
ОБҐРУНТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАРАЛЬНИКОВОГО СОШНИКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ ІЗ ЗМЕНШЕНИМ ТЯГОВИМ ОПОРОМ

Артеменко Д. Ю.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-653-9-7>

ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва в Україні, характеризується підвищеними вимогами до енергоефективності та якості виконання технологічних операцій, зокрема сівби просапних культур. Посів є однією з найвідповідальніших операцій технологічного процесу, оскільки саме на цьому етапі закладаються передумови для формування рівномірних сходів, оптимального розвитку рослин і майбутньої врожайності. Вирішальну роль у забезпеченні відповідності агротехнічним вимогам відіграють робочі органи просапних сівалок, зокрема сошники, які безпосередньо формують борозну для укладання насіння та забезпечують його загортання ґрунтом.

Наральниковий сошник є одним із найбільш поширених типів сошників для просапних сівалок завдяки простоті конструкції та здатності формувати чітку борозну заданої глибини. Водночас традиційні конструкції наральників характеризуються підвищеним тяговим опором, інтенсивним деформуванням ґрунту та нестабільністю параметрів борозни, особливо за змінних ґрунтових умов. Це негативно впливає на якість насінневого ложа, рівномірність розміщення насіння, як по довжині так і глибині борозни, та енергетичні показники роботи посівного агрегату.

Удосконалення конструкції наральника, з урахуванням закономірностей взаємодії робочої поверхні з ґрунтом, дозволить оптимізувати процес різання та переміщення ґрунтового шару, знизити енерговитрати та забезпечити стабільне формування борозни з рівним, ущільненим і вологим насінневим ложем. Таким чином, обґрунтування раціональної конструкції наральникового сошника із зменшеним тяговим опором є важливим напрямом підвищення ефективності сівби та забезпечення виконання агротехнічних вимог до посіву просапних культур.

1. Постановка проблеми

Під час роботи наральникового сошника одним із визначальних експлуатаційних показників є величина його тягового опору, яка безпосередньо впливає, як на енергетичні витрати посівного агрегату, так і на якість формування посівної борозни. Підвищений тяговий опір наральника зумовлюється особливостями його геометрії, кутами атаки робочих поверхонь, площею контакту з ґрунтом та характером деформації ґрунтового середовища в зоні різання і переміщення¹.

Найбільш розповсюджені наральникові сошники мають тупий кут входження в ґрунт і працюють на зминання ґрунту від дії робочих поверхонь наральника, причому чим більш неоднорідний ґрунт тим більше навантаження потрібно прикласти на сошник для його сталого руху². Тому, однією із основних проблем при збільшенні навантаження на сошник є надмірне ущільнення ґрунту в зоні дна та бокових стінок борозни. При значному тяговому опорі наральник інтенсивно стискає ґрунт, що призводить до утворення переущільненого шару, який погіршує водноповітряний режим насінневого ложа та ускладнює проростання кореневої системи рослин. У результаті формується борозна з нестабільною структурою, що не відповідає агротехнічним вимогам до посіву просапних культур.

Іншою проблемою, при посіві в неоднорідний ґрунт, є порушення геометрії борозни, зокрема нерівномірність її глибини та ширини. Зростання тягового опору спричиняє коливання сошника у вертикальній і горизонтальній площинах, особливо на полях з поганою підготовкою ґрунту. Це призводить до формування борозни з хвилястим дном, що унеможливує рівномірне розміщення насіння на заданій глибині.

Підвищений тяговий опір також сприяє інтенсивному переміщенню та розкиданню ґрунту в боки від борозни. У таких умовах верхній, більш сухий шар ґрунту часто зміщується в зону насінневого ложа, що погіршує контакт насіння з вологим ґрунтом і знижує польову схожість. Крім того, надмірне руйнування ґрунтової структури може призводити до утворення грудок, які ускладнюють рівномірне загортання насіння. Також, при підвищенні навантаження на сошник, зростає зношування робочих поверхонь наральника. При збільшенні тягового опору збільшується сила

¹ Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Ковбаса В.П. Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 55, 2025. С. 121 – 133. URL: <https://zbmiksgm.kntu.kr.ua/pdf/55/13.pdf>

² Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

тертя між металом і ґрунтом, що призводить до швидкої втрати початкової геометрії робочої поверхні наральника та погіршує якість формування борозни, що може знижувати польову схожість насіння на 5-12%³.

Таким чином, підвищений тяговий опір наральникового сошника є комплексною проблемою, яка одночасно погіршує енергетичні показники роботи сівалки та знижує якість формування борозни. Це обумовлює необхідність конструктивного вдосконалення наральника сошника з метою зменшення тягового опору, стабілізації параметрів борозни та забезпечення виконання агротехнічних вимог до посіву просапних культур. Зниження тягового опору на 25% дозволить сівалкам працювати на підвищених швидкостях 8-10 км/год без втрати якості посіву, зменшуючи при цьому витрати пального на 15-20% та підвищуючи продуктивність на 1,5 га/год⁴.

2. Аналіз конструктивних особливостей сошників просапних сівалок

Основна функція сошника, яку повинні забезпечувати його конструктивні параметри, полягає у формуванні борозни з якісним насіннєвим ложем, точному укладанні насіння та рівномірному його загортанні ґрунтом, що є визначальним чинником для ефективного проростання та формування дружніх сходів. Як свідчать дослідження⁵, успішність виконання якісного процесу формування борозни значною мірою зумовлена конструкцією сошника та фізіологічними особливостями проростання насіння. Тому забезпечення оптимальної щільності ґрунту в зоні загортання насіння та мінімальний тяговий опір самого сошника має надзвичайно важливе значення.

Для можливості обґрунтування основних конструктивних параметрів нового сошника просапної сівалки необхідно розглянути вже існуючі конструкції сошників та їх елементів, які забезпечують процес борозноутворення. Основними закордонними виробниками посівних машин, що представлені в Україні є всесвітньо відомі фірми такі, як Kverneland, Monosem, Gaspardo, Amazon, Kuhn та інші. Вітчизняний сектор

³ Artemenko D., Onopa V. Experimental researches of a precision seed drills coulter equipped with a disk seedbed former. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 49, 2019. С. 10-18. URL: http://zbitniksgm.kntu.kr.ua/eng/archive/49/49_Artemenko_eng.html

⁴ Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю.Льченко, П.І.Карасьов; за ред. В.Ю. Льченко. К.: Урожай, 1993. 288 с.

⁵ 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 Кущнір Г.М. 2023. С. 72-110. URL: https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf

посівних машин займають Elvorti, Фаворит, Ремсинтез. Всі ці виробники пропонують посівну техніку для посіву просапних культур, тому спочатку необхідно розглянути конструктивні особливості заводських сошників (рис. 1).



**Рис. 1. Сошники просапних сівалок які представлені в Україні:
1 – Kverneland; 2 – Monosem; 3 – Gaspardo; 4 – Amazon; 5 – Kuhn;
6 – Elvorti**

З (рис. 1) видно, що сошники для посіву просапних культур набули свого остаточного вигляду і мають практично однакову конструкцію. Але для можливості з'ясування переваг і недоліків цих сошників проведемо аналіз їх конструкцій.

Сошник фірми Kverneland⁶ (рис. 1.1), вирізняється масивним, широким корпусом та відносно низьким наральником із майже вертикальною передньою кромкою та клиновою нижньою основою. Така конструкція характерна для всіх сошників ковзаючого типу, де основне навантаження припадає на передню грань, що розрізає ґрунт. П'ята сошника має витягнуту, клинову форму таке виконання направлено на стабілізацію ходу в горизонтальній площині, що забезпечує утворення борозни із щільними стінками. Перевагою даної конструкції є висока стабільність глибини на легких та середніх добре підготовлених ґрунтах завдяки широкій опорній поверхні. Однак, практично вертикальний кут входження наральника в ґрунт створює значний лобовий опір та сприяє його зминанню попереду, що може призводити до утворення передсошникового пагорба та

⁶ KVERNELAND. Monopill – Mechanische Einzelkornsämaschine. Präzise Vereinzelnung – nicht nur bei Rüben. Kverneland Group Deutschland GmbH, 2017. 16p. URL: <https://www.kverneland.de/Saetechnik/Einzelkornsaeemaschinen/Kverneland-Monopill-Monopill-e-drive-II>

переуцільнення стінок борозни. Це може негативно вплинути на розвиток кореневої системи в посушливі періоди.

Сошник фірми Monosem⁷ (рис. 1.2), має характерний прямолінійно-криволінійний наральник невеликої ширини в передній частині із практично вертикальним носком, що плавно переходить у розширювану частину де кріпляться щоки. Трапецієподібна форма профілю дозволяє не тільки розрізати, а й розсовувати ґрунт, формуючи чітке клиноподібне ложе. Компактні розміри наральника свідчать про його орієнтацію на роботу в складі секцій із значним притискним зусиллям. Перевагою такої конструкції є гарне копіювання мікрорельєфу та здатність розрізати невеликі рослинні рештки без їх затягування в борозну. Головним недоліком є схильність до залипання внутрішньої порожнини вологим ґрунтом через відсутність зон самоочищення в місці стику наральника та щік. Також при роботі на високих швидкостях такий сошник може не тримати задану глибину посіву за рахунок піднімання в вертикальній площині, що порушує рівномірність висіву по глибині.

Конструкція наральника сошника фірми Gaspardo⁸ (рис. 1.3), має параболічну форму робочої поверхні з поступовим збільшенням кута атаки в нижній частині. Значна висота сошника забезпечує плавне заглиблення та мінімальне порушення структури верхнього шару ґрунту. Сошник має клинову нижню частину, яка утворює п'яту і формує насінневе ложе, така конструкція мінімізує об'єм переміщуваного в боки ґрунту та сприяє утворенню ущільнених стінок борозни. Ключова перевага такої конструкції сошника низька енергомісткість процесу формування борозни та якісне ущільнення дна борозни самою вагою секції без додаткового навантаження. Недоліком є слабка захищеність борозни від осипання сухого верхнього шару ґрунту, оскільки сошник під час формування практично не відводить його в бік від борозни. На погано підготовлених ґрунтах такий наральник може працювати нестабільно, вібруючи в сошниковій групі та потребує додаткового навантаження.

Сошник фірми Amazone⁹ (рис. 1.4), має ступінчасту конструкцію наральника, де чітко виділений носок із тупим кутом входження в ґрунт і винесений вперед відносно п'яти, яка і формує насінневе ложе та стінки борозни. Це дозволяє розділити процеси відкриття та безпосереднього

⁷ MONOSEM. The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2018. 24p. URL: <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4>

⁸ Prospect of the GASPARDO Company. 2017. SP Range. Pneumatic precision seed drills. Italy. URL: <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf>

⁹ Operating manual. AMAZONE. Precision airplanter. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany, 2017. 224p. URL: <http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf>

формування борозни. Корпус наральника має посилені ребра жорсткості, що вказує на можливість висівати просапні культури по всьому діапазону глибин. Перевагою такого сошника є висока якість підготовки насінневого ложа: носок розкриває борозну, а п'ята ущільнює, створюючи контакт насіння з її дном. Недоліком є складність конструкції та підвищений опір сошника в задній частині за рахунок збільшення його шири при переході від наральника до щік. Також такий сошник має значну вагу, що може зміщувати центр мас посівної секції.

Сошник фірми Kuhn¹⁰ (рис. 1.5), має агресивну форму наральника у вигляді клину, як в горизонтальній так і вертикальній площинах, з крутим вигином носка та широкою п'ятою, причому п'ята в задній частині піднята вгору. Така конструкція сошника розрахована на максимальне витіснення ґрунту із зони висіву, а формування насінневого ложа відбувається невеликою ділянкою наральника в місці переходу передньої його частини в п'яту. Поверхня наральника має спеціальну термічну обробку для підвищення зносостійкості в зонах найбільшого тертя. Головна перевага такої конструкції, це здатність формувати широку і чисту борозну навіть за несприятливих умов. Проте велика ширина наральника призводить до високої витрати палива через підвищений тяговий опір. Також при роботі на легких піщаних ґрунтах такий сошник занадто сильно розкидає ґрунт, що може призводити до нерівномірного загортання борозни.

Сошник, виробника посівної техніки Elvorti¹¹ (рис. 1.6), має класичну килевидну конструкцію з наральником великого радіуса кривизни. Це традиційна конструкція для сівалок, що працюють за класичною технологією обробітку ґрунту. Наральник має довгу ріжучу кромку, що розподіляє знос по всій довжині робочої поверхні, а перехід від носка до п'яти виконаний плавно. Щоки сошника врізані в поверхню наральника і не виступають за неї, що не утворює перепадів товщини сошника між робочими поверхнями. Перевагою є простота виготовлення, низька ціна та гарна пристосованість до вологих умов (менше схильний до залипання у порівнянні з іншими розглянутими моделями). Недоліком є велика висота і довжина сошника, що може погіршувати тягові характеристики сівалки та призводити до виносу вологого ґрунту на поверхню, що провокує його швидке висихання. Також такий сошник може погано тримати глибину на переущільнених ділянках.

¹⁰ Prospect of the Kuhn Company. 2015. Planter 3. Precision seed drills. Kuhn farm machinery (UK). URL: <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html>

¹¹ Product Catalog. Technology in harmony with the nature. Elvorti – Chervona zirka. Ukraine, 2016. 20p. URL: https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf

Таким чином, якщо підсумувати розгляд конструкцій існуючих сошників то можна сказати, що:

більшість розглянутих моделей (зокрема Kverneland та Kuhn) мають суттєвий лобовий опір через конструкцію передньої частини наральника яка забезпечує початок формування борозни. Це призводить до надмірного зминання ґрунту попереду сошника, утворення передсошникового пагорба та переуцільнення стінок борозни, що може заважати нормальному розвитку кореневої системи рослин;

конструкції з короткими наральниками або складною внутрішньою геометрією (Monosem, Amazone) схильні до залипання вологим ґрунтом та забивання пожнивними рештками. Це порушує технологічний процес висіву та вимагає частих зупинок агрегату для очищення робочих органів;

моделі з великою довжиною (Elvorti) або параболічною формою без вираженого опорного носка (Gaspardo) демонструють незадовільну стабільність глибини на твердих або нерівномірно ущільнених ґрунтах. Виникає ефект підняття сошника на високих швидкостях, що призводить до нерівномірних сходів через різну глибину розміщення насіння;

в ряді конструкцій (зокрема Gaspardo) спостерігається недостатній захист борозни від осипання сухого верхнього шару ґрунту на її дно до моменту падіння насіння. Це перешкоджає контакту насіння з вологим шаром, що є критичним фактором у посушливих умовах посівної кампанії.

Роботи над вдосконаленням конструкцій класичних сошників просапних сівалок проводились сучасними дослідниками, тому необхідно також розглянути їх конструкції.

Так, в роботі¹² пропонується удосконалений сошник просапної сівалки (рис. 2), конструкція якого базується на використанні комбінованого наральника, що поєднує декілька функціональних зон: у передній частині розташований вертикальний носок із гострим кутом входження, середня частина має клиноподібну форму з гострим верхнім та тупим нижнім кутами, а задня частина завершується спеціальною п'ятою для ущільнення насінневого ложа. Верхня частина наральника в горизонтальній площині загострена під кутом, меншим за кут тертя ґрунту об сталь. Така багатоступенева архітектура забезпечує послідовне розрізання, розсування та формування борозни.

Головною перевагою технічного рішення є висока стабільність глибини ходу при роботі на нерівномірно ущільнених ґрунтах. Завдяки вертикальному носку сошник легко розрізає ґрунт, знижуючи тяговий

¹² Патент України № 136252. Д.Ю. Артеменко, В.А. Мажара, В.В. Дарієнко, В.В. Пукалов, В.Ю. Ахмадієва. Сошник. МПК А01С7/20 (2006.01). № u201902037/UA; Заявл. 28.02.2019; Опубл. 12.08.2019; Бюл. № 15. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1373323/>

опір, а клиновидна середня частина ефективно відводить верхні шари в обидва боки, усуваючи утворення передсошникового пагорба. П'ята з тупим кутом забезпечує якісне формування ложа для насіння, а нахил робочих поверхонь сприяє самоочищенню робочого органу від вологого ґрунту та рослинних решток.

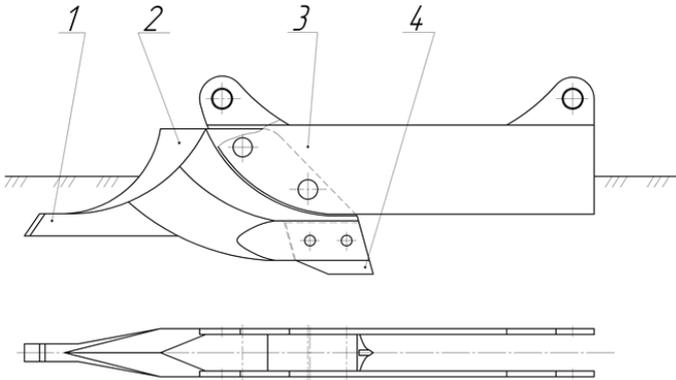


Рис. 2. Патент UA 136252: 1 – носок; 2 – поверхня відкидання; 3 – п'ята; 4 – шоки

Основним недоліком цієї конструкції є підвищена чутливість до точності кутів заточування робочих поверхонь, оскільки відхилення від кута тертя може призвести до залипання або надмірного зминання ґрунту. Складна геометрія середньої частини, де поєднуються гострі та тупі кути, створює додаткові труднощі при виготовленні та відновленні робочого органу в умовах ремонтних майстерень. Крім того, наявність вертикального носка може сприяти швидшому зносу передньої кромки при роботі на щільних ґрунтах.

Запропонована в¹³, конструкція сошника (рис. 3) оснащена комбінованим клиновим наральником, де верхня (більша) частина має гострий кут входження в ґрунт, а нижня частина та задня п'ята тупий. Особливістю є те, що в горизонтальній площині наральник загострений під кутом, меншим за кут тертя ґрунту об сталь. Така геометрична схема спрямована на активне розрізання шару ґрунту вертикальною кромкою та одночасне формування ущільненого дна борозни.

¹³ Патент України № 133540. Артеменко Д.Ю., Свірень М.О., Онопа В.А., Комар Я.М. Сошник. МПК А01С7/20 (2006.01). № u201811332/UA; Заявл. 19.11.2018; Опубл. 10.04.2019; Біол. № 7. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1344841/>

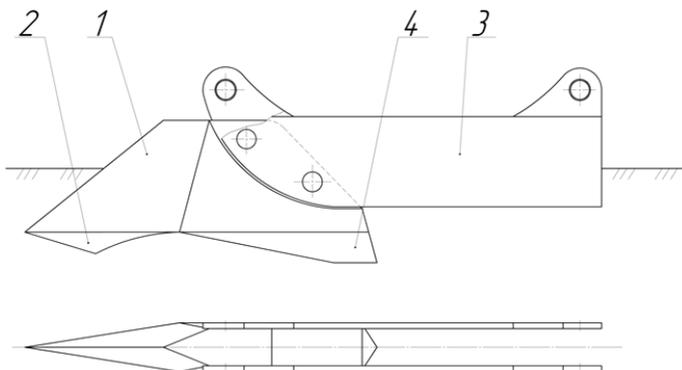


Рис. 3. Патент UA 133540: 1 – верхня робоча поверхня; 2 – нижня робоча поверхня; 3 – щоки; 4 – п’ята

Перевагою конструкції сошника є повне усунення ефекту передсошникового пагорба, оскільки загострена верхня частина відводить ґрунт безпосередньо в обидва боки від борозни. Використання гострого кута у верхній частині значно полегшує рух сошника, а тупий кут п’яти гарантує стабільне формування щільного насінневого ложа на заданій глибині. Сошник демонструє практичну здатність до самоочищення від забур’яненості та вологого ґрунту завдяки правильному підбору кутів атаки.

Основним недоліком такої конструкції може бути висока інтенсивність зносу нижньої частини з тупим кутом входження, оскільки вона сприймає найбільші навантаження при ущільненні дна борозни. Окрім того, відсутність плоского опорного носка (як у попередніх моделях) робить цей сошник більш залежним від стабільності копіювальних коліс секції сівалки для тримання заданої глибини на нерівному рельєфі. Також через гостру вертикальну кромку конструкція може бути чутливою до бічних відхилень при зустрічі з великим корінням або камінням.

В роботі¹⁴, автори пропонують конструкцію сошника (рис. 4), яка базується на використанні багатофункціонального наральника, розділеного на три ключові зони: передню клинову частину з тупим кутом входження, середню частину з плоскою основою в горизонтальній площині та задню нижню частину, що завершується клинковою п’ятою. Важливою особливістю є загострення верхньої частини наральника в горизонтальній

¹⁴ Патент України № 150808. Артеменко Д.Ю., Шепілова Т.П., Мажара В.А., Нестеренко О.В., Богатирьов Д.В., Онопа В.А.. Сошник. МПК А01С 5/06, А01С 7/20 (2006.01). № u202106879/UA; Заявл. 02.12.2021; Опубл. 20.04.2022; Бюл. № 16. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1686437/>

площині під кутом, що менший за кут тертя сталі об ґрунт. Така конструкція наральника сошника дозволяє послідовно виконувати розрізання пласта, його ущільнення та безпосереднє формування насінневого ложа.

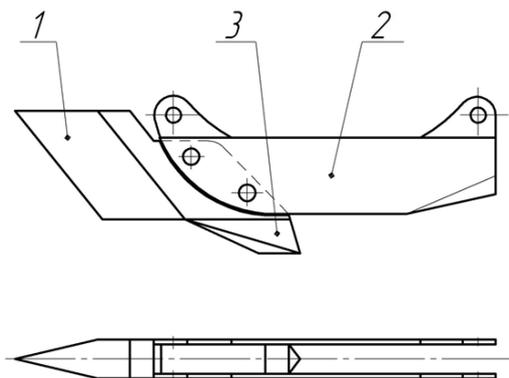


Рис. 4. Патент UA 150808: 1 – робоча поверхня; 2 – шок; 3 – п’ята

Головною перевагою запропонованого технічного рішення є ефективне запобігання утворенню передсошникового пагорба за рахунок активного відведення ґрунту клиновою поверхнею в обидва боки. Плоска основа середньої частини сошника стабілізує рух по глибині та проводить попереднє ущільнення нижніх шарів, створюючи умови для рівномірного ходу п’яти. Комбінація цих елементів разом із властивістю самоочищення при підвищеній вологості забезпечує мінімальний тяговий опір та формування чітко окресленого клинового ложа для якісного контакту насіння з ґрунтом.

Основним недоліком конструкції у загальному випадку є використання тупого кута входження в передній частині, що на дуже переущільнених або сухих ґрунтах може призводити до підвищеного зминання ґрунту замість його чистого розрізання. Складна геометрія, що поєднує клинові та плоскі поверхні, ускладнює технологічний процес виготовлення та відновлення робочого органу при зносі. Крім того, плоска основа середньої частини може створювати додатковий опір при роботі на важких глинистих ґрунтах, потенційно виштовхуючи сошник на поверхню при високій швидкості посіву.

З метою усунення негативного впливу верхніх шарів ґрунту на процес посіву Цимбалом А.Г.¹⁵, запропонована конструкція сошника

¹⁵ Патент України № 159673. Цимбал А.Г., Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Онопа В.А., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Сошник. МПК А01С 7/20 (2006.01). № u202401264/UA; Заявл. 11.03.2024; Опубл. 26.06.2025, Бюл.№ 26. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1862713/>

з використанням комбінованого наральника (рис. 5), що поєднує в собі робочі поверхні з різною геометрією. Верхня частина виконана у вигляді двогранного похилого клину з гострим кутом входження в ґрунт, що доповнюється плоским носком у передній частині. Нижня частина плавно переходить у п'яту з тупим кутом входження, при цьому ширина основи верхнього клину перевищує ширину борозни.

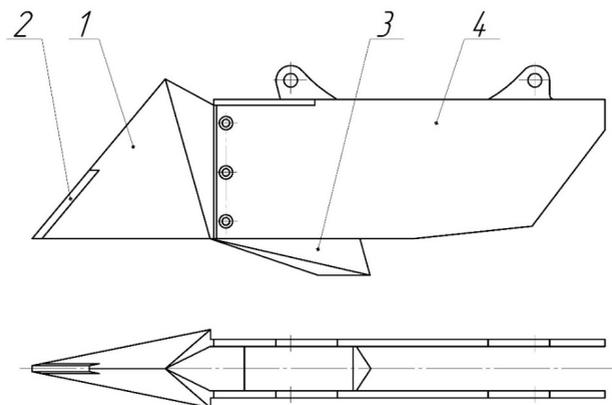


Рис. 5. Патент UA 159673: 1 – робоча поверхня; 2 – плоский носок; 3 – п'ята; 4 – шок

Головною перевагою такої схеми є якісне розділення ґрунтових шарів: гострий клин ефективно відкидає сухий верхній шар убік, запобігаючи його осипанню на дно борозни. Плоский носок разом із широкою основою забезпечують високу стабільність глибини ходу навіть на ущільнених ділянках, що гарантує рівномірність загортання насіння. Крім того, нахил робочих площин під кутом, меншим за кут тертя сталі об ґрунт, сприяє самоочищенню робочого органу та знижує загальний енергетичний опір під час посіву.

Основним недоліком даної конструкції є підвищена складність виготовлення комбінованого наральника порівняно з традиційними однорідними конструкціями. Складна геометрія з наявністю перехідних зон між плоским носком, двограним клином та п'ятою може призводити до нерівномірного зносу робочих поверхонь у зонах концентрації напружень при роботі на абразивних ґрунтах. Також збільшена ширина верхньої частини наральника може підвищувати чутливість сошника до великої кількості рослинних решток на поверхні поля.

В роботі¹⁶, пропонується удосконалена конструкція сошника (рис. 6), яка базується на використанні комбінованого наральника, що розділений на три функціональні зони: середню, верхню та задню нижню. Середня частина з носком має гострі кути входження в обох площинах, тоді як верхня частина (поверхня відкидання) характеризується подвоєним кутом атаки для інтенсивного відведення ґрунту. Задня частина завершується клинвою п'ятою з тупим кутом входження, причому товщина передніх сегментів у два рази менша за товщину п'яти, а за загостреним носком передбачена спеціальна порожнина.

Ключовою перевагою технічного рішення є ефективний пошаровий обробіток ґрунту, гострий носок розрізає пласт, а верхня поверхня відкидає сухий шар вбік, запобігаючи його просипанню на дно борозни. Наявність порожнини за носком суттєво знижує тяговий опір та перешкоджає налипанню вологого ґрунту на п'яту, що забезпечує стабільність глибини ходу та якісне ущільнення насінневого ложа. Крім того, нахил усіх робочих поверхонь під кутом, меншим за кут тертя сталі об ґрунт, гарантує високу здатність робочого органу до самоочищення.

Основним недоліком конструкції є її технологічна складність, зумовлена різною товщиною елементів та специфічною геометрією зон переходу, що здорожує процес виробництва.

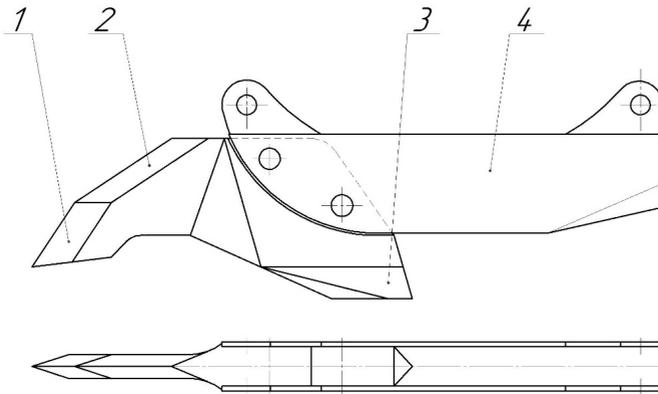


Рис. 6. Патент UA 161657: 1 – носок; 2 – поверхня відкидання; 3 – п'ята; 4 – щоки

¹⁶ Патент України № 161657. Артеменко Д.Ю., Онопа В.А., Лузан П.Г., Муленко К.А. Сошник. МПК А01С 7/20 (2006.01). № u202501031/UA; Заявл. 11.03.2024; Опубл. 25.12.2025, Біол.№ 52. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1891976/>

Також наявність порожнини одразу за носком може стати місцем накопичення рослинних решток при роботі на полях з високим рівнем забур'яненості або після жнив, що потенційно призведе до забивання сошника. Змінна товщина наральника також може провокувати концентрацію напружень у металі, що знижує загальний ресурс деталі при роботі на важких або кам'янистих ґрунтах.

Узагальнюючи результати аналізу, як серійних зразків провідних світових брендів так і патентної документації на нові розробки, можна виділити системні недоліки наральникових сошників, які розподіляються за технологічними, агротехнічними та експлуатаційними ознаками. Основною проблемою більшості серійних конструкцій (Kverneland, Kuhn, Elvorti) залишається незадовільна якість формування борозни при поганій підготовці ґрунту. Через тупі кути входження в ґрунт відбувається його зминання та підгортання попереду сошника. Це спричиняє просипання сухого верхнього шару ґрунту на дно борозни ще до потрапляння туди насіння, що розриває контакт насінини з вологим насінневим ложем і знижує польову схожість. Крім того, конструкції без спеціалізованих ущільнювачів не забезпечують необхідної щільності дна борозни.

Розглянуті конструкції часто мають значний питомий тяговий опір. У серійних зразках це зумовлено великою площею лобового перерізу наральника. У запатентованих нових моделях, попри гострі кути входження, проблемою може бути «ефект присмоктування» або підвищене тертя у зонах переходу між різними функціональними гранями (наприклад, між плоским носком і клинковою основою). Також для моделей із великою довжиною наральника характерна нестабільність глибини ходу (піднімання) на високих швидкостях посіву.

Спільним недоліком вдосконалених патентних розробок є їхня висока технологічна складність. Виготовлення комбінованих наральників із трьома і більше робочими зонами, різною товщиною елементів та специфічними кутами заточування (меншими за кут тертя) вимагає високої точності виробництва та дорогого обладнання. Крім того, наявність технологічних порожнин або складних переходів геометрії сприяє накопиченню вологого ґрунту та рослинних решток. Через складну форму різні частини наральника зношуються з різною інтенсивністю (найбільше передній носок та задня п'ята), що швидко виводить із ладу весь дорогий робочий орган.

Для імпортних серійних сошників (Monosem, Amazone, Gaspardo) головним недоліком є висока вартість володіння самою сівалкою, складність налаштування електронних та механічних систем дозування в польових умовах, а також низька ремонтпридатність наральників, які

зазвичай є цільнолитими та не передбачають часткового відновлення. Вітчизняні аналоги, навпаки, часто мають недостатню зносостійкість матеріалів, що нівелює їх перевагу в ціні через часті заміни.

3. Вирішення проблеми

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



Рис. 7. Схема виконання технологічного процесу удосконаленим сошником просапної сівалки

З метою реалізації наведених на (рис. 7) технологічних операцій була розроблена удосконалена конструкція сошника просапної сівалки. Новий

сошник має комбінований наральник, який складається із двох робочих частин, верхня частина, клиновий носок, призначена для відкриття і відведення сухого ґрунту в бік від борозни та має в вертикальній і горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт, нижня частина, п'ята, із тупим кутом входження в ґрунт, призначена для формування ущільнених стінок борозни і насінневого ложа, причому верхня і нижня частини наральника в вертикальній площині однакові, а носок наральника має ширину на 10% більшу за товщину сошника, нижня кромка носка має підйом в горизонтальній площині, а всі робочі частини наральника нахилені під кутом меншим кута тертя ґрунту по сталі.

На (рис. 8) показана фронтальна і горизонтальна проекція удосконаленого сошника.

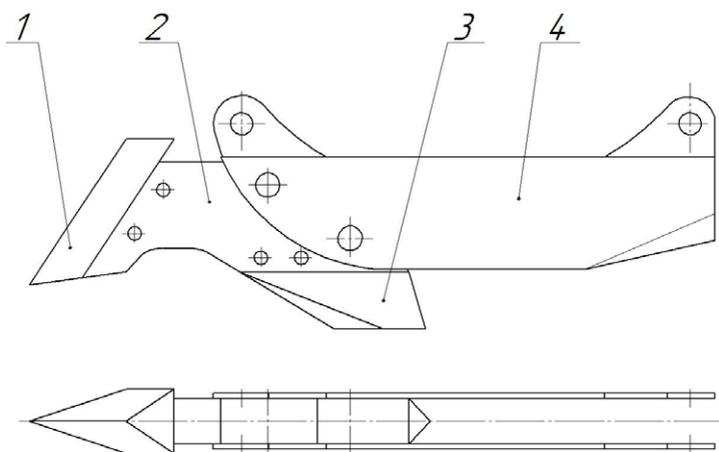


Рис. 8. Сошник із зменшеним тяговим опором: 1 – клиновий носок; 2 – наральник; 3 – п'ята; 4 – щок

Запропонований сошник працює наступним чином: рухаючись на глибині посіву верхня частина наральника у вигляді клинового носка 1, який має в вертикальній і горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт розрізає його і розсуває в боки, а частину піднімає і відводить в бік від рядка. Носок 1, за рахунок гострих кутів входження в ґрунт не тільки полегшує рух сошника, а і усуває перешкоди тримаючи задану глибину ходу. За рахунок підйому в нижній частині, взаємодія носка з ґрунтом відбувається по кромкам клинової поверхні. Оскільки ширина носка більша за ширину сошника то навантаження і опір ґрунту переважно

розподіляються на його поверхні. Під час руху в ґрунті носок також порушує бічні шари навколо сошника тим самим зменшує сили тертя по задній частині наральника 2 і щокам сошника 4. Рухаючись нижче, клинова п'ята 3, в задній частині утворює насінневе ложе для рівномірного розміщення насіння по глибині і довжині рядка. За рахунок того, що п'ята рухається у вже відкритій борозні зменшується її тяговий опір. Щоки сошника 4 утримують ґрунт поки насіння не потрапить на дно борозни, а потім закривають його шаром волого ґрунту.

Ефективність роботи сошника забезпечується такими факторами:

завдяки клиновому носку наральника з гострим кутом входження в ґрунт та збільшеній відносно самого сошника ширині опір сошника мінімальний, а рух в вертикальній площині рівномірний. Розміщена в задній частині наральника п'ята із тупим кутом входження ґрунт забезпечує формування насінневого ложа для рівномірного розміщення насіння по глибині;

за рахунок клинового носка з гострим кутом в ходження в ґрунт в горизонтальній площині, запропонований сошник забезпечує рівномірний рух по глибині рядка та відведення верхніх сухих шарів ґрунту в бік від борозни, а при потраплянні на перешкоди і ущільнені ділянки ґрунту руйнує їх. При цьому при підвищенні вологості ґрунту конструкція сошника сприяє його самоочищенню.

З метою визначення тягового опору удосконаленого наральника сошника, побудуємо математичну модель, яка базується на його геометричних параметрах та фізико-механічних властивостях ґрунту. Для складання математичної моделі взаємодії сошника з ґрунтом необхідно розглянути сумарний тяговий опір R_c , який дорівнює сумі сил опору, що виникають на кожному конструктивному елементі (носок, п'ята та щоки) під час виконання технологічної операції.

Введемо позначення для всіх параметрів, що характеризують конструктивні особливості нового наральника (рис. 9). Геометричні параметри удосконаленого наральника в метрах: H – глибина посіву (глибина розміщення насіння); h – глибина ходу носка; h_1 – глибина руху п'яти; L – довжина сошника; l – довжина наральника; l_1 – довжина контакту носка з ґрунтом; l_2 – довжина п'яти по якій формується насінневе ложе; l_3 – довжина п'яти; \square – товщина носка; b_1 – товщина сошника; b_2 – ширина наральника; α – кут атаки носка сошника; β – кут атаки п'яти сошника; γ – кут атаки носка в горизонтальній площині, δ – кут розхилу п'яти в вертикальній площині.

Фізико-механічні властивості ґрунту які впливають на умови роботи наральника: k – питомий опір ґрунту (опір різанню та деформації), [Па];

$q_{уц}$ – опір ґрунту ущільненню, [Па]; $p_{уц}$ – середній бічний тиск ґрунту на бічну поверхню сошника, [Па]; ϕ – кут тертя ґрунту по сталі, [град], коефіцієнт тертя $f = tg\phi$; ρ – щільність ґрунту, [г/см³]; V_c – швидкість руху сошника, [м/с]; g – прискорення вільного падіння, [м/с²].

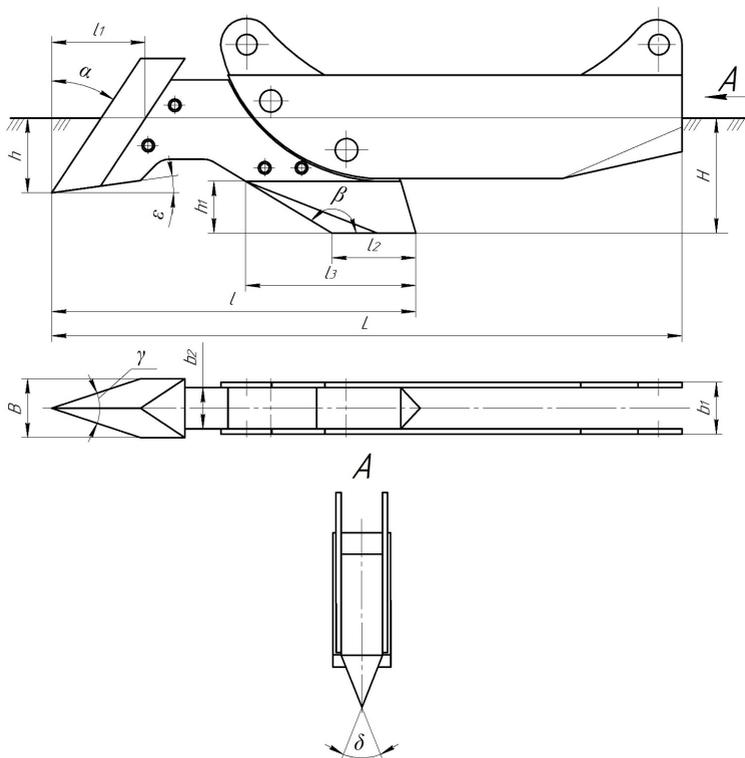


Рис. 9. Схема конструктивних параметрів сошника які впливають на тяговий опір

Загальний тяговий опір сошника R_z визначається, як сума чотирьох основних компонентів:

$$R_z = R_n + R_n + R_{уц} + R_v, \quad (1)$$

де: R_n – опір клинового носка (різання та розсування ґрунту);
 R_n – опір п'яти (ущільнення стінок і насінневого ложа);

$R_{ш}$ – опір тертя на бічних поверхнях (щоках);

R_v – динамічний опір відкидання ґрунту.

Визначаємо опір клинового носка наральника сошника. Носок виконує основну роботу з руйнування цілісності ґрунту, а оскільки ширина носка B на 10% більша за товщину сошника b_1 , основне навантаження зосереджується саме тут, полегшуючи рух наступних частин сошника. Носок має гострі кути входження в ґрунт α (вертикальний) та γ (горизонтальний), а його опір залежить від питомого опору ґрунту k :

$$R_{ш} = k \cdot B \cdot h \cdot \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\cos(\phi)} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right). \quad (2)$$

Питомий опір ґрунту k є інтегральним показником, який показує, яка сила потрібна для вирізання та деформації пласта ґрунту площею поперечного перерізу в 1м^2 в нашому випадку (1см^2). Для розрахунку k необхідно врахувати два основні аспекти: властивості самого ґрунту та геометрію носка наральника.

Питомий опір ґрунту k залежить від внутрішніх сил зчеплення ґрунту: опору розриву зв'язків між частинками, опору переміщенню часток одна відносно одної (кут внутрішнього тертя) та кута тертя ґрунту по сталі.

Геометрія робочого органу має вплив на зменшення величини k за рахунок: гострого кута атаки носка α , який забезпечує легке входження в ґрунт у вертикальній площині, гострого кута γ у горизонтальній площині, який забезпечує розрізання та розсування ґрунту в боки та ширини носка B , оскільки носок ширше за сошник і в процесі роботи основні сили зосереджені саме на ньому то, це знижує сумарний опір за рахунок зменшення тертя задніх частин поверхонь сошника.

Для клинового носка наральника, теоретичне значення k можна визначити через коефіцієнт об'ємного стиснення та кути нахилу поверхонь:

$$k = \sigma_0 \cdot \left(1 + \text{tg}(\alpha + \phi) \cdot \text{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right), \quad (3)$$

де σ_0 – гранична напруга руйнування ґрунту при прямому стисненні;

$\text{tg}(\alpha + \phi)$ – характеризує, як кут нахилу носка α та тертя ϕ збільшують необхідне зусилля, оскільки α гострий, значення тангенса буде мінімальним;

$\text{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ – враховує розхил носка в горизонтальній площині, чим гостріший кут γ , тим меншим є питомий опір k .

Питомий опір ґрунту k також залежить від швидкості руху сошника V_c і має властивість зростати в залежності від властивостей ґрунту:

$$k_o = k + c \cdot V_c^2, \quad (4)$$

де c – коефіцієнт, що враховує відкидання ґрунту та його щільність ρ .

Параметр σ_0 (гранична напруга руйнування ґрунту при прямому стисненні) є фундаментальною характеристикою в механіці ґрунтів¹⁷ і визначається через два основні параметри:

$$\sigma_0 = 2c \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi_1}{2} \right), \quad (5)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту;

ϕ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Залежність (5) показує максимальну вертикальну напругу, яку може витримати ґрунт без бічної підтримки (як це відбувається при роботі носка сошника, коли він врізається в масив). Якщо ґрунт піщаний (зчеплення $c \approx 0$), то σ_0 прямує до нуля. Якщо ґрунт глинистий (зчеплення високе), σ_0 стає основним фактором опору. Також потрібно враховувати, що σ_0 суттєво зменшується при збільшенні вологості ґрунту (значення може зменшуватись в 1,5-2 рази).

Опір п'яти R_n (ущільнення стінок і насінневого ложа) дещо знижений, оскільки вона рухається у вже частково відкритій носком борозні. Насінневе ложе формується шляхом ущільнення ґрунту. Використання в конструкції п'яти з тупим кутом β забезпечує необхідне питоме навантаження для створення ущільнених стінок і ложа, що критично для контакту насіння з вологою. Тоді опір R_n залежить від параметра q_{yuc} (опір ущільненню) та кута β :

$$R_n = q_{yuc} \cdot b_2 \cdot h_1 \cdot \operatorname{tg}(\beta - \phi). \quad (6)$$

Визначення питомого опору ґрунту ущільненню q_{yuc} є ключовим для розрахунку параметрів п'яти сошника (поз. 3, рис. 8). На відміну від носка, який розрізає ґрунт, п'ята має тупий кут атаки β , що створює нормальний тиск на дно борозни для формування насінневого ложа. Теоретично

¹⁷ Костюченко М.М. Механіка ґрунтів: навчальний посібник / М.М. Костюченко. Інтернетресурс Київського університету. geol.univ@kiev.ua. 116с. [Електронний ресурс]. URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mehanika_gruntiv.pdf

$q_{\text{уц}}$ розраховується через модель об'ємного стиснення або через теорію граничної рівноваги ґрунту.

Тому, оскільки п'ята має тупий кут β то теоретичне значення $q_{\text{уц}}$ в робочій зоні також залежить від того, як сила тяги перерозподіляється у вертикальний тиск:

$$q_{\text{уц}} = \frac{F_T}{b_2 \cdot l_3 \cdot \text{ctg}\beta}, \quad (7)$$

де F_T – сила тяги, яка діє на п'яту;

b_2 – ширина п'яти;

l_3 – довжина п'яти, по якій формується ложе;

$\text{ctg}\beta$ – котангенс кута атаки. Оскільки β тупий ($> 90^\circ$), це створює значне вертикальне зусилля вниз, що і забезпечує ущільнення.

Згідно з агровимогами раціональним буде такий підбір параметра $q_{\text{уц}}$, при якому створюється тиск, що дорівнює 0,05 – 0,1 МПа, при таких значеннях забезпечується капілярний підйом вологи до насіння, але не створюється надмірного тягового опору R_n .

Сила тяги п'яти сошника F_T , є горизонтальною складовою реакції ґрунту, що виникає в процесі формування насінневого ложа. На відміну від носка, який розрізає ґрунт, п'ята працює в режимі змину та ущільнення. Оскільки п'ята рухається в борозні, вже відкритій носком, то її основне завдання, це ущільнити дно на глибину h_1 . Опір R_n виникає через необхідність подолати опір ґрунту стисненню $q_{\text{уц}}$ та сили тертя робочої поверхні об ґрунт. Для комбінованого наральника з тупим кутом атаки β , сила тяги п'яти F_T визначається наступним чином:

$$F_T = F_B \cdot \text{tg}(\beta - 90^\circ + \phi), \quad (8)$$

де F_B – вертикальне навантаження, яке діє на сошник (від пружини або ваги).

Таким чином, для зменшення значень тягового опору п'яти R_n необхідно:

дотримання умови ($\beta - 90^\circ < \phi$), що дозволяє уникнути нагортання ґрунту перед п'ятою (ефект валка) і забезпечує плавне ковзання з ущільненням;

дотримання високої якості робочих поверхонь оскільки зменшення ϕ безпосередньо знижує тяговий опір;

вибір правильної ширини п'яти наральника сошника, ширина п'яти b_2 повинна бути мінімально достатньою для розміщення насіння, щоб не створювати зайвого опору.

Розрахуємо складову опору тертя по щоках R_{yt} . Опір тертя виникає на бічних поверхнях щік сошника, які утримують стінки борозни від осипання ґрунту. Завдяки конструктивному рішенню ($B > b_1$), бічний тиск p_{yt} суттєво зменшується, тоді:

$$R_{yt} = 2 \cdot f \cdot p_{yt} \cdot S_{yt}, \quad (9)$$

де S_{yt} – ефективна площа контакту щік з ґрунтом.

Для визначення динамічної складової тягового опору R_v , необхідно враховувати енергію, що витрачається на відкидання частинок ґрунту вбік при високих швидкостях руху V_c :

$$R_v = \rho \cdot B \cdot h \cdot V_c^2 \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right). \quad (10)$$

Параметр ρ характеризує масу ґрунту, яку сошник змушений переміщувати щосекунди.

Об'єднавши всі складові, отримуємо залежність для визначення тягового опору удосконаленого сошника:

$$R_z = \left[k \cdot B \cdot h \cdot \frac{\sin(\alpha + \phi)}{\cos(\phi)} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right] + [q_{yt} \cdot b_2 \cdot h_1 \cdot \text{tg}(\beta - \phi)] + [2 \cdot f \cdot p_{yt} \cdot S_{yt}] + \left[\rho \cdot B \cdot h \cdot V^2 \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \right]. \quad (11)$$

На основі проведеного теоретичного аналізу та розробки математичної моделі взаємодії удосконаленого сошника з ґрунтом, можна сказати, що:

розділення функцій наральника на дві спеціалізовані зони гострий клиновий носок для розрізання та початку формування борозни та п'яту із тупим кутом входження в ґрунт для формування насінневого ложа дозволяє оптимізувати енерговитрати. Оскільки п'ята рухається у вже розпушеній борозні, загальний тяговий опір R_z знижується порівняно з суцільними конструкціями, при цьому забезпечується якісне формування насінневого ложа;

встановлено, що критично важливим параметром є перевищення ширини носка над товщиною сошника на 10%, це створює технологічний зазор між стінками борозни та щоками сошника, що суттєво мінімізує опір тертя R_{yt} і запобігає заклинюванню робочого органу в переущільнених або вологих шарах ґрунту;

для забезпечення ефекту самоочищення та стабільної глибини ходу, кути атаки носка α і γ повинні бути гострими і меншими за кут тертя ґрунту об сталь ($\phi \approx 28 - 30^\circ$). Водночас, використання тупого кута атаки п'яти β є раціональним для створення необхідного нормального тиску $q_{\text{нп}}$ на дно борозни, що гарантує капілярне підняття вологи до насіння;

запропонована математична модель (зал. 11) дає змогу теоретично розрахувати необхідне тягове зусилля залежно від типу ґрунту (через показники k та $q_{\text{нп}}$) та швидкості руху V_c . Це дозволяє ще на етапі проектування підбирати параметри сошника так, щоб забезпечити мінімальну енергоємність посіву при дотриманні агротехнічних вимог до підготовки насінневого ложа.

З метою отримання раціональних параметрів робочих поверхонь удосконаленого наральника сошника просапної сівалки необхідно провести графічне дослідження отриманих залежностей.

На (рис. 10) наведена графічна залежність впливу кута атаки клинового носка на його тяговий опір. Як видно із графіка зі збільшенням кута атаки носка наральника сошника α його тяговий опір зростає нелінійно для всіх режимів швидкості на яких працює сошник. При цьому, підвищення швидкості призводить до паралельного зсуву кривих вгору, а при $\alpha > 35^\circ$ спостерігається різке зростання опору через збільшення нормального тиску ґрунту на поверхні носка.

Таким чином, можна сказати, що діапазон раціональних значень кута атаки носка наральника сошника α буде лежати в межах $\alpha = 20...30^\circ$, в цьому діапазоні значень кута атаки забезпечується мінімальний опір різанню при стабільній глибині ходу сошника, що збігається з дослідженням¹⁸.

Оскільки п'ята наральника сошника працює на ущільнення стінок і насінневого ложа то необхідно знати раціональні кути її атаки та діапазон навантажень, який буде сприяти забезпеченню якісного виконання утворення борозни.

На рис. 11 наведена залежність впливу кута атаки п'яти на її тяговий опір при різних навантаженнях. Аналіз наведеної залежності показав, що зі збільшенням величини кута атаки п'яти β тяговий опір п'яти лінійно зростає. Це пояснюється переходом режиму роботи від ущільнення з ковзанням до режиму нагортання. Раціональними параметрами для п'яти можна вважати поєднання кута атаки $\beta = 105...115^\circ$, та навантаження на сошник в діапазоні $Q = 350...450H$.

¹⁸ Artemenko, D., S. Leshchenko, V. Onopa, V. Majara, and V. Deikun. 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>

Оскільки на тягові характеристики має вплив щільність ґрунту та швидкість руху сошника то необхідно визначити, яка швидкість буде найбільш прийнятною для роботи на всьому діапазоні щільності ґрунту, яка може зустрічатись під час посіву.

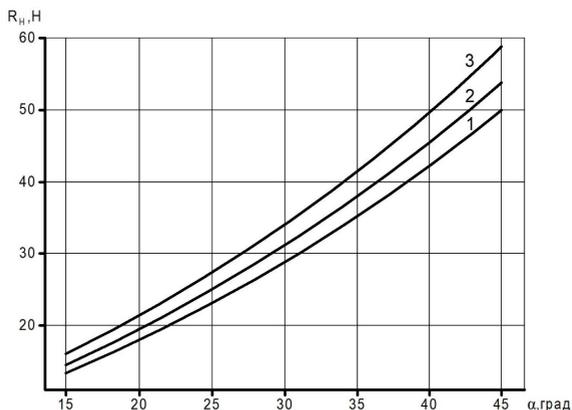


Рис. 10. Вплив кута атаки клинового носка на його тяговий опір при $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$ та $W = 20\%$: 1 – $V_c = 1,5 \text{ м/с}$; 2 – $V_c = 2,0 \text{ м/с}$; 3 – $V_c = 2,5 \text{ м/с}$

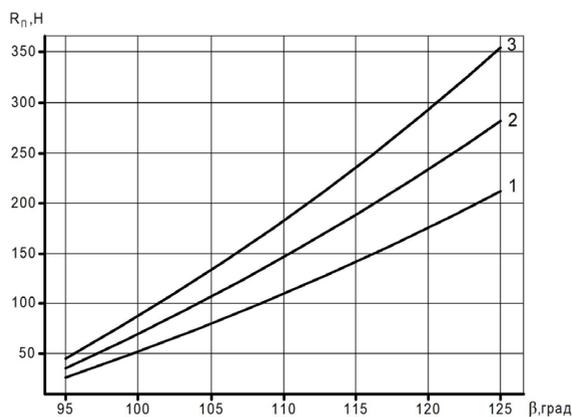


Рис. 11. Вплив кута атаки п'яти на її тяговий опір при навантаженні: 1 – $Q = 300 \text{ Н}$; 2 – $Q = 400 \text{ Н}$; 3 – $Q = 500 \text{ Н}$

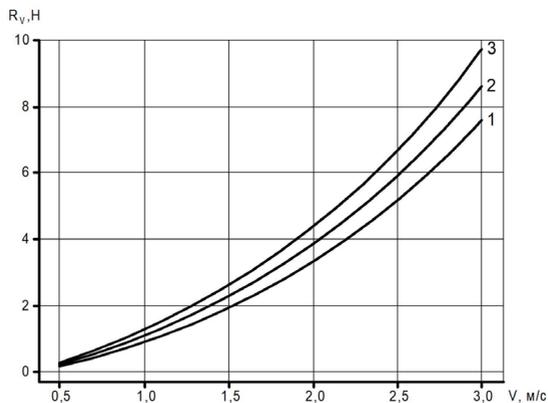


Рис. 12. Вплив швидкості руху сошника на його динамічний опір при щільності ґрунту: 1 – $\rho = 0,7 \text{ г/см}^3$; 2 – $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$; 3 – $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$

На рис. 12 наведена залежність впливу швидкості руху сошника на його динамічний опір при зміні щільності ґрунту. Як видно, динамічний опір зростає квадратично зі швидкістю руху. При $V_c < 1,5 \text{ м/с}$ його частка незначна, а при $V_c > 2,5 \text{ м/с}$ динамічний опір стає співрозмірним з опором різанню. Тому раціональний діапазон швидкості бажано тримати в межах $V_c = 1,5 \dots 2,2 \text{ м/с}$.

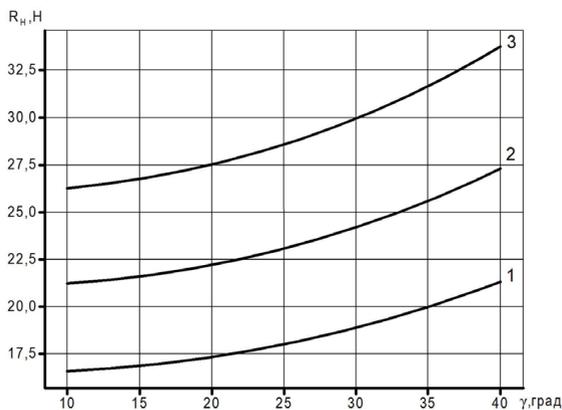


Рис. 13. Вплив кута розхилу носка наральника на його тяговий при: 1 – $\alpha = 20^\circ$; 2 – $\alpha = 25^\circ$; 3 – $\alpha = 30^\circ$

На рис. 13 наведена залежність впливу кута розхилу носка наральника γ на його тяговий опір. Аналіз наведених графіків показав, що зі збільшенням кута розхилу γ зростає площа контакту носка з ґрунтом та зменшується тертя щік за рахунок розсування ґрунту, але при $\gamma > 35^\circ$ приріст опору перевищує позитивний ефект розвантаження щік. Таким чином можна сказати, що раціональним діапазоном кута розхилу носка в горизонтальній площині буде значення $\gamma = 20...30^\circ$.

На рис. 14 наведена залежність зміни тягового опору від швидкості руху сошника у порівнянні із серійним сошником. Отримані залежності виконані з використанням раціональних параметрів робочих елементів удосконаленого наральника сошника, які були встановлені вище.

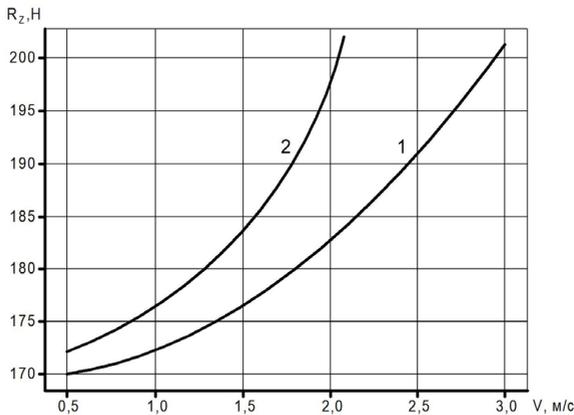


Рис. 14. Залежність зміни тягового опору від швидкості руху сошника у порівнянні із серійним сошником: 1 – удосконалений сошник; 2 – серійний сошник

При аналізі отриманих залежностей можна бачити, що обидві криві мають нелінійний зростаючий характер, що обумовлено підвищенням динамічної складової тягового опору зі збільшенням швидкості руху. На малих швидкостях $V_c \approx 0,5 \text{ м/с}$, різниця між експериментальним і серійним сошниками незначна та становить близько 5%, оскільки динамічні ефекти практично не проявляються. При діапазоні робочих швидкостей $V_c = 1,5...2,2 \text{ м/с}$ перевищення тягового опору серійного сошника зростає до 8 – 15%, що пов'язано з більшими силами тертя по бічних поверхнях сошника, відсутністю розвантаження щік та менш раціональною геометрією носка. При швидкості руху V_c понад

2,5 м/с, перевищення тягового опору серійного сошника досягає 18 %, що пояснюється різким зростанням динамічного опору та погіршенням умов самоочищення робочих поверхонь. Отриманий графік показує, що ефективність удосконаленої конструкції сошника зростає зі збільшенням швидкості руху, а зниження тягового опору у порівнянні з серійним сошником становить 5...15% в залежності від швидкості руху сошника. Це свідчить про те, що запропонована конструкція удосконаленого сошника є особливо ефективною в умовах інтенсивних режимів роботи, характерних для сучасних просапних сівалок. Однак, для визначення кінцевих, оптимальних параметрів запропонованого сошника необхідне проведення додаткових експериментальних лабораторно-польових досліджень за методикою повного факторного випробування.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз конструкції та умов роботи наральникового сошника просапної сівалки показав, що величина тягового опору суттєво залежить від геометричних параметрів його робочих частин, кутів їх встановлення, ширини робочих елементів та режимів роботи. Встановлено, що нераціональний вибір цих параметрів призводить до зростання опору різанню, тертя по бокових поверхнях та динамічної складової опору, що негативно впливає на енергоємність процесу сівки.

2. На основі розробленої математичної моделі сумарного тягового опору сошника, яка враховує опір різанню ґрунту, тертя по щоках, динамічний опір та вплив вертикального навантаження, встановлено нелінійний характер зміни тягового опору зі зростанням швидкості руху. При цьому, теоретично доведено, що ефективність удосконаленої конструкції сошника зростає зі збільшенням швидкості, що особливо важливо для сучасних умов посіву.

3. Аналіз впливу ширини носка наральника сошника показав, що зі збільшенням даного параметра сумарний тяговий опір буде зростати внаслідок збільшення площі контакту з ґрунтом та об'єму деформованого шару. Разом з тим встановлено, що прийнята при вихідному проектуванні конструкції носка наральника ширина яка склала $1,1b_1$, є раціональною та забезпечує компроміс між мінімізацією тягового опору, стійкістю ходу сошника та якістю формування борозни.

4. Дослідження впливу кутів атаки носка та п'яти сошника показали, що збільшення кута розхилу носка в горизонтальній площині сприяє покращенню умов самоочищення та стабілізації руху, однак його надмірне збільшення призводить до зростання бічних сил і як наслідок тягового опору. Встановлено, що зміна кута задньої частини носка безпосередньо

впливає на величину сил тертя та деформації ґрунту, а отже на загальний тяговий опір сошника.

5. Порівняльний аналіз експериментального та серійного сошників показав, що удосконалена конструкція може забезпечити зменшення сумарного тягового опору в середньому на 5 – 18 % залежно від швидкості руху. Це підтверджує доцільність запропонованих конструктивних рішень та свідчить про їх енергоефективність і перспективність для впровадження у серійні просапні сівалки, після додаткових експериментальних випробувань.

АНОТАЦІЯ

В даній роботі розглядається актуальна проблема зниження енергоємності процесу посіву шляхом удосконалення конструкції сошника просапної сівалки. Проведено аналіз конструктивних особливостей серійних сошників і встановлено основні фактори, які визначають величину їх тягового опору. Запропонований удосконалений сошник із зменшеним тяговим опором комбінованої конструкції. Розроблено математичну модель тягового опору удосконаленого сошника з урахуванням опору різанню, тертя, динамічних складових та впливу швидкості руху. На основі моделювання побудовано залежності тягового опору від геометричних параметрів робочих елементів. Обґрунтовані раціональні параметри наральника сошника, які забезпечують зниження енергетичних витрат при збереженні агротехнічної якості сівби. Виконано порівняльну оцінку серійної та удосконаленої конструкцій. Встановлено можливість зменшення тягового опору на 5 – 18% залежно від режимів роботи. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованих конструктивних рішень та можуть бути використані при проектуванні та модернізації просапних сівалок.

Література

1. Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Ковбаса В.П. Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 55, 2025. С. 121 – 133. URL: <https://zbirniksgm.kntu.kr.ua/pdf/55/13.pdf>
2. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. С. 141 – 142. URL: <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>
3. Artemenko D., Onopa V. Experimental researches of a precision seed drills coulter equipped with a disk seedbed former. Загальнодержавний

міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 49, 2019. С. 10-18. URL: http://zborniksgm.kntu.kr.ua/eng/archive/49/49_Artemenko_eng.html

4. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов; за ред. В.Ю. Ільченко. К.: Урожай, 1993. 288 с.

5. 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

6. KVERNELAND. Monopill – Mechanische Einzelkornsämaschine. Präzise Vereinzlung – nicht nur bei Rüben. Kverneland Group Deutschland GmbH, 2017. 16p. URL: <https://www.kverneland.de/Saetechnik/Einzelkornsämaschinen/Kverneland-Monopill-Monopill-e-drive-II>

7. MONOSEM. The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2018. 24p. URL: <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4>

8. Prospect of the GASPARDO Company. 2017. SP Range. Pneumatic precision seed drills. Italy. URL: <https://www.maschio.com/assets/Uploads/Leaflet-SP-RANGE-17-2017-09-W00230043R-EN.pdf>

9. Operating manual. AMAZONE. Precision airplanter. AMAZONENWERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany, 2017. 224p. URL: <http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf>

10. Prospect of the Kuhn Company. 2015. Planter 3. Precision seed drills. Kuhn farm machinery (UK). URL: <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html>

11. Product Catalog. Technology in harmony with the nature. Elvorti – Chervona zirka. Ukraine, 2016. 20p. URL: https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf

12. Патент України № 136252. Артеменко Д.Ю., Мажара В.А., Дарієнко В.В., Пукалов В.В., Ахмадієва В.Ю. Сошник. МПК А01С7/20 (2006.01). № u201902037/UA; Заявл. 28.02.2019; Опубл. 12.08.2019; Бюл. № 15. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1373323/>

13. Патент України № 133540. Артеменко Д.Ю., Свірєнь М.О., Онопа В.А., Комар Я.М. Сошник. МПК А01С7/20 (2006.01). № u201811332/UA; Заявл. 19.11.2018; Опубл. 10.04.2019; Бюл. № 7. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1344841/>

14. Патент України № 150808. Артеменко Д.Ю., Шепілова Т.П., Мажара В.А., Нестеренко О.В., Богатирьов Д.В., Онопа В.А.. Сошник. МПК А01С 5/06, А01С 7/20 (2006.01). № u202106879/UA; Заявл. 02.12.2021; Опубл. 20.04.2022; Бюл. № 16. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1686437/>

15. Патент України № 159673. Цимбал А.Г., Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Онопа В.А., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Сошник. МПК А01С 7/20 (2006.01). № u202401264/UA; Заявл. 11.03.2024; Опубл. 26.06.2025, Бюл.№ 26. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1862713/>

16. Патент України № 161657. Артеменко Д.Ю., Онопа В.А., Лузан П.Г., Муленко К.А. Сошник. МПК А01С 7/20 (2006.01). № u202501031/UA; Заявл. 11.03.2024; Опубл. 25.12.2025, Бюл.№ 52. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1891976/>

17. Костюченко М.М. Механіка ґрунтів: навчальний посібник/ М.М. Костюченко. Інтернетресурс Київського університету. [geol.univ@kiev.ua](http://www.geol.univ.kiev.ua/). 116с. [Електронний ресурс]. URL: http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/mehanika_gruntiv.pdf

18. Artemenko, D., S. Leshchenko, V. Onopa, V. Majara, and V. Deikun. 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>

Information about the author:

Artemenko Dmytro Yuriiovich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Agricultural Engineering Department,
Central Ukrainian National Technical University,
8, University ave., Kropyvnytskyi, 25030, Ukraine