanical engineering and transport: Collective monograph* (pp. 72-110). Ivano-Frankivsk: Academy of Technical Sciences of Ukraine. https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf [in Ukrainian].
13. 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.
14. Kuhn Company. (2015). *Planter 3. Precision seed drills*. Kuhn Farm Machinery (UK). <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html>

15. Gaspardo Company. (2017). *SP Range. Pneumatic precision seed drills*. Italy. <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf>.
16. AMAZONE. (2017). *Operating manual. Precision air planter*. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany. <http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf>.
17. Horobei, V.P. (2017). *Mechanical-technological and design bases for increasing the efficiency of working bodies for sowing in breeding and seed production* (Doctoral dissertation). Melitopol: NVO «SELTA», NSC «IMESG», NAAS. [in Ukrainian].
18. 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. <https://doi.org/10.3390/su9071143>.
19. 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051336>.
20. Salo, V.M., Vovnianko, B.H., Leshchenko, S.M., & Luzan, P.H. (2024). Improving the quality indicators of the sowing process. *Agricultural Machines*, 50, 113–119. <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398> [in Ukrainian].
21. Voitiuk, D.H., Baranovskyi, V.M., Bulhakov, V.M., et al. (2005). *Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation: textbook*. 141–142. D.H. Voitiuk (Ed.). Kyiv: Vyshcha osvita. <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/> [in Ukrainian].
22. Tsarenko, O.M., Voitiuk, D.H., & Shvaiko, V.M. (2003). *Mechanical and technological properties of agricultural materials: textbook*. Kyiv : Meta. [in Ukrainian].
23. Shmat, S.I., Luzan, P.H., & Salo, V.M. (2018). *Original methods and means of tillage and sowing of agricultural crops: textbook*. Kharkiv : Machulin. [in Ukrainian].
24. Salo, V., Leshchenko, S., Luzan, P., & Salo, L. (2022). *Machines for sowing, planting and crop care: textbook*. Kropyvnytskyi: Lysenko V. F. [in Ukrainian].

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Viktor Kovbasa, Prof., DSc.

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Justification of the Design of a Combined Coulter of a Row-crop Seeder Opener

The aim of the article is to develop and theoretically substantiate the design of a combined coulter opener for precision seed drills that ensures high-quality furrow formation, uniform seed placement, and reduced draft resistance during sowing. The study analyzes modern designs of seed drill openers from leading manufacturers and identifies their main advantages and drawbacks under different soil conditions. It was found that openers with sharp entry angles loosen the soil effectively but do not provide a uniform seedbed, whereas openers with blunt entry angles form compact furrows but require higher traction force. Considering these aspects, a new combined opener design was proposed that integrates the benefits of both types, allowing for optimal agronomic conditions for seed germination while reducing the energy consumption of the sowing unit.

The article describes the design of the improved coulter opener, which consists of three functional parts - the tip, the deflecting surface, and the wedge-shaped heel. The middle part with a sharp entry angle performs soil cutting and loosening; the upper part removes dry soil layers; and the rear heel forms a compact seedbed. The paper presents the operating principle of the opener during furrow formation and explains the interaction of its elements with the soil. A mathematical model was developed to determine the draft resistance of the opener, taking into account its geometric parameters and the physical–mechanical properties of the soil. An analytical relationship was obtained to evaluate the influence of attack angles, thickness, and width of working parts on the energy performance of the opener. Theoretical analysis of draft resistance variations depending on structural parameters was carried out, and the optimal range of entry angles was determined, as well as the main patterns influencing furrow formation.

The results show that the combined coulter opener ensures stable movement of the opener at the specified depth, promotes the formation of an even seedbed, prevents soil sticking, and reduces the draft resistance of the seeding unit. The optimal attack angles are within 10–15°, which minimizes energy consumption during furrow formation. The proposed design combines agronomic efficiency with rational energy use, improves sowing quality, and can be recommended for further experimental research and implementation in modern precision seed drills.

seed opener, coulter point, seeding, furrow, seedbed, seed placement

Одержано (Received) 22.10.2025

Прорецензовано (Reviewed) 04.11.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025