

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

**«Модернізація та обґрунтування параметрів насіннєвого сошника
просапної сівалки»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Гарькавий Володимир
Володимирович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро АРТЕМЕНКО

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Іван СКРИННІК

« _____ » _____ 2026 р.

Анотація

У роботі розглянуте питання удосконалення конструкції сошника просапної сівалки з метою покращення процесу утворення борозни та створення сприятливих умов для розміщення і загортання насіння. Обґрунтовано доцільність використання нових елементів наральника сошника, які відповідають за утворення борозни та формування умов для розміщення і загортання насіння, що дозволяє значно зменшити тяговий опір сошника та покращити його технологічні властивості. Запропоновано нову конструкцію сошника з комбінованим наральником. Конструктивні особливості удосконаленого наральника дозволяють уникати забивання та забезпечують якісний розподіл функцій утворення борозни. На основі математичного моделювання визначено вплив геометричних параметрів елементів наральника на якість виконання технологічного процесу. Запропонована модернізована конструкція сошника сівалки Vesta 12 забезпечує покращене утворення борозни та сприяє створенню більш сприятливих умов для росту рослин просапних культур.

Abstract

The paper considers the issue of improving the design of the coulter of a row-crop seeder in order to improve the process of furrow formation and create favorable conditions for seed placement and wrapping. The feasibility of using new elements of the coulter coulter, which are responsible for furrow formation and the formation of conditions for seed placement and wrapping, is substantiated, which allows significantly reducing the traction resistance of the coulter and improving its technological properties. A new design of the coulter with a combined coulter is proposed. The design features of the improved coulter allow avoiding clogging and ensure a qualitative distribution of furrow formation functions. Based on mathematical modeling, the influence of the geometric parameters of the coulter elements on the quality of the technological process is determined. The proposed modernized design of the coulter of the Vesta 12 seeder provides improved furrow formation and contributes to the creation of more favorable conditions for the growth of row-crop plants.

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	6
3. Наукова частина.....	15
4. Практична реалізація результатів досліджень.....	39
5. Охорона праці.....	47
Висновки.....	49
Список використаної літератури.....	51

1. Вступ

Україна має розвинений аграрний сектор, у структурі якого вирощування просапних культур займає одне з провідних місць з огляду на їх високу економічну цінність та стабільний попит на аграрному ринку. Такі культури відіграють важливу роль не лише у формуванні продовольчого балансу, а і поліпшенні агрофізичних властивостей ґрунту, сприяючи збагаченню його поживними елементами та оптимізації структури в системі сівозміни. Високий рівень урожайності просапних культур значною мірою визначається дотриманням технологічної дисципліни на всіх етапах виробництва, починаючи з підготовки ґрунту і завершуючи виконанням посівних операцій.

Однією з ключових умов отримання дружних і рівномірних сходів є створення оптимального середовища для проростання насіння. Вирішальне значення при цьому має якість формування борозни та загортання насіннєвого матеріалу, оскільки саме ці чинники визначають контакт насінини з вологим ґрунтом і швидкість початкового росту рослин [1-3]. Сучасні сівалки оснащуються наральниковими сошниками, які формують борозну і одночасно сприяють загортанню насіння тому їх конструкції безпосередньо впливають на умови розвитку сходів. Удосконалення геометрії та конструкції сошника дає змогу підвищити точність укладання насіння за глибиною та покращити якість його загортання [4]. У зв'язку з цим розробка і модернізація конструкцій сошників є актуальним науково-технічним завданням, спрямованим на зростання врожайності просапних культур.

У межах даної роботи проведено аналіз існуючих конструктивних рішень які використовуються на сучасних сошниках просапних сівалок та запропоновано модернізований варіант сошника для просапної сівалки Vesta 12. Основною метою запропонованих змін є вдосконалення процесу утворення і формування борозни, а також її насіннєвого ложа та оптимізація розміщення насіння по глибині, що має забезпечити підвищення рівномірності та інтенсивності проростання.

2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень

Vesta 12 [5, універсальна пневматична сівалка, яка призначена для точного висіву каліброваного, дражованого та звичайного насіння цукрових, столових і кормових буряків із одночасним локальним внесенням гранульованих мінеральних добрив в зону рядка.

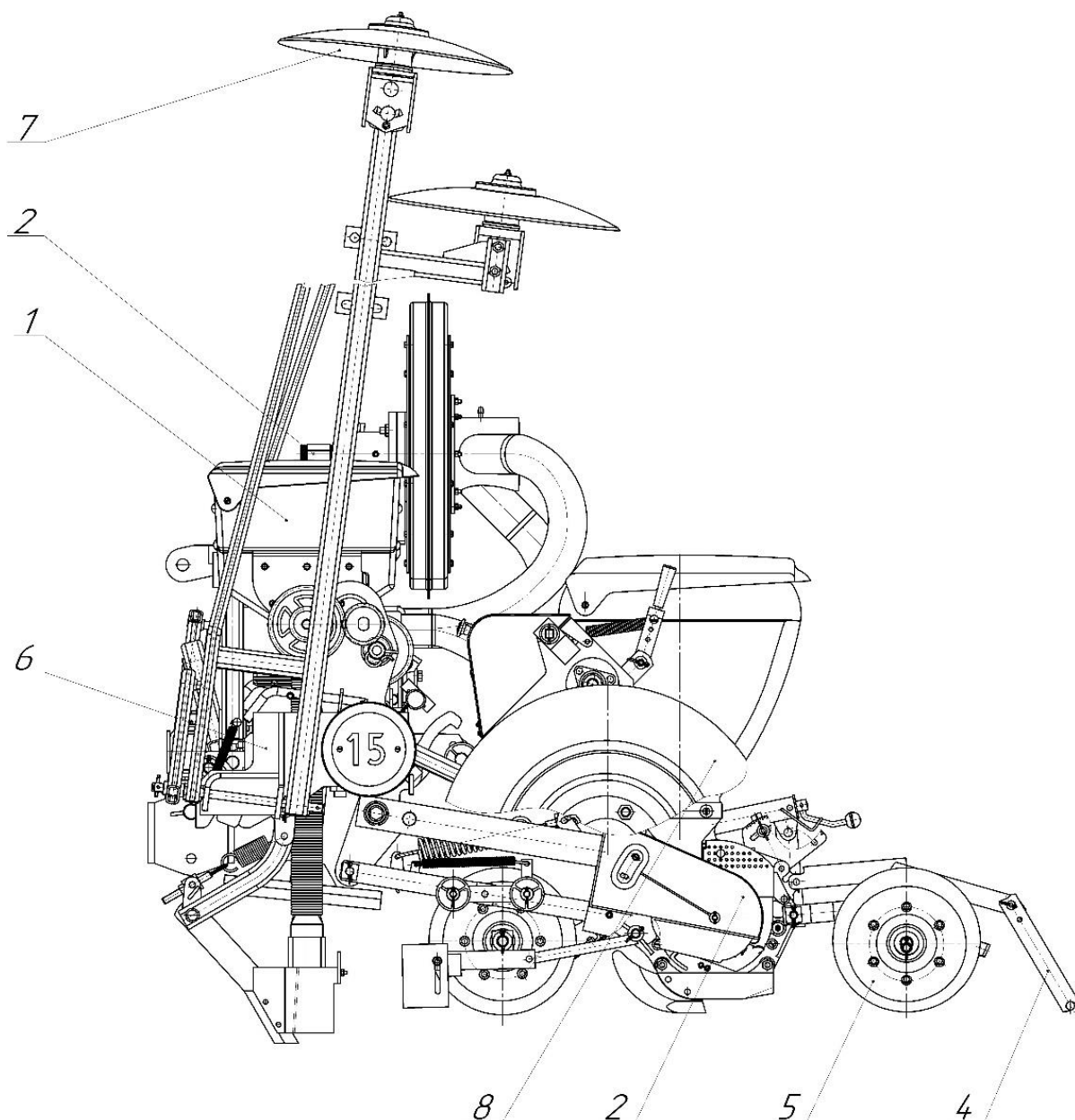


Рис. 2.1 Схема систем, що входять до складу сівалки Vesta 12:

1 – система внесення добрив; 2 – система висіву насіння; 3 – пневматична система живлення; 4 – механізм загортання; 5 – механізм прикочування; 6 – несуча рама; 7 – система маркерів; 8 – опорно-привідні колеса

Конструктивно сівалка Vesta 12 (рис. 2.1) складається з системи внесення добрив 1, системи висіву насіння 2, пневматичної системи живлення 3, механізмів загортання 4 та прикочування 5, несучої рами 6, маркерної системи 7 і опорно-приводних коліс 8. Узгоджена робота цих вузлів забезпечує стабільне виконання технологічного процесу посіву.

Принцип дії сівалки полягає в приводі насінневих і туковисівних апаратів від опорно-приводних коліс через систему передач, тоді як розрідження в камері пневматичного висівного апарата створюється відцентровим вентилятором, що приводиться в дію від валу відбору потужності трактора. Насіння фіксується на отворах диска в зоні вакууму, транспортується до точки висіву та після переходу в зону атмосферного тиску відокремлюється і під дією сили тяжіння падає у сформовану сошником борозну. Надлишкове насіння відсіюється спеціальним елементом, що забезпечує однозерновий висів. Перед проходом сошника ґрунт вирівнюється та ущільнюється переднім прикочуючим котком, який оснащений грудковідвідником. Після укладання насіння загортальні елементи сошника закривають борозну, а V-подібний коток ущільнює ґрунт з боків від насінини, залишаючи поверхневий шар розпушеним. Завершальне вирівнювання мікрорельєфу поля здійснюється трубчастим шлейфом. Добрива подаються з бункера шнековими механізмами до тукового сошника, де вносяться в ґрунт на заданій глибині та відстані від насіння.

Посівна секція є основною складовою сівалки Vesta 12, а в її конструкцію входять необхідні для посіву робочі органи (рис. 2.2). Секція має балансирну підвіску, а навантаження на котках і сошнику формується через систему важелів, дію на які здійснюють пружинні механізми. Висівний апарат пневматичного типу і він забезпечує точний висів насіння в борозну.

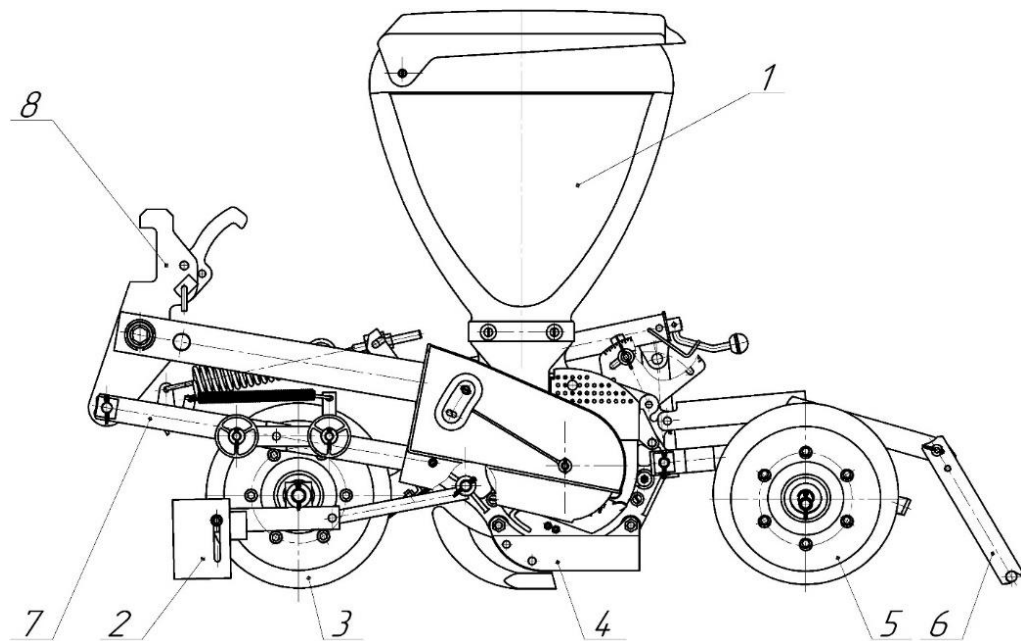


Рис. 2.2 Посівна секція сівалки Vesta 12:

1 – апарат висівний; 2 – відвідник грудок; 3 – передній коток; 4 – сошник; 5 – задній коток; 6 – трубчастий шлейф; 7 – підвіска; 8 – механізм навіски

Основним функціональним елементом посівної секції є насіннєвий сошник, призначений для формування борозни та точного розміщення насіння на її дні. Конструктивно він складається з наральника з тупим кутом входження в ґрунт і задньої ущільнювальної частини у вигляді п'яти, обмеженої щокими. Наральник забезпечує розрізання ґрунтового шару, тоді як п'ята ущільнює стінки борозни, формуючи насіннєве ложе. Після виходу сошника ґрунт осипається, прикриваючи насіння.

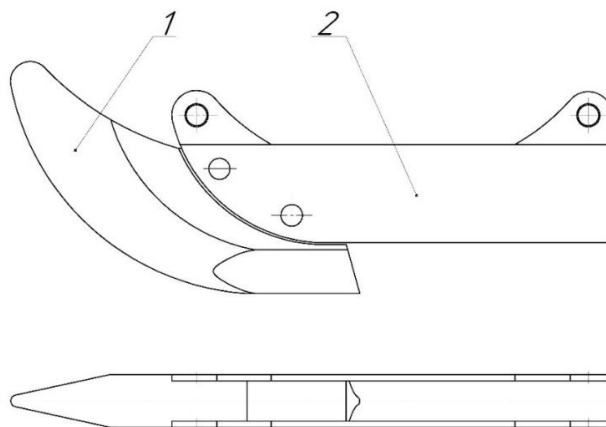


Рис. 2.3 Сошник Vesta 12:

1 – наральник; 2 – щоки

До переваг наральникового сошника Vesta 12 належать висока точність розміщення насіння, можливість роботи на підвищених швидкостях та відносна конструктивна простота, що знижує вартість виготовлення і спрощує технічне обслуговування. Водночас даний тип сошника має низку недоліків, серед яких потреба в регулярному регулюванні глибини ходу, обмежена універсальність щодо різних культур, чутливість до вологості та засміченості ґрунту, а також особливості формування борозни, за яких ґрунт не відводиться вбік, а розсувається, що може призводити до неоднорідного загортання насіння шарами різної вологості.

2.1 Передумови отримання високих врожаїв

Аналіз технології посіву просапних культур свідчить, що реалізація потенціалу сучасних гібридів значною мірою залежить від якості виконання агротехнічних операцій. Особливо важливою є передпосівна підготовка ґрунту, яка забезпечує стабільність руху агрегату, точність глибини загортання та збереження вологи. Недотримання технологічних вимог на цьому етапі часто призводить до порушення процесу сівби і втрат посівного матеріалу. Передпосівний обробіток включає розпушення, вирівнювання та ущільнення ґрунту з метою створення оптимальних умов для роботи сошників.

Посів розпочинають за досягнення ґрунтом необхідної температури, використовуючи переважно сівалки точного висіву з міжряддями 45–60 см. Дотримання оптимальних строків сівби, своєчасне боронування та комплексний підхід до догляду за посівами є критичними чинниками формування врожаю.

Для реалізації потенціалу насіння та забезпечення нормального росту рослин необхідно створити систему взаємопов'язаних агротехнічних умов, яка включає якісну підготовку насіннєвого матеріалу, належний обробіток ґрунту, точне виконання операції сівби та ефективний догляд за посівами у післяпосівний період. Польова схожість при цьому визначається

рівномірністю появи і розвитку рослин як у межах окремих рядків, так і на всій площі живлення. Запізнення сходів призводить до ослаблення рослин, створює сприятливі умови для розвитку бур'янів і, як наслідок, зумовлює зниження врожайності. У свою чергу, одночасна та рівномірна поява сходів істотно спрощує виконання доглядових операцій і підвищує ефективність процесу збирання врожаю [6-8].

2.2 Визначення напрямку модернізації просапної сівалки

Для можливості визначення напрямку модернізації сівалки необхідно провести аналіз особливостей найбільш розповсюджених в Україні зразків.

Так, сівалка Planter 3 виробництва компанії Kuhn [9], належить до пневматичних машин точного висіву та призначена для сівби широкого переліку просапних культур. Її конструктивною особливістю є модульний принцип побудови, який забезпечує можливість адаптації агрегату до різних ґрунтово-кліматичних умов і виробничих вимог (рис. 2.4).



Рис. 2.4 Секція сівалки Kuhn

В комплектацію сівалки входять три типи сошників (рис. 2.5): полозковий, наральниковий та комбінований, призначений для роботи спільно з розрізаючим диском.



Рис. 2.5 Полозковий і наральникові сошники Kuhn

Полозковий сошник забезпечує формування глибокої борозни, що є доцільним для культур із підвищеними вимогами до глибини загортання, однак на нерівних поверхнях ґрунту він характеризується зниженням точності висіву. Наральниковий сошник, навпаки, відзначається високою стабільністю підтримання заданої глибини на добре підготовлених ґрунтах і особливо ефективний під час сівби буряків, проте потребує ретельної передпосівної підготовки поля. Комбінований сошник з розрізаючим диском придатний для роботи в умовах значної кількості рослинних решток і демонструє стабільну роботу на однорідних ґрунтах, однак на нерівному рельєфі може поступатися за точністю та вимагає точного регулювання переднього і заднього копіювальних котків.

Сівалка Меса V4 від Monosem [10] належить до механічних машин точного висіву та призначена для сівби широкого спектра просапних культур, зокрема буряків, соняшнику, ріпаку та інших (рис. 2.6). Агрегат виконаний за модульною схемою, що дає змогу гнучко налаштовувати його під різні культури та умови експлуатації. У конструкції використовується механічна система дозування, яка забезпечує рівномірне розміщення насіння вздовж рядка відповідно до заданої норми висіву.

Контроль глибини загортання реалізований за допомогою переднього котка у поєднанні з балансирним механізмом, що дозволяє стабільно підтримувати робочу глибину під час руху агрегату. Формування борозни здійснюється наральниковим сошником із тупим кутом входження в ґрунт, який забезпечує надійне укладання насіння на добре підготовленому полі.



Рис. 2.6 Меса V4 від Monosem

До основних переваг сівалки належать ефективна та точна механічна система висіву, конструктивна простота і надійність, а також висока універсальність щодо набору культур, які можуть висіватися. Водночас до недоліків слід віднести обмеженість вибору робочих органів, оскільки використовується лише один тип сошника з відносно невисокою універсальністю, а також меншу точність механічного приводу висівних апаратів порівняно з сучасними електричними системами.

Німецька фірма Amazone, пропонує сівалку Amazone ED [11], яка є високоточним пневматичним агрегатом, призначеним для сіви основних просапних культур, зокрема соняшнику, сої, буряків та кукурудзи, з дотриманням заданої схеми розміщення насіння (рис. 2.7). Конструктивно машина виконана за модульним принципом, що забезпечує її пристосованість до різних агротехнічних умов і специфіки культур. У складі сівалки застосовується система точного висіву, яка гарантує рівномірне розташування насіння в рядку та стабільне дотримання глибини загортання.

Amazone ED може комплектуватися різними типами робочих органів, зокрема дисковими та анкерними сошниками, а також прикочувальними

котками різних конструкцій, що дозволяє оптимізувати роботу агрегату залежно від стану ґрунту.



Рис. 2.7 Просапна сівалка Amazone ED

Контроль і моніторинг процесу посіву здійснюється за допомогою сучасних електронних систем AmaCheck, AmaDrill+ та інтерфейсу ISOBUS. Крім того, сівалка може працювати у складі комбінованих агрегатів разом із культиваторами, боронами або машинами для внесення мінеральних добрив, що підвищує її технологічну ефективність.

До основних переваг Amazone ED належать висока точність висіву, значна універсальність щодо асортименту просапних культур, гнучкість налаштувань завдяки модульній будові, а також застосування електронної системи ISOBUS, яка забезпечує високий рівень контролю та керування процесом сівби. Додатковою перевагою є можливість суміщення посіву з одночасним внесенням добрив. Разом із тим, сівалка має і певні недоліки: високу вартість, характерну для машин преміум-класу; підвищену складність налаштування та обслуговування, що потребує залучення кваліфікованого

персоналу; залежність від електронних компонентів, відмова яких може призвести до порушення технологічного процесу; а також відносно просту і недостатньо досконалу конструкцію сошників, попри можливість їх різних конфігурацій.

Порівняльний аналіз сучасних просапних сівалок, представлених на українському ринку, показує, що різні виробники застосовують широкий спектр технологічних схем для розміщення і загортання насіння. Використання змінних робочих органів дає змогу адаптувати процес до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. При цьому для ущільнення борозни і рівномірного розміщення насіння застосовують клиноподібні наральники, передсошникові котки або подовжені щоки, які запобігають осипанню ґрунту до моменту висіву.

Контакт насіння з ґрунтом забезпечується шляхом його покриття вологим шаром та локального ущільнення. Розрізняють ущільнення по поверхні борозни та безпосередньо навколо насінини. Кожен із підходів має свої переваги і обмеження, зокрема щодо налипання ґрунту в умовах підвищеної вологості. Провідні виробники комплектують свої сівалки різними типами котків і загортачів, що розширює можливості адаптації посівної технології.

Таким чином, сошник виступає ключовим елементом посівної системи, від конструкції якого безпосередньо залежить якість виконання агротехнічних вимог. Аналіз еволюції його конструкцій, оцінка переваг і недоліків окремих рішень та пошук шляхів удосконалення є необхідною передумовою підвищення ефективності посіву.

Основне призначення сошника полягає у формуванні борозни з оптимальним насіннєвим ложем, точному укладанні насіння та рівномірному загортанні ґрунтом. Ефективність цих процесів визначається умовами водо, повітря та теплообміну в зоні розміщення насіння, а отже щільністю ґрунту. Надмірне розпушення погіршує збереження вологи, тоді як надмірне

ущільнення обмежує доступ кисню, що потребує пошуку компромісних конструктивних рішень.

Агротехнічні вимоги до сошників передбачають створення оптимальної щільності насіннєвого ложа, щільне прилягання ґрунту до насіння, наявність пухкого шару над ним, стабільність глибини висіву та рівномірність розміщення насіння в рядку. Водночас існуючі конструкції часто не забезпечують повного виконання цих вимог через нестабільність глибини, обсіпання стінок борозни, недостатню адаптивність до різних ґрунтових умов і налипання ґрунту.

У зв'язку з цим перспективними напрямками подальших досліджень є оптимізація геометрії робочих органів, використання нових матеріалів і покриттів, впровадження адаптивних систем регулювання та модульних конструктивних рішень. Модернізація сошника, як базового елемента посівної секції є визначальним чинником підвищення ефективності технологій вирощування просапних культур і формування сприятливих стартових умов для розвитку рослин.

3. Наукова частина

Актуальність теми. Для аграрного виробництва України стабільне та ефективне вирощування просапних культур є одним із базових чинників забезпечення продовольчої безпеки і розвитку сільськогосподарської галузі. Цукрові буряки, соя, соняшник та інші культури цієї групи займають значну частку в посівних площах і формують суттєву складову експортних надходжень аграрної продукції. Високий рівень економічної віддачі у поєднанні зі сталим попитом на внутрішньому та міжнародному ринках зумовлює постійне зростання інтересу до їх вирощування. Водночас просапні культури відіграють важливу роль у системах землеробства, оскільки є ключовою ланкою раціональної сівозміни, сприяють збереженню та відновленню родючості ґрунтів, а також покращують їх фізичний стан. Рівень урожайності цих культур значною мірою визначається якістю виконання

посівних операцій, що безпосередньо залежить від конструктивних і технологічних характеристик сошника. Саме тому удосконалення та модернізація конструкцій сошників розглядаються, як один із пріоритетних шляхів підвищення ефективності вирощування просапних культур.

Мета і задачі дослідження. Метою досліджень є підвищення ефективності роботи насінневого сошника просапної сівалки шляхом вдосконалення наральника та обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

Для досягнення мети поставлено наступні **задачі:**

провести аналіз існуючих конструкцій наральникових сошників, з'ясувати недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

дослідити процес роботи наральника сошника просапної сівалки, обґрунтувати його конструктивні елементи та визначити їх вплив на технологічний процес утворення борозни;

визначити технологічну ефективність нового робочого органу.

Об'єкт дослідження: технологічний процес роботи насінневого сошника просапної сівалки та елементів його наральника.

Предмет дослідження: конструктивно-технологічні параметри елементів наральника насінневого сошника просапної сівалки та технологічні властивості ґрунту, які впливають на їх роботу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

визначено закономірності впливу робочих поверхонь елементів наральника сошника просапної сівалки на процес утворення борозни, а також обґрунтовані раціональні значення цих параметрів;

досліджено зміну фізичних властивостей ґрунту під час утворення борозни та встановлено, як конструктивні особливості елементів наральника сошника впливають на якість виконання технологічного процесу;

аналітичним шляхом визначено раціональні параметри робочих поверхонь елементів наральника сошника, які сприяють покращенню якості

утворення борозни та підвищенню ефективності функціонування сошника в цілому.

3.1 Аналіз існуючих конструкцій наральникових сошників

Для обґрунтування конструктивних параметрів нового сошника просапної сівалки потрібно проаналізувати існуючі технічні рішення та елементи сошників, що забезпечують процес формування борозни. На українському ринку посівної техніки широко представлені вироби провідних світових компаній, зокрема Amazone, Kuhn, Gaspardo, та інших, а вітчизняний сегмент формують такі виробники, як Elvorti, Фаворит та інші. Усі зазначені компанії виготовляють техніку для висіву просапних культур, тому першочергово необхідно розглянути конструктивні особливості серійних заводських сошників.

Сошник фірми Amazone (рис. 3.1) має ступінчасту будову наральника з чітко виділеним носком, що входить у ґрунт під тупим кутом і винесений уперед відносно п'яти. Саме п'ята відповідає за формування насінневого ложа та стінок борозни, що дозволяє розмежувати етапи розкриття і остаточного формування борозни. Корпус наральника оснащений посиленими ребрами жорсткості, що свідчить про можливість роботи на різних глибинах загортання [11].

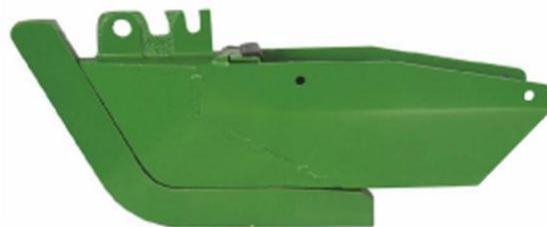


Рис. 3.1 Сошник конструкції Amazon

Основною перевагою цієї конструкції є висока якість підготовки ложа: носок відкриває борозну, а п'ята ущільнює її дно, забезпечуючи надійний

контакт насіння з ґрунтом. Разом із тим складність конструкції та збільшення ширини задньої частини наральника зумовлюють підвищений тяговий опір і значну масу сошника, що може призводити до зміщення центра мас посівної секції.

Сошник виробництва Elvorti (рис. 3.2) має класичну килевидну форму з наральником великого радіуса кривизни і традиційно застосовується у сівалках для класичної технології обробітку ґрунту. Довга ріжуча кромка забезпечує рівномірний розподіл зносу, а перехід від носка до п'яти виконаний плавно. Щоки інтегровані в поверхню наральника і не виступають за неї, що усуває різкі перепади товщини між робочими поверхнями. Перевагами є простота виготовлення, невисока вартість і добра робота у вологих умовах завдяки меншій схильності до налипання ґрунту [5].



Рис. 3.2 Сошник конструкції Elvorti

Разом із тим значна довжина і висота сошника можуть негативно впливати на тягові характеристики агрегату та сприяти виносу вологого ґрунту на поверхню, що прискорює його висихання. Крім того, на переущільнених ділянках такий сошник гірше утримує задану глибину.

Наральник сошника компанії Gaspardo (рис. 3.3) характеризується параболічною формою робочої поверхні з поступовим зростанням кута атаки у нижній зоні. Значна висота робочого органу сприяє м'якому заглибленню в ґрунт і мінімальному порушенню структури його верхнього шару. Клиноподібна нижня частина формує п'яту, яка створює насіннєве ложе, зменшуючи об'єм ґрунту, що відкидається в боки, та сприяючи ущільненню стінок борозни [12].



Рис. 3.3 Сошник конструкції Gaspardo

Перевагою такого рішення є низька енергоємність процесу борозноутворення і якісне ущільнення дна борозни за рахунок маси секції без додаткового навантаження. Водночас недоліком є недостатній захист борозни від осипання сухого верхнього шару ґрунту, оскільки сошник майже не відводить його вбік. За умов недостатньої підготовки ґрунту можливі вібрації сошника та потреба у додатковому навантаженні.

Сошник компанії Kuhn (рис. 3.4) відрізняється агресивною клиноподібною формою як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах. Він має різко вигнутий носок і широку п'яту, яка в задній частині піднята вгору. Така геометрія орієнтована на інтенсивне витіснення ґрунту із зони висіву, тоді як насіннєве ложе формується невеликою ділянкою на переході носка в п'яту. Для підвищення зносостійкості поверхня наральника піддається спеціальній термічній обробці в зонах найбільшого тертя [9].



Рис. 3.4 Сошник конструкції Kuhn

Основною перевагою є здатність утворювати широку і чисту борозну навіть за складних умов. Водночас значна ширина наральника зумовлює високий тяговий опір і, відповідно, збільшену витрату палива. На легких піщаних ґрунтах така конструкція надмірно розкидає ґрунт, що може погіршувати рівномірність загортання.

Узагальнюючи аналіз розглянутих конструкцій, можна відзначити, що більшість моделей, характеризуються підвищеним лобовим опором через форму передньої частини наральника. Це спричиняє інтенсивне зминання ґрунту перед сошником, утворення передсошникового валика та надмірне ущільнення стінок борозни, що може негативно впливати на розвиток кореневої системи рослин. Конструкції з короткими наральниками або складною внутрішньою геометрією схильні до налипання вологого ґрунту і забивання пожнивними рештками, що порушує технологічний процес і вимагає частих зупинок для очищення. Сошники великої довжини або з параболічною формою без чітко вираженого опорного носка демонструють нестабільність глибини на твердих чи нерівномірно ущільнених ґрунтах, особливо за підвищених швидкостей руху, що призводить до нерівномірного розміщення насіння і неоднорідних сходів. Окрім того, в окремих конструкціях недостатньо захищене дно борозни від осипання сухого верхнього шару ґрунту до моменту потрапляння насіння, що погіршує його контакт із вологим горизонтом і є критичним у посушливих умовах.

Питання вдосконалення класичних сошників просапних сівалок активно розглядається сучасними дослідниками, тому доцільно також проаналізувати запропоновані ними конструктивні рішення.

В роботі [13] запропоновано конструкцію сошника (рис. 3.5), що оснащена комбінованим клиноподібним наральником. Його верхня, більш габаритна частина має гострий кут проникнення в ґрунт, тоді як нижня частина разом із задньою п'ятою виконана з тупим кутом входження. Характерною особливістю є те, що в горизонтальній площині ріжучі кромки наральника зорієнтовані під кутом, меншим за кут тертя ґрунту по сталі. Запропонована

геометрія забезпечує активне розсікання ґрунтового шару вертикальною кромкою та одночасне формування ущільненого дна борозни.

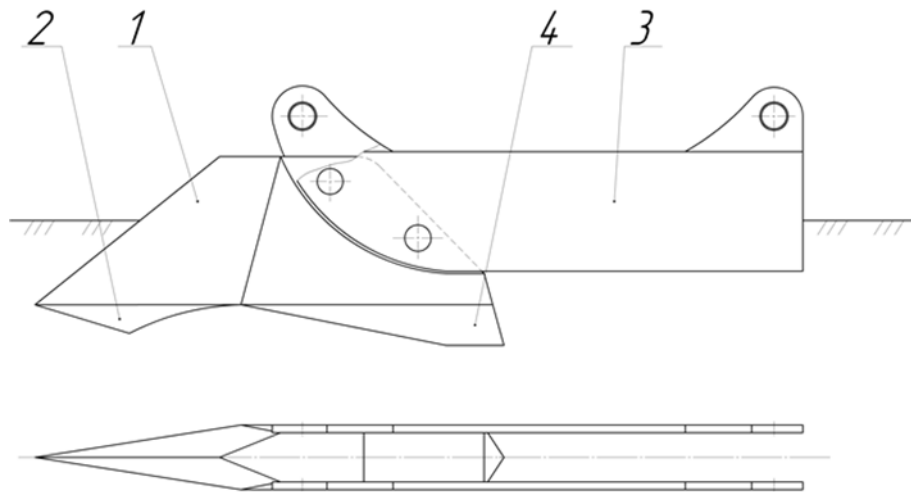


Рис. 3.5 Конструкція сошника по патенту UA 133540:

1 – верхня частина носка; 2 – нижня частина носка; 3 – щоки; 4 – п’ята

До основних переваг даної конструкції належить усунення утворення передсошникового ґрунтового пагорба, оскільки загострена верхня частина ефективно відводить ґрунт в боки від зони формування борозни. Застосування гострого кута у верхній зоні наральника знижує опір руху сошника, тоді як тупий кут п’яти забезпечує стабільне ущільнення насіннєвого ложа на заданій глибині. Завдяки раціональному вибору кутів атаки сошник характеризується підвищеною здатністю до самоочищення від рослинних решток і налиплого вологого ґрунту.

Разом з тим, до недоліків конструкції слід віднести підвищений знос нижньої частини наральника з тупим кутом входження, яка сприймає основні навантаження під час ущільнення дна борозни. Крім того, відсутність вираженого плоского опорного носка підвищує залежність стабільності глибини ходу сошника від роботи копіювальних коліс секції, особливо на нерівному рельєфі. Наявність гострої вертикальної кромки також може спричиняти чутливість до бічних відхилень при контакті з твердими перешкодами, такими як коріння або каміння.

З метою зниження негативного впливу верхнього, переважно сухого шару ґрунту на якість виконання посівних операцій Цимбалом А.Г. [14] запропоновано конструкцію сошника з комбінованим наральником (рис. 3.6), у якій поєднано робочі поверхні різної форми та функціонального призначення. Верхня частина наральника виконана у вигляді похилого двогранного клина з гострим кутом заглиблення в ґрунт і доповнена плоским носком у передній зоні. Нижня частина конструктивно переходить у п'яту з тупим кутом входження, що забезпечує формування насінневого ложа. При цьому ширина основи верхнього клина перевищує ширину сформованої борозни.

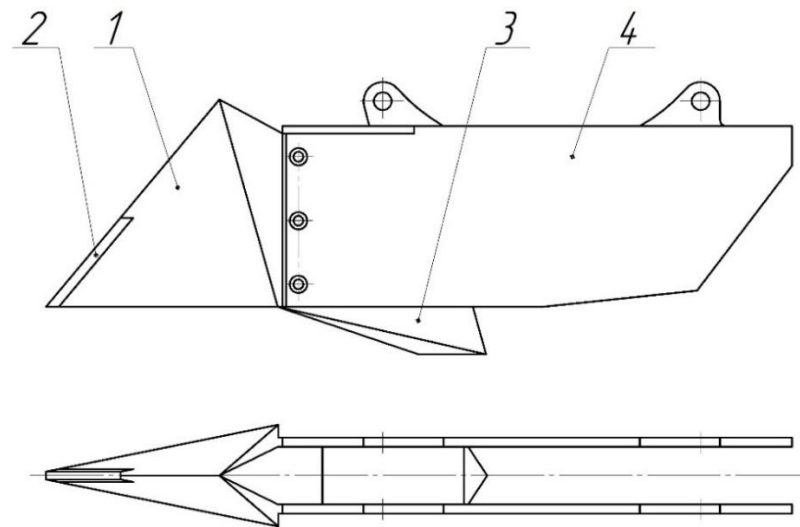


Рис. 3.6 Конструкція сошника по патенту UA 159673:

1 – клинова поверхня; 2 – носок; 3 - п'ята; 4 – щоки

Перевагою такої конструктивної схеми є ефективне розмежування ґрунтових шарів у процесі борозноутворення: клинова верхня частина наральника відводить сухий поверхневий ґрунт у боки, запобігаючи його потраплянню на дно борозни. Наявність плоского носка у поєднанні з розширеною основою сприяє стабільному витримувannya заданої глибини ходу сошника, зокрема на ущільнених ділянках поля, що позитивно впливає на рівномірність загортання насіння. Орієнтація робочих поверхонь під кутами, меншими за кут тертя ґрунту по сталі, створює умови для

самоочищення наральника та зменшення енергетичних витрат на виконання посіву. Водночас до недоліків запропонованої конструкції слід віднести ускладнення технології виготовлення комбінованого наральника порівняно з традиційними простими формами. Складна просторово-геометрична конфігурація з перехідними ділянками між плоским носком, двограним клином і п'ятою може спричиняти нерівномірний знос робочих поверхонь, особливо за умов роботи на абразивних ґрунтах. Крім того, збільшені габарити верхньої частини наральника потенційно підвищують чутливість сошника до накопичення рослинних решток на поверхні поля.

В роботі [15] представлено конструкцію сошника (рис. 3.7), в основі якої лежить застосування комбінованого наральника з чітким функціональним поділом на три робочі зони: передньо-середню, верхню та задню нижню. Передньо-середня зона, включає носок, має загострену форму з малими кутами входження як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Верхня частина, яка виконує функцію відведення ґрунту, характеризується збільшеним (приблизно вдвічі) кутом атаки, що забезпечує активне відкидання верхнього шару. Завершальною є задня зона у вигляді клинової п'яти з тупим кутом атаки. При цьому товщина елементів у передній частині конструкції вдвічі менша порівняно з товщиною п'яти, а безпосередньо за загостреним носком створено спеціальну технологічну порожнину.

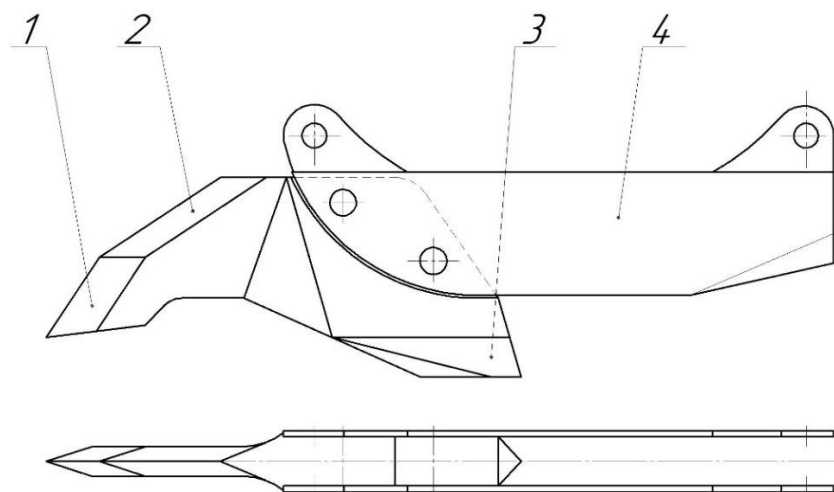


Рис. 3.7 Конструкція сошника по патенту UA 161657:

1 – комбінований носок; 2 – поверхня відкидання; 3 - п'ята; 4 – щоки

Основною перевагою запропонованого технічного рішення є забезпечення диференційованого, пошарового впливу на ґрунт. Загострений носок виконує розрізання ґрунтового пласта, тоді як верхня робоча поверхня інтенсивно відводить сухий поверхневий шар вбік, перешкоджаючи його осипанню на дно борозни. Наявність порожнини позаду носка сприяє зменшенню тягового опору сошника та знижує ймовірність налипання вологого ґрунту на п'яту, що позитивно впливає на стабільність глибини ходу і якість ущільнення насінневого ложа. Додатково ефект самоочищення забезпечується орієнтацією всіх робочих поверхонь під кутами, меншими за кут тертя ґрунту по сталі.

Водночас конструкція має низку обмежень, пов'язаних насамперед із підвищеною технологічною складністю. Різна товщина окремих елементів та наявність складних геометричних переходів у зонах сполучення робочих поверхонь істотно ускладнюють процес виготовлення та підвищують собівартість виробу. Крім того, технологічна порожнина, розташована безпосередньо за носком, за умов роботи на полях із великою кількістю рослинних решток або забур'яненістю може слугувати осередком їх накопичення, що підвищує ризик забивання сошника. Змінна товщина наральника також створює передумови для концентрації напружень у матеріалі, що знижує довговічність деталі під час роботи на важких або кам'янистих ґрунтах.

Узагальнення результатів аналізу, як серійних конструкцій провідних світових виробників, так і сучасних патентних розробок дозволяє виділити типові недоліки наральникових сошників, які доцільно класифікувати за технологічними, агротехнічними та експлуатаційними критеріями. Для більшості серійних моделей характерною проблемою залишається недостатня якість формування борозни за умов незадовільної підготовки ґрунту. Тупі кути входження призводять до інтенсивного зминання ґрунту перед сошником і формування нагорнутого валка, внаслідок чого сухий поверхневий шар потрапляє на дно борозни ще до укладання насіння. Це порушує контакт

насіння з вологим ґрунтом та негативно впливає на польову схожість. Додатково слід відзначити, що відсутність спеціальних елементів ущільнення не забезпечує необхідної щільності насіннєвого ложа.

Багатьом розглянутим конструкціям властивий підвищений питомий тяговий опір. У серійних сошниках це пов'язано переважно зі значною площею лобової частини наральника. У вдосконалених патентних рішеннях, попри використання гострих кутів атаки, можуть виникати небажані явища у вигляді підвищеного тертя або так званого «ефекту присмокування» в місцях переходу між різними робочими поверхнями. Для конструкцій із великою довжиною наральника також характерна нестабільність заглиблення на підвищених робочих швидкостях, що проявляється у тенденції до піднімання сошника.

Спільною проблемою більшості патентних удосконалених конструкцій є їх висока складність у виготовленні та експлуатації. Реалізація наральників із кількома функціональними зонами, змінною товщиною та кутами заточування, меншими за кут тертя, потребує високоточного та дорогого виробничого обладнання. Наявність порожнин і складних геометричних переходів сприяє накопиченню ґрунту та рослинних решток, а нерівномірний знос окремих зон (передусім носка і п'яти) призводить до швидкої втрати працездатності всього робочого органу.

Для імпортних серійних сошників додатковим недоліком є висока вартість експлуатації сівалок, складність налаштування електронних і механічних систем у польових умовах, а також обмежена ремонтпридатність наральників, які зазвичай виконані, як цільні деталі без можливості часткового відновлення. Вітчизняні аналоги, незважаючи на нижчу вартість, часто поступаються за зносостійкістю матеріалів, що нівелює їх економічні переваги через необхідність частих замін.

3.2 Обґрунтування модернізованої конструкції насіннєвого сошника просапної сівалки

З метою конструктивного обґрунтування вдосконаленої конструкції сошника з новим наральником, що характеризується зниженим тяговим опором, було визначено перелік основних технологічних операцій, виконання яких він повинен забезпечувати (рис. 3.8).

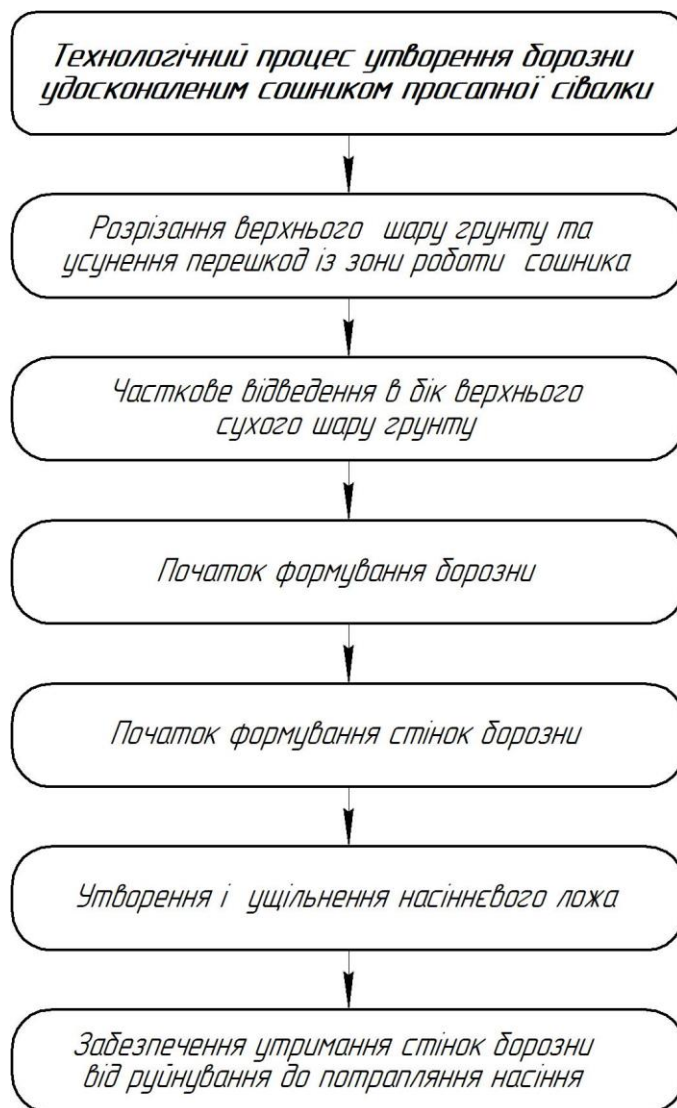


Рис. 3.8 Схема забезпечення якісного борозноутворення удосконаленим сошником просапної сівалки

Для забезпечення виконання технологічних операцій, наведених на (рис. 3.8), була спроектована удосконалена конструкція сошника просапної сівалки. Запропонований сошник оснащений комбінованим наральником, що складається з двох функціональних робочих зон. Його верхня частина

виконана у формі клиноподібного носка з прямим кутом входження в ґрунт і слугує для розкриття борозни та відведення від неї верхніх, більш сухих шарів ґрунту. Для зменшення напружень і сил тертя в нижній зоні носок має радіальне заокруглення, а кут його входження в ґрунт у горизонтальній площині в нижній частині збільшений у 1,5 рази порівняно з верхньою, що і забезпечує ефективне відведення верхніх шарів ґрунту вбік. Нижня частина наральника виконана у вигляді п'яти з тупим кутом входження в ґрунт та призначена для формування ущільненого дна і стінок борозни, а також якісного насінневого ложа. При цьому верхня і нижня частини наральника в вертикальній площині мають однакові геометричні параметри. Ширина носка перевищує товщину сошника на 10 %, нижня кромка носка має підйом у вертикальній площині, а всі робочі поверхні наральника встановлені під кутами, меншими за кут тертя ґрунту по сталі.

На (рис. 3.9) показані проекції удосконаленого сошника.

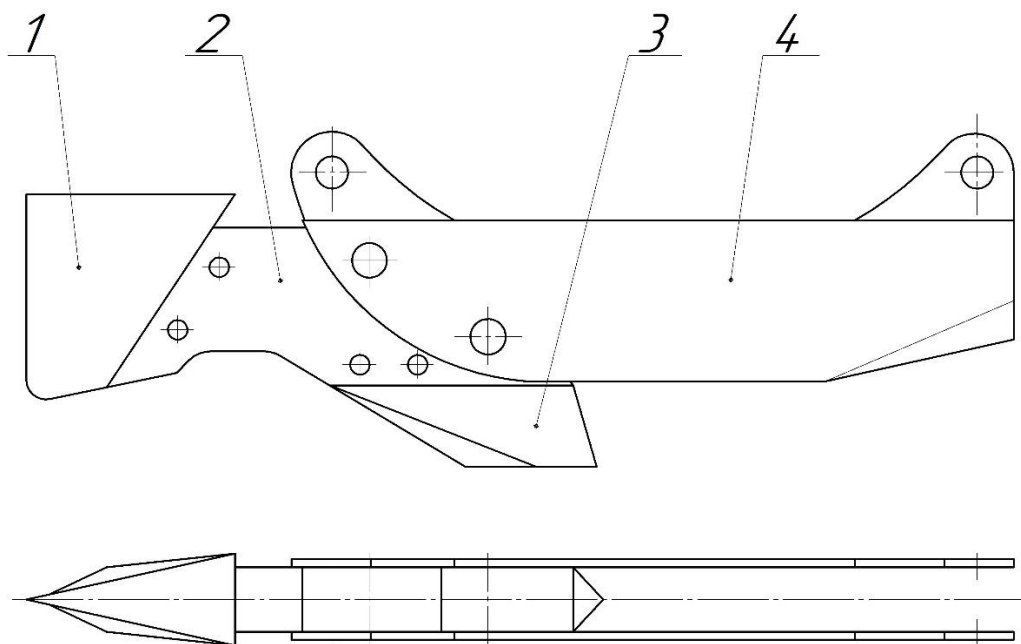


Рис. 3.9 Сошник із зменшеним тяговим опором:

1 – носок; 2 – наральник; 3 – п'ята; 4 - щоки

Запропонований сошник працює наступним чином: рухаючись на глибині посіву верхня частина наральника у вигляді клинового носка 1, який має в вертикальній площині прямий кут входження в ґрунт, розрізає його і

розсуває в боки, а частину піднімає і відводить в бік від рядка. Носок 1, за рахунок прямого кута входження в ґрунт не тільки полегшує рух сошника, а і усуває перешкоди тримаючи задану глибину ходу. За рахунок заокруглення носка та підйому в нижній частині, взаємодія носка з ґрунтом відбувається по кромкам клинової поверхні. За рахунок різних кутів розхилу поверхні носка в горизонтальній площині відбувається підняття частини ґрунту в верхню частину носка і відкидання її в бік від рядка. За рахунок того, що ширина нижньої частини носка дорівнює ширині наральника, а верхня 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 конструкції носка наральника з прямим 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 прямим кутом в ходження в ґрунт в вертикальній 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.

3.3 Розробка математичної моделі взаємодії удосконаленого сошника з ґрунтом

З метою визначення тягового опору удосконаленого 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_{Σ} , який дорівнює сумі сил опору, що виникають на кожному конструктивному елементі під час виконання технологічних операцій. Введемо позначення для всіх параметрів, що характеризують конструктивні особливості нового сошника просапної сівалки (рис. 3.10).

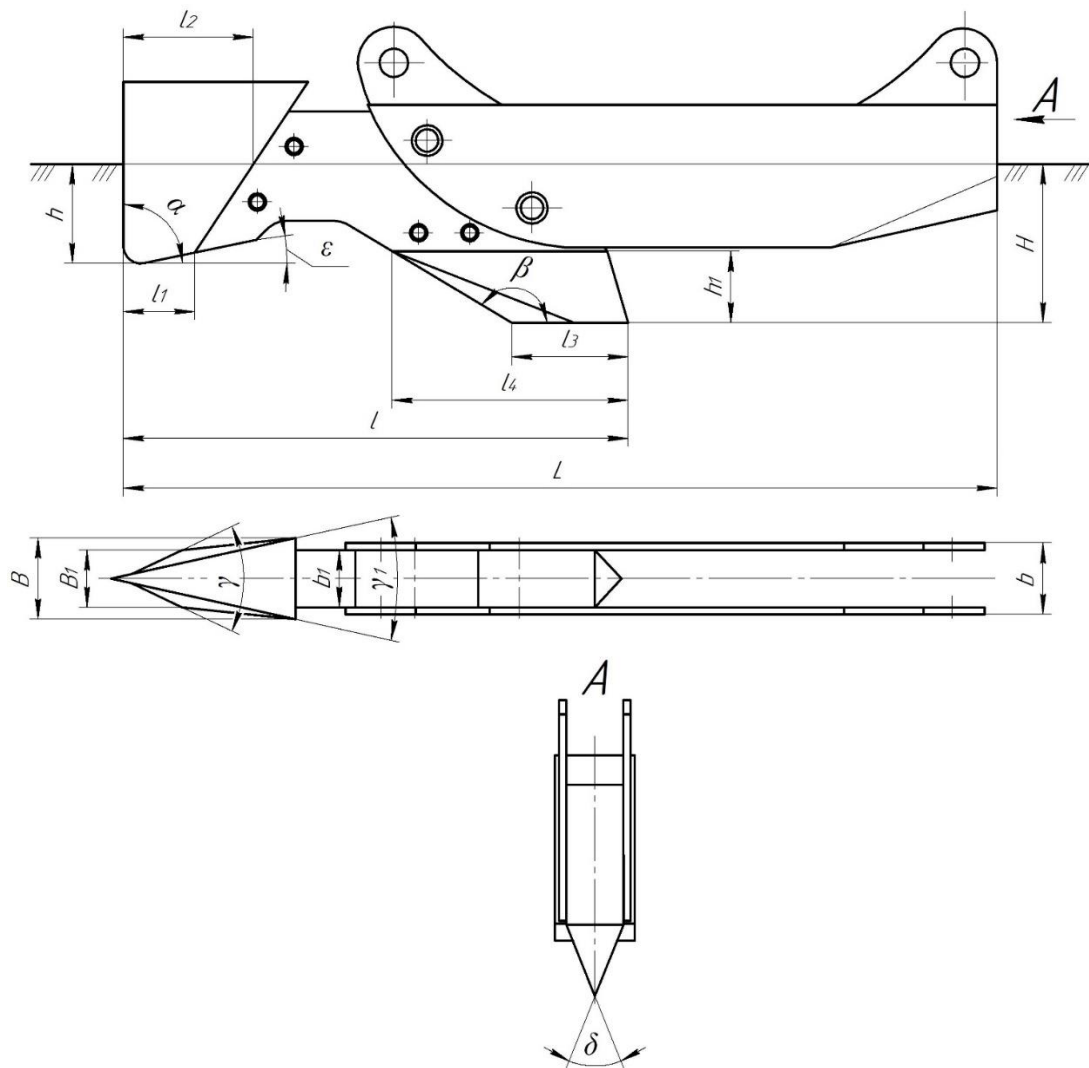


Рис. 3.10 Схема конструктивних параметрів сошника, які впливають на тяговий опір

Ключові особливості конструкції сошника, які будуть враховані в математичній моделі.

Конструктивні особливості носка наральника сошника:

основним параметром верхньої частини носка, яка призначена для відведення сухих шарів ґрунту є кут розхилу γ_1 ;

в нижній частині носка, яка призначена для руйнування основного шару ґрунту і відкриття борозни кут розхилу робочої частини в горизонтальній площині $\gamma = 1,5\gamma_1$;

кут входження носка наральника в вертикальній площині α прямий;

нижня частина носка має два ключові елементи які впливають на якісні показники роботи сошника - це радіус заокруглення нижньої частини носка R , який призначений для зменшення сил опору, які виникають в нижніх горизонтах під час розкриття борозни та кут розвантаження задньої частини носка ε , який призначений для зменшення сил тертя основи носка і покращення його тягових характеристик.

Значний вплив на тяговий опір сошника має його ширина і площа контакту робочих поверхонь із ґрунтом. Тому ширина носка B на 10% більша за товщину корпусу сошника $B = 1,1b$, що створює зону зменшеної щільності і тертя для щік та інших поверхонь наральника.

П'ята формує і ущільнює насіннєве ложе, а основним параметром є її кут входження в ґрунт β .

Використавши методику розрахунку із [16], можна визначити загальний опір запропонованого сошника, який складається з суми опорів його функціональних частин:

$$R_{\Sigma} = R_H + R_{\Pi} + R_{Щ}, \quad (1)$$

де - R_H - опір носка (руйнування, деформація, інерція ґрунту, тертя кромки);

R_{Π} - опір п'яти (формування і ущільнення насіннєвого ложа);

$R_{ш}$ - опір тертя бокових стінок (наральника та щік).

Розглянемо визначення тягового опору носка. Носок є найбільш навантаженим елементом. Оскільки кут атаки $\alpha = 90^\circ$, вертикальна складова різання відсутня, і опір формується з трьох факторів: лобового опору, бокового динамічного відкидання та тертя нижньої кромки [17].

Лобовий опір та зминання $R_{л}$ враховує зусилля на врізання вертикальної грані та зминання ґрунту радіусною частиною R .

$$R_{л} = k \cdot B \cdot h + \sigma_{зм} \cdot B \cdot R, \quad (2)$$

де k – питомий опір ґрунту (опір різанню та деформації), [Па];

B – товщина верхньої частини носка;

h – глибина руху носка, $h = h_g + h_n$;

$\sigma_{зм}$ - опір ґрунту зминанню на кромці, [Па];

R - радіус заокруглення нижньої кромки.

Питомий опір ґрунту k є узагальненим параметром, що характеризує величину зусилля, необхідного для різання та деформування ґрунтового масиву з площею поперечного перерізу 1 см^2 . При визначенні цього показника доцільно враховувати дві ключові групи чинників: фізико-механічні властивості ґрунтового середовища та конструктивно-геометричні параметри носка наральника. Величина питомого опору ґрунту k обумовлюється внутрішньою структурою ґрунту та силами взаємодії між його частинками, зокрема опором руйнуванню міжчастинкових зв'язків, протидією взаємному переміщенню ґрунтових елементів, що визначається кутом внутрішнього тертя, а також тертям ґрунту по металевій поверхні робочого органу.

Конструктивна форма робочого органу істотно впливає на зменшення значення k . Зокрема, застосування гострого кута атаки носка α полегшує його заглиблення в ґрунт у вертикальній площині, тоді як малий кут γ у горизонтальній площині сприяє ефективному розрізанню ґрунтового пласта та

відведенню його в боки. Важливу роль відіграє і ширина носка B , а оскільки вона перевищує товщину сошника, основні сили навантаження під час роботи концентруються саме на носку, що призводить до зменшення сумарного опору за рахунок зниження сил тертя на задніх поверхнях сошника.

Для клиноподібного носка наральника теоретичне значення питомого опору ґрунту k може бути визначене з використанням коефіцієнта об'ємного стиснення ґрунту та відповідних кутів нахилу робочих поверхонь:

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

де σ_0 - гранична напруга руйнування ґрунту при осьовому (прямому) стисненні визначає поріг, після якого відбувається порушення структури ґрунтового масиву;

$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)$ - параметр, що враховує вплив кута нахилу носка α та коефіцієнта тертя φ , відображає зростання необхідного зусилля взаємодії робочого органу з ґрунтом, при цьому за умови гострого кута атаки значення тангенса відповідного кута є мінімальним, що сприяє зниженню опору k ;

$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right)$ - складник описує розхил носка у горизонтальній площині, зі зменшенням кута γ питомий опір ґрунту k знижується, оскільки полегшується процес розсування ґрунтового пласта в боки.

Крім геометричних параметрів робочого органу, величина питомого опору ґрунту k суттєво залежить від швидкості поступального руху сошника V_c і, як правило, зростає зі збільшенням швидкості, що зумовлено реологічними та структурними особливостями ґрунту:

$$k_d = k + \epsilon \cdot V_c^2, \quad (4)$$

де ϵ - коефіцієнт, що враховує відкидання ґрунту та його щільність ρ .

Параметр σ_0 , що відповідає граничній напрузі руйнування ґрунту за умов прямого стиснення, належить до базових показників механіки ґрунтів і описує опір ґрунтового середовища деформації та руйнуванню [18]. Її значення визначається сукупною дією двох визначальних фізико-механічних характеристик ґрунту і може бути подане у вигляді залежності:

$$\sigma_0 = 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2}\right), \quad (5)$$

де c - питоме зчеплення ґрунту;

φ_1 - кут внутрішнього тертя ґрунту.

Залежність (5) відображає граничне значення вертикального напруження, яке ґрунтове середовище здатне сприймати за відсутності бокового підпирання, що є характерним для процесу роботи носка сошника під час його проникнення в ґрунтовий масив. Для піщаних ґрунтів, які практично не мають зчеплення між частинками ($c \approx 0$), величина σ_0 наближається до нульових значень. Натомість у глинистих ґрунтах із високим рівнем зчеплення саме параметр σ_0 визначає основну частку опору деформації та руйнуванню. Окрім цього, слід враховувати істотний вплив вологості зі зростанням якої гранична напруга руйнування ґрунту різко зменшується, причому її значення може скорочуватися у 1,5 - 2 рази порівняно з сухим станом.

Боковий та динамічний опір R_B враховує розсування ґрунту в сторони та надання йому кінетичної енергії. Оскільки носок має різні кути розхилу, розрахунок ведеться окремо для верхньої та нижньої зон.

Нижня зона (висота h_n , кут $\gamma = 1,5\gamma_1$):

$$R_{Дн} = \rho \cdot B \cdot h_n \cdot V^2 \cdot \sin^2(1,5\gamma_1), \quad (6)$$

де ρ – щільність ґрунту, [кг/м³];

V - швидкість руху сошника, [м/с];

h_n - висота нижньої робочої частини носка;

γ - кут атаки нижньої частини носка в горизонтальній площині.

$$R_{Дв} = \rho \cdot B \cdot h_g \cdot V^2 \cdot \sin^2(\gamma_1), \quad (7)$$

де γ_1 - кут атаки верхньої частини носка в горизонтальній площині;

h_g - висота верхньої робочої частини носка.

Тоді сумарна бокова складова R_B (включно зі статичним тиском):

$$R_B = p_{сер} \cdot S_{\sigma} + \rho \cdot B \cdot V^2 [h_g \cdot \sin^2(\gamma_1) + h_n \cdot \sin^2(1,5\gamma_1)], \quad (8)$$

де $p_{сер}$ - середній тиск ґрунту на бокові грані;

S_{σ} - площа робочої поверхні носка.

Також необхідно дослідити нижню частину носка де розміщені радіус заокруглення та підйом нижньої частини носка в вертикальній площині. По робочій поверхні нижньої частини носка виникає сила тертя F_H . Підняття нижньої частини носка в вертикальній площині починається від закінчення заокруглення радіусом R , створюючи зазор між підошвою носка і дном борозни, яку відкриває носок. Це виключає тертя всією площиною. Контакт відбувається лише на дугі радіуса R . Довжина контакту l_k залежить від ε - кута підйому нижньої частини носка в вертикальній площині:

$$l_k = R \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon \right). \quad (9)$$

Сила тертя нижньої частини носка:

$$F_H = f \cdot q_{\sigma} \cdot B_1 \cdot l_k = f \cdot q_{\sigma} \cdot B_1 \cdot R \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon \right), \quad (10)$$

де f коефіцієнт тертя $f = \operatorname{tg} \varphi$;

B_1 - товщина нижньої частини носка;

q_{σ} - твердість дна борозни (реакція опори).

Розглянемо визначення опору п'яти (формування і ущільнення насінневого ложа) R_{Π} . П'ята рухається слідом за носком у вже початково відкритій борозні. Її функція не різання, а ущільнення дна насінневого ложа. Опір залежить від кута входження п'яти в ґрунт β .

$$R_{\Pi} = q_{уц} \cdot b_1 \cdot l_3 \cdot \sin(\beta) + f \cdot N_{\Pi}, \quad (11)$$

де $q_{уц}$ – опір ґрунту ущільненню, [Па];

b_1 – ширина наральника, яка дорівнює ширині п'яти;

l_3 – довжина частини п'яти для утворення насінневого ложа;

β – кут атаки п'яти сошника;

N_{Π} – реакція опору ущільненню дна п'ятою.

Визначення питомого опору ґрунту процесу ущільнення $q_{уц}$ має вирішальне значення під час обґрунтування конструктивних параметрів п'яти сошника. На відміну від носка, який виконує функцію різання ґрунтового шару, п'ята працює з тупим кутом атаки β , внаслідок чого формується нормальне навантаження на дно борозни, необхідне для створення повноцінного насінневого ложа. Для теоретичних досліджень цей показник можна визначити на основі моделей об'ємного стискання ґрунту або з використанням положень теорії його граничної рівноваги.

З огляду на те, що п'ята взаємодіє з ґрунтом під тупим кутом β , розрахункове значення питомого опору $q_{уц}$ в робочій зоні значною мірою обумовлюється характером перетворення тягового зусилля у вертикальну складову тиску:

$$q_{уц} = \frac{F_T}{b_1 \cdot l_3 \cdot \operatorname{ctg} \beta}, \quad (12)$$

де F_T - сила тяги, яка діє на п'яту;

b_1 - ширина наральника, що відповідає ширині п'яти;

l_3 - робоча довжина п'яти, для формування ложа;

$\text{ctg}\beta$ - котангенс кута атаки.

Оскільки кут $\beta > 90^\circ$ є тупим, у зоні контакту виникає суттєва вертикальна складова зусилля, спрямована донизу, саме вона і забезпечує необхідний ефект ущільнення ґрунту. Відповідно до агротехнічних вимог доцільно підбирати значення параметра $q_{уц}$ таким чином, щоб створюваний тиск перебував у межах 0,05 - 0,1 МПа. За таких умов відбувається ефективне підтягування капілярної вологи до насіння, водночас не формується надлишковий тяговий опір R_{II} .

Тягове зусилля F_T п'яти сошника являє собою горизонтальну складову реакції ґрунтового середовища, яка виникає під час формування насінневого ложа. Якщо носок сошника здійснює різання ґрунту, то п'ята функціонує переважно в режимі його зминання та ущільнення. Оскільки її рух відбувається в борозні, попередньо сформованій носком, основне призначення п'яти полягає в ущільненні дна на задану глибину h_1 . Виникнення опору R_{II} зумовлене необхідністю подолання опору ґрунту стисненню $q_{уц}$, а також силами тертя між робочою поверхнею п'яти та ґрунтом. Для комбінованого наральника, що має тупий кут атаки β , величина тягової сили п'яти F_T визначається за такою залежністю:

$$F_T = F_B \cdot \text{tg}(\beta - 90^\circ + \varphi), \quad (13)$$

де F_B - вертикальне навантаження, від дії пружини або ваги.

Показник F_B не є однозначним, а більше комплексний і для його визначення необхідно розглянути природу його виникнення. Прикладене навантаження на сошник можна наближено визначити теоретично із

наступних умов. Згідно технічної документації на сівалку вага секції робочих органів складає в районі $G = 550H$. Секція має балансиру підвіску, яка спирається на два опорних котка, передній і задній. Висівний апарат внизу якого кріпиться сошник знаходиться посередині. Підвіска секції балансиру, тобто вона має важільну конструкцію, яка взаємопов'язана між собою. Навантаження на сошник може регулюватись пружиною паралелограмної підвіски в залежності від глибини і стану ґрунту. Реально, пружина навантажує всю секцію, перерозподіляючи вагу на дві опори у вигляді котків. Тому вага $G = 550H$ розподіляється на довжині 1500 мм. Тоді реальна сила на сошнику набагато менша, бо його глибина руху регулюється котками.

Якщо розглядати розподіл навантаження по секції робочих органів як силову задачу, то можна з'ясувати, що 60 – 70% цього навантаження буде зосереджене на котках і лише 30 – 40% безпосередньо на сошнику, тоді:

$$F_B = 0,35 \cdot G. \quad (14)$$

Що в перерахунку складе приблизно $F_B \approx 200H$. Таке значення сили яка прикладена на сошник і будемо використовувати у подальших розрахунках.

Зниження тягового опору п'яти R_{II} може бути досягнуте за умови виконання таких вимог. По-перше, необхідно забезпечити виконання умови $(\beta - 90^\circ < \varphi)$, за якої виключається накопичення ґрунту перед п'ятою (утворення ґрунтового валка) та створюються умови для її рівномірного ковзання з одночасним ущільненням дна борозни. По-друге, важливим є забезпечення високої якості обробки робочих поверхонь, оскільки зменшення безпосередньо призводить до зниження величини тягового опору. По-третє, ширину п'яти наральника сошника слід підбирати обґрунтовано, параметр має бути мінімально необхідним для надійного розміщення насіння, але не перевищувати цього значення, щоб уникнути виникнення додаткового опору руху.

Визначимо величину складової сили тертя по щоках $R_{щ}$. Сили тертя формуються на бічних поверхнях щік сошника, призначення яких полягає в утриманні стінок борозни від обсіпання ґрунту. Унаслідок прийнятого конструктивного рішення ($B > b_1$), бічний тиск істотно знижується, у зв'язку з чим:

$$R_{щ} = 2 \cdot f \cdot p_{ущ} \cdot S_{щ}, \quad (15)$$

де $S_{щ}$ - площа по якій відбувається контакт щік з ґрунтом.

Таким чином, об'єднавши всі розглянуті компоненти опорів удосконаленого сошника, отримуємо повне рівняння для розрахунку його тягового опору:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} = B \cdot [k \cdot h + \sigma_{з.м} \cdot R] + \rho \cdot B \cdot V^2 [h_{\epsilon} \cdot \sin^2(\gamma_1) + h_n \cdot \sin^2(1,5\gamma_1)] + \\ + f \cdot q_{\partial} \cdot B_1 \cdot R \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \epsilon \right) + q_{ущ} \cdot b_1 \cdot l_3 \cdot \sin(\beta) + \\ + f \cdot N + 2 \cdot f \cdot p_{ущ} \cdot S_{щ} \end{aligned} \quad (16)$$

Отримана математична модель теоретично обґрунтовує зниження тягового опору за рахунок трьох факторів:

зменшення площі тертя в нижній частині носка сошника, складова

$$f \cdot q_{\partial} \cdot B_1 \cdot R \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \epsilon \right)$$

показує, що завдяки куту ϵ тертя знижується в десятки разів порівняно з плоскою підошвою;

зменшення тертя щік, параметр $B = l, lb$ усуває додатковий опір виникаючий при русі в суцільному ґрунті;

диференційоване відведення ґрунту носком наральника, розділення динамічного члена на дві зони (з кутами γ та $1,5\gamma_1$) оптимізує переміщення маси ґрунту, витрачаючи менше енергії на верхній сухий шар.

4. Практична реалізація досліджень

Для отримання рекомендованих раціональних значень робочих елементів конструкції запропонованого сошника необхідно дослідити математичну модель графічно. Дані конкретних складових математичної моделі беремо із довідкової літератури [17 - 25]. На (рис. 4.1) зображена залежність впливу кута атаки носка в горизонтальній площині на його тяговий опір, при різних навантаженнях на сошник.

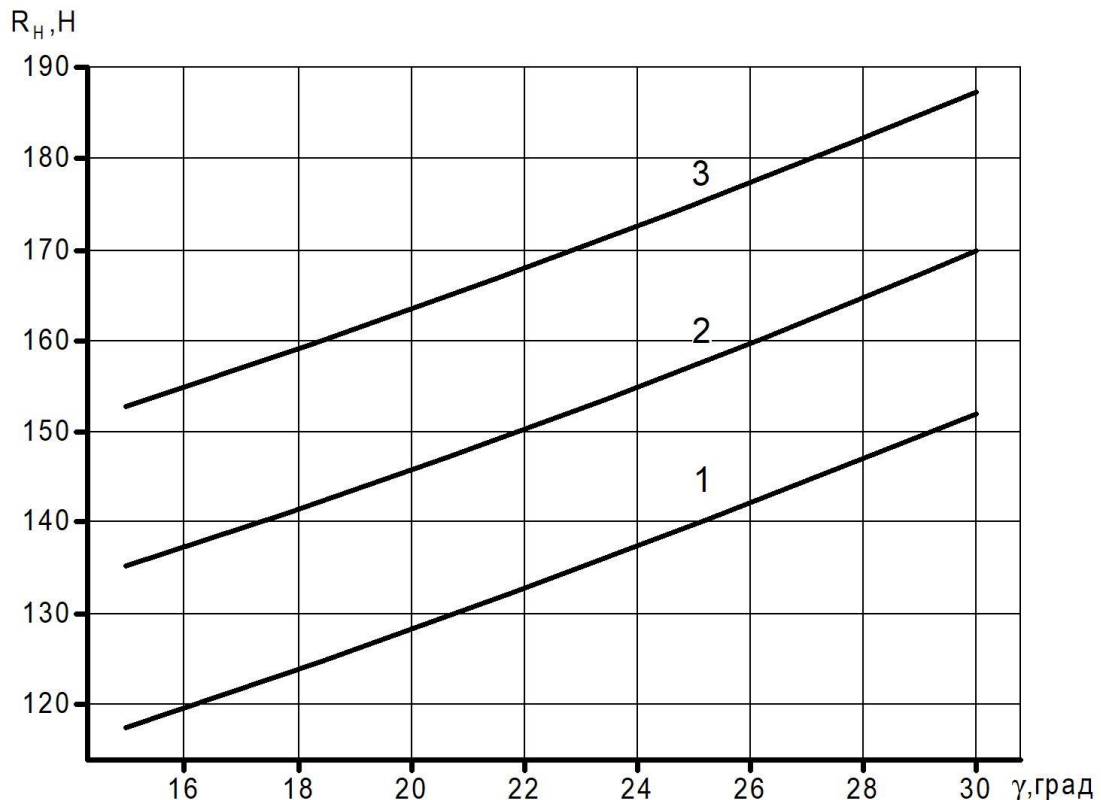


Рис.4.1 Вплив кута атаки носка в горизонтальній площині на його тяговий

опір при $W = 20\%$; $V = 2,0 \text{ м/с}$; $q_{\text{ущ}} = 0,75 \text{ мПа}$:

1 - $F_B = 150 \text{ Н}$; 2 - $F_B = 200 \text{ Н}$; 3 - $F_B = 250 \text{ Н}$

Як видно із отриманої залежності тяговий опір за таких умов формується трьома складовими: опору різанню ґрунту (практично постійний); динамічного опору ґрунту, що зростає зі збільшенням кута атаки; сили тертя, яка пропорційна вертикальному навантаженню. Для всіх трьох навантажень спостерігається майже лінійне зростання опору зі збільшенням кута атаки носка в вертикальній площині. Збільшення кута з 15° до 30° призводить до

приросту тягового опору:

$\approx +35$ Н при $F_B = 150H$;

$\approx +35 - 40$ Н при $F_B = 200H$;

$\approx +35 - 40$ Н при $F_B = 250H$.

Це свідчить, що кут розхилу носка в вертикальній площині є домінуючим фактором руйнування ґрунту, а вплив навантаження проявляється здебільшого через тертя. Раціональним є діапазон кута атаки носка в горизонтальній площині $20 - 25^\circ$, оскільки подальше його збільшення призводить до зростання тягового опору без істотного покращення процесу формування борозни.

На (рис. 4.2) наведена залежність вплив ширини носка наральника на тяговий опір сошника, при різних швидкостях руху.

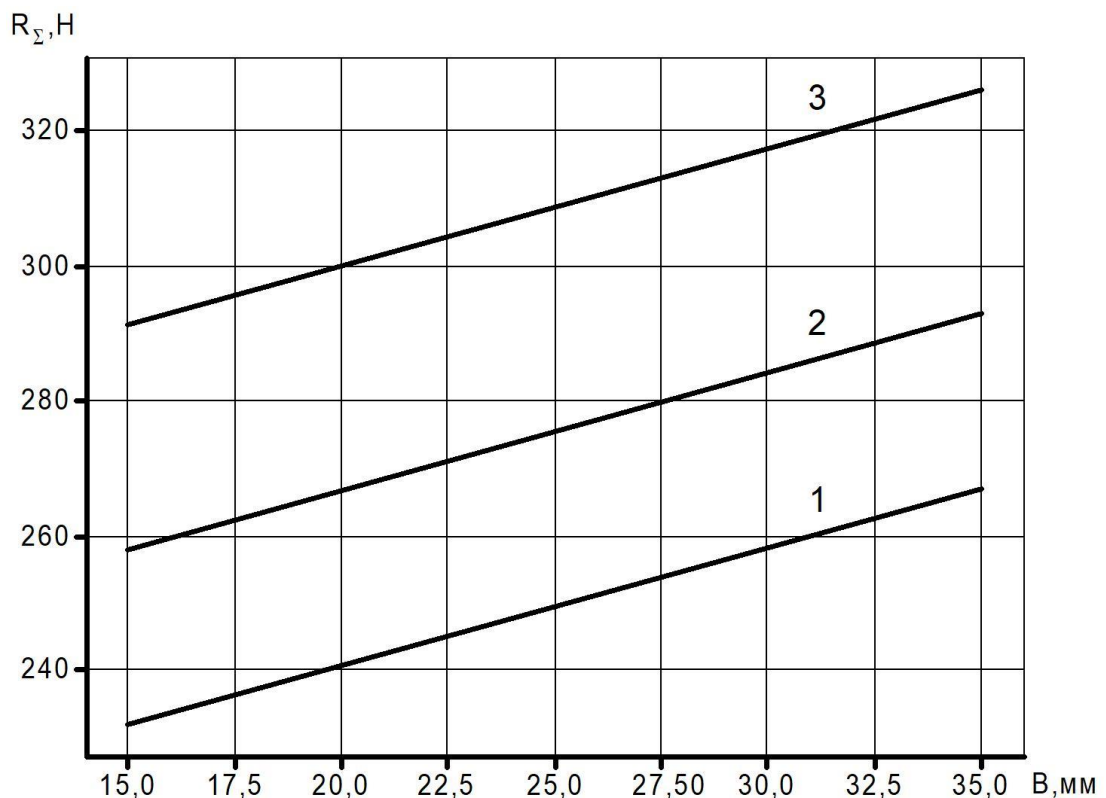


Рис. 4.2 Залежність тягового опору сошника від ширини носка наральника

при $W = 20\%$; $q_{yщ} = 0,75 мПа$; $F_B = 200H$; $\gamma = 22^\circ$; $\beta = 138^\circ$;

$\varphi = 35^\circ$: 1 - $V = 1,5 м/с$; 2 - $V = 2,0 м/с$; 3 - $V = 2,5 м/с$

Як видно з (рис. 4.2), для всіх швидкостей руху сошника спостерігається майже лінійне зростання тягового опору зі збільшенням ширини носка наральника. Це пояснюється тим, що опір різанню ґрунту прямо пропорційний площі активного різального фронту, а зі збільшенням ширини носка зростає об'єм ґрунту, який одночасно руйнується та переміщується.

Тому збільшення ширини з 15 до 35 мм призводить до зростання тягового опору приблизно на:

≈ 35 Н при швидкості 1,5 м/с;

≈ 35 - 40 Н при швидкості 2,0 м/с;

≈ 35 - 40 Н при швидкості 2,5 м/с.

Також можемо бачити, що для будь-якої фіксованої ширини носка зі збільшенням швидкості руху спостерігається паралельне зміщення кривих вгору, а форма кривих зберігається практично незмінною. Це свідчить про те, що вплив ширини носка і швидкості руху є адитивним, а швидкість визначає рівень динамічного опору, тоді як ширина носка інтенсивність різання ґрунту.

При характерній робочій швидкості 2,0 м/с можна чисельно прослідити де знаходиться критично максимальне значення ширини носка наральника сошника.

Таблиця 4.1

Порівняльні значення ширини носка і тягового опору сошника

Ширина носка, мм	Тяговий опір, Н
15	≈ 255
20	≈ 265
25	≈ 275
30	≈ 285
35	≈ 300

Видно, що мінімальний тяговий опір сошника забезпечується при вузькому носку, а надмірне збільшення ширини призводить до зростання

енергетичних витрат без пропорційного покращення процесу формування борозни.

Носок наральника є основним елементом первинного руйнування ґрунту. Його ширина визначає ширину сформованої борозни та об'єм ґрунту, що деформується в зоні різання. При оптимальних кутах атаки збільшення ширини не компенсується покращенням умов ковзання, а напряду призводить до зростання тягового опору. Рациональна ширина носка наральника для удосконаленого сошника становить 20 - 30 мм, оскільки в цьому діапазоні забезпечується формування борозни заданої ширини при мінімальному тяговому опорі в усьому робочому діапазоні швидкостей руху.

На (рис. 4.3) зображена залежність вплив кута атаки п'яти на її тяговий опір, при різних навантаженнях на сошник.

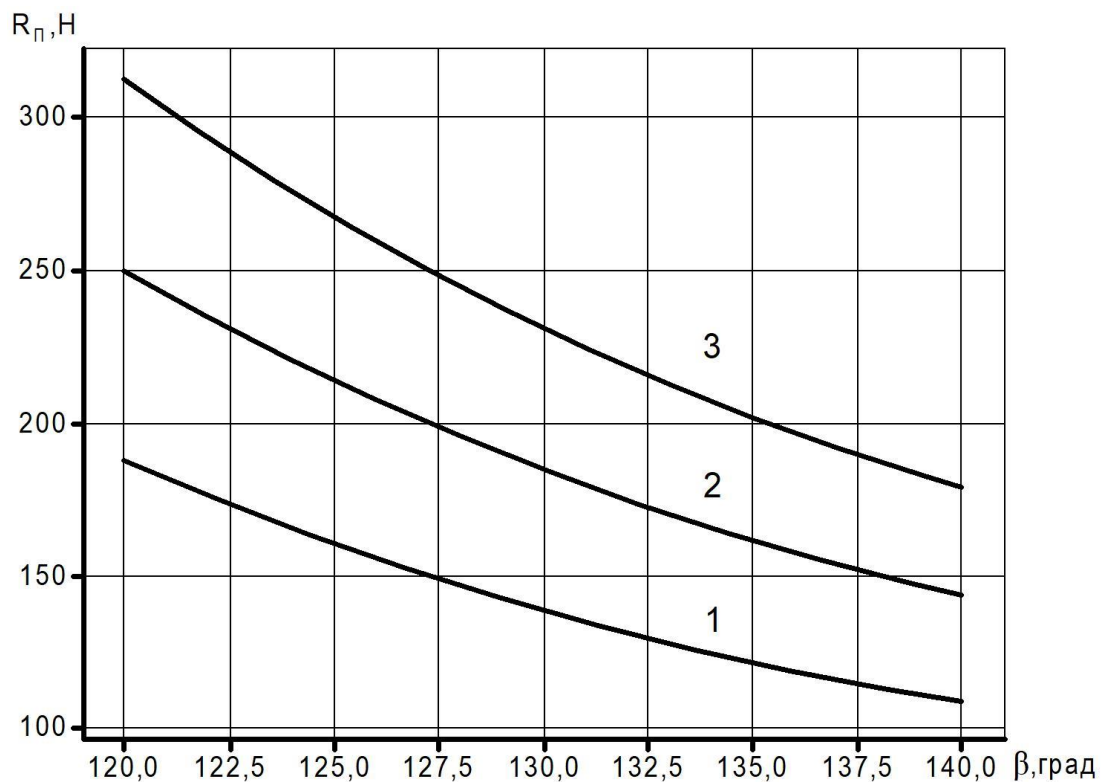


Рис. 4.3 Вплив кута атаки п'яти на її опір при $W = 20\%$; $V = 2,0 \text{ м/с}$;

$$q_{уц} = 0,75 \text{ МПа} ;$$

$$1 - F_B = 150 \text{ Н} ; 2 - F_B = 200 \text{ Н} ; 3 - F_B = 250 \text{ Н}$$

П'ята сошника працює в ущільненому та частково зруйнованому ґрунті,

а її опір формується в основному реакцією ґрунту на ковзання та тертя. Зі збільшенням кута атаки п'яти сошника нормальна складова сили зменшується, а умови ковзання покращуються. Як видно із отриманої залежності, для всіх трьох навантажень спостерігається монотонне зменшення опору п'яти зі збільшенням кута. При зміні кута з 120° до 140° опір зменшується:

на $\approx 75 - 80 \text{ Н}$ при $F_B = 150 \text{ Н}$;

на $\approx 100 \text{ Н}$ при $F_B = 200 \text{ Н}$;

на $\approx 130 \text{ Н}$ при $F_B = 250 \text{ Н}$.

Також можна спостерігати, що чим більше вертикальне навантаження, тим суттєвіший вплив геометрії п'яти. Оптимальний діапазон кута атаки п'яти становить $130 - 140^\circ$, оскільки саме в цих межах досягається мінімальний опір при стабільному контакті з ґрунтом.

На (рис. 4.4) зображена залежність сумарного тягового опору сошника при різних швидкостях руху сівалки.

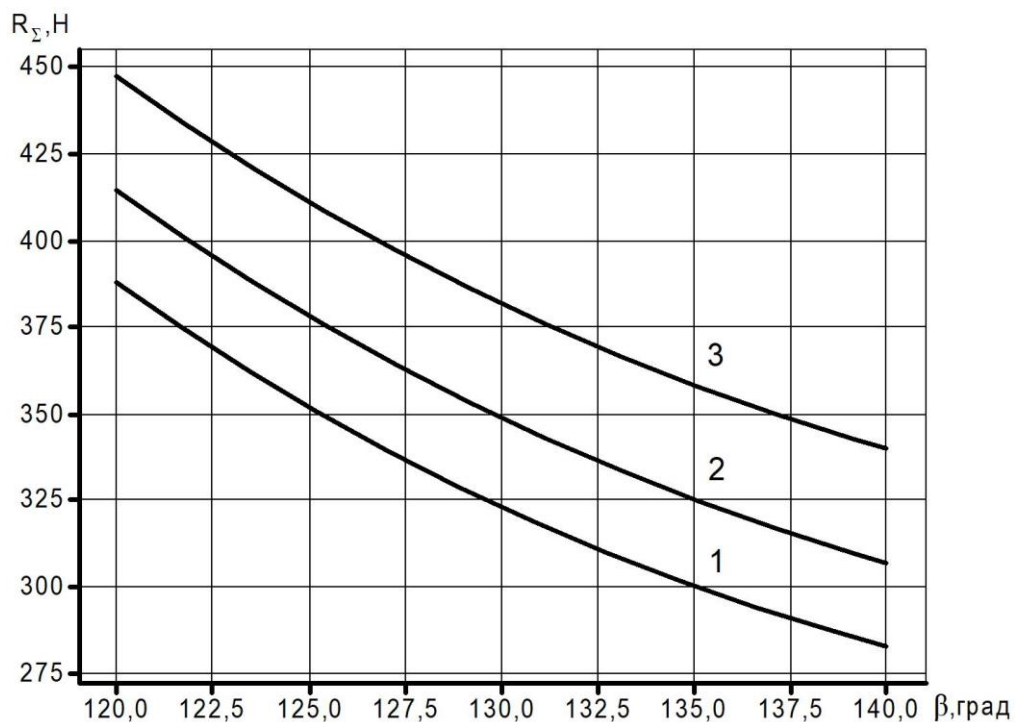


Рис. 4.4 Сумарний тяговий опір сошника в залежності від зміни кута атаки

п'яти при $W = 20\%$; $q_{yц} = 0,75 \text{ МПа}$; $F_B = 200 \text{ Н}$:

1 - $V = 1,5 \text{ м/с}$; 2 - $V = 2,0 \text{ м/с}$; 3 - $V = 2,5 \text{ м/с}$

Сумарний тяговий опір включає: різання ґрунту; динамічний опір (який квадратично залежить від швидкості); тертя; опір п'яти. Для всіх швидкостей збільшення кута атаки п'яти призводить до зниження сумарного тягового опору. Перехід від швидкості: 1,5 - 2,0 м/с підвищує опір у середньому на 30 - 35 Н; 2,0 - 2,5 м/с , ще на 30 - 40 Н. При швидкості $V = 2,0 \text{ м/с}$ і куті п'яти $130 - 135^\circ$ $R_\Sigma = 290 \text{ Н}$. Отримані результати показують, що удосконалений сошник забезпечує стабільний рівень тягового опору в робочому діапазоні швидкостей 1,5 - 2,5 м/с, що підтверджує адекватність математичної моделі та правильність вибору геометричних параметрів.

На (рис. 4.5) зображена залежність сумарного тягового опору сошника від швидкості руху при використанні знайдених раціональних параметрів його елементів у порівнянні із тяговим опором серійного сошника. В роботі [21] було показано, що тяговий опір сошника секції робочих органів із балансирною підвіскою, на глибині посіву 6 см може складати 300Н і вище, тому порівняння буде орієнтуватись саме на такі значення тягового опору.

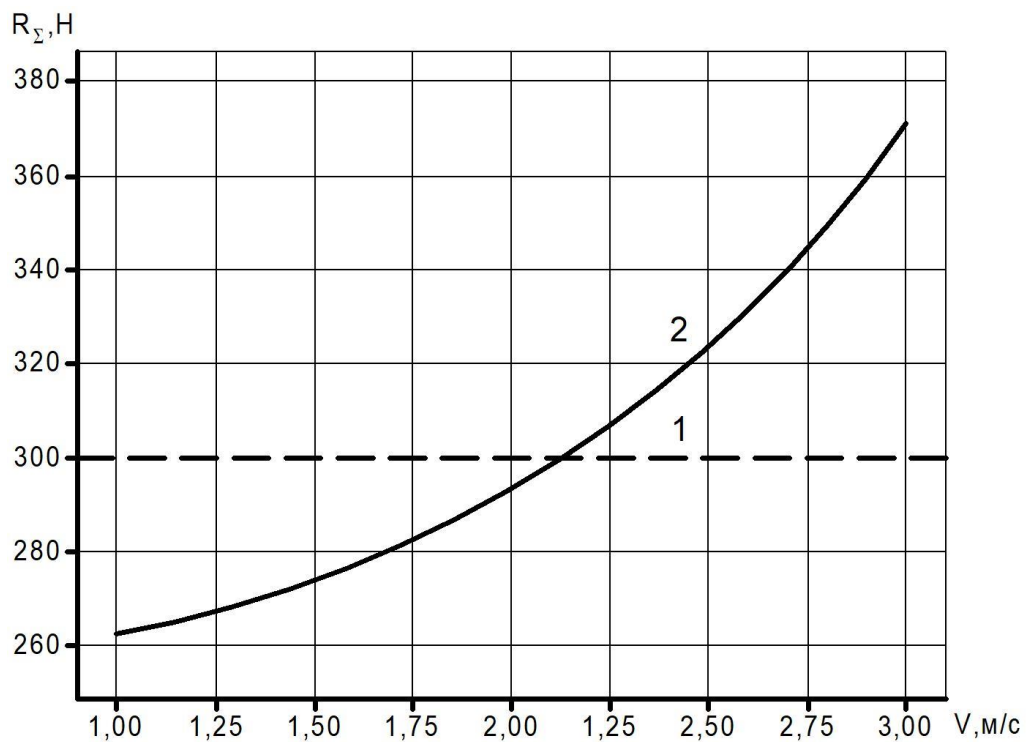


Рис. 4.5 Зміна тягового опору сошника від зміни швидкості руху при:

$$W = 20\% ; q_{yщ} = 0,75 \text{ МПа} ; F_B = 200 \text{ Н} ; \gamma = 22^\circ ; \beta = 138^\circ ; \varphi = 35^\circ$$

Як видно із отриманої залежності, зі збільшенням швидкості руху тяговий опір сошника зростає плавно і без різких переломів, характер кривої нелінійний, що відповідає фізичній природі динамічного опору ґрунту:

1,0 м/с - ≈ 262 Н;

1,5 м/с - ≈ 270 Н;

2,0 м/с - ≈ 286 Н;

2,5 м/с - ≈ 322 Н;

3,0 м/с - ≈ 370 Н.

При куті атаки п'яти $\beta = 138^\circ$ досягається максимальне зменшення статичної складової тягового опору усього сошника. В діапазоні швидкостей до 1,8 - 2,2 м/с удосконалений сошник забезпечує зниження тягового опору на 10 - 15 % порівняно із серійним. При подальшому зростанні швидкості переважає динамічна складова опору, що зменшує відносний ефект оптимізації геометрії п'яти, але при цьому за рахунок конструкції сошника стабільність та якість борозни можуть бути кращі, ніж у серійного.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що тяговий опір сошника просапної сівалки визначається сукупною дією опору різанню ґрунту носком, динамічного опору ґрунтового середовища, сил тертя та опору п'яти сошника, причому співвідношення між цими складовими суттєво залежить від геометричних параметрів робочих елементів і режимів роботи.

Обґрунтовано, що реальне вертикальне навантаження на сошник у складі балансірної секції з двома опорними котками є значно меншим за повну вагу секції і в умовах регулювання глибини котками та паралелограмною підвіскою становить близько 180 - 220 Н, що було прийнято в розрахунках як фізично обґрунтоване значення.

Дослідження впливу кута атаки носка сошника в горизонтальній площині показало, що збільшення цього кута призводить до майже лінійного зростання тягового опору за рахунок підвищення інтенсивності руйнування ґрунту. Раціональним є діапазон 20 - 25°, у межах якого забезпечується

стабільне формування борозни без істотного зростання енергетичних витрат.

Встановлено, що кут атаки п'яти є одним із визначальних параметрів зменшення тягового опору сошника. Зі збільшенням кута п'яти з 120° до 140° опір п'яти монотонно зменшується, що пояснюється зменшенням горизонтальної складової реакції ґрунту та покращенням умов ковзання.

Показано, що при куті атаки п'яти $\beta = 130 - 138^\circ$ досягається компроміс між мінімальним тяговим опором і стабільністю ущільнення дна борозни, тоді як при $\beta = 140^\circ$ забезпечується мінімізація статичної складової опору, однак зменшується відносний ефект зниження тягового опору зі зростанням швидкості руху.

Аналіз впливу швидкості руху сошника показав, що сумарний тяговий опір зростає за нелінійним законом, близьким до квадратичного, що зумовлено збільшенням динамічного опору ґрунту. При оптимальних геометричних параметрах сошника стабільна робота забезпечується в діапазоні швидкостей $1,8 - 2,2$ м/с, що відповідає реальним умовам сівби просапних культур.

Встановлено, що при швидкостях до $1,8 - 2,2$ м/с удосконалений сошник з кутом атаки п'яти $\beta = 138^\circ$ забезпечує зниження тягового опору до 15% порівняно із серійним зразком, тоді як при подальшому зростанні швидкості переважає динамічна складова опору, що обмежує відносний ефект геометричної оптимізації.

Проведене співставлення розрахункових і експериментальних даних серійного сошника показало, що математична модель адекватно описує процес взаємодії робочих органів із ґрунтом, а відхилення розрахункових значень тягового опору не перевищує $5 - 10\%$, що є допустимим для інженерних розрахунків в механіці ґрунтів.

Вдосконалена конструкція сошника дозволяє зменшити енергетичні витрати на процес сівби без погіршення якості формування борозни та насіннєвого ложа, що створює передумови для підвищення рівномірності загортання насіння та стабільності сходів.

4. Охорона праці

4.1 Вимоги з охорони праці під час виконання посіву просапними сівалками

Робота з просапними сівалками (посів кукурудзи, соняшнику, буряків) пов'язана з підвищеною небезпекою через наявність рухомих механізмів, роботу з пестицидами (протруєним насінням) та використання габаритної техніки.

1. Загальні вимоги безпеки [26-33]:

до роботи допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медогляд, навчання, інструктаж з охорони праці та мають посвідчення на право керування трактором відповідної категорії;

засоби захисту (ЗІЗ) - працівники повинні бути забезпечені спецодягом (комбінезон), спецвзуттям та засобами захисту рук;

якщо висів проводиться протруєним насінням, обов'язкова наявність респіраторів та захисних окулярів;

заборонено працювати у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння або під дією ліків, що сповільнюють реакцію.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи [26-33]:

перед виїздом у поле необхідно провести ретельний огляд техніки;

з'єднання сівалки з трактором виконувати тільки при зупиненому двигуні. Перевірити надійність фіксації замків навіски та шплінтівку причіпного пристрою;

перевірити герметичність гідравлічних шлангів (відсутність підтікань мастила) та справність світлової сигналізації;

карданний вал (вал відбору потужності) повинен бути обов'язково закритий захисним кожухом. Робота з відкритими обертовими деталями суворо заборонена;

переконатися, що у бункерах немає сторонніх предметів, а кришки насіннєвих та тукових ящиків надійно закриваються;

підніжки та поручні мають бути чистими від бруду та мастила, щоб уникнути падіння персоналу.

3. Вимоги безпеки під час роботи [26-33]:

найбільша кількість травм трапляється саме під час технологічного процесу та обслуговування в полі;

початок руху агрегату дозволяється лише після подачі звукового сигналу та переконання, що біля сівалки немає людей;

заборонено перебування людей - на підніжках сівалки або трактора під час руху (якщо це не передбачено конструкцією) та між трактором і сівалкою під час руху;

розвороти виконувати лише при піднятій сівалці (сошники мають бути виглублені);

рух заднім ходом із заглибленими сошниками заборонено (це може призвести до поломки та аварійної ситуації);

завантаження насіння та добрив проводити тільки при повній зупинці агрегату та вимкненому двигуні (або надійно зафіксованому гальмі);

при роботі з протруєним насінням ставати спиною до вітру та використовувати респіратори та рукавиці;

категорично заборонено вирівнювати рівень зерна у бункері голими руками. Використовуйте для цього спеціальні дерев'яні лопатки;

обслуговування та очищення - будь-які роботи з очищення сошників, висіваючих апаратів, регулювання глибини чи натягу ланцюгів проводяться тільки після зупинки трактора, вимкнення ВВП (валу відбору потужності) та двигуна;

не дозволяється підлазити під підняту сівалку без встановлення її на надійні підставки (козли). Триматися лише на гідравліці небезпечно.

4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях [26-33]:

в разі появи сторонніх шумів, стуку, вібрації або запаху горілого - негайно зупинити агрегат і заглушити двигун;

при потраплянні протруєного насіння або агрохімікатів на шкіру чи в очі
- негайно промити великою кількістю чистої води та звернутися до лікаря;

в разі пожежі використовувати вогнегасник, який обов'язково має бути в кабіні трактора, та засипати осередок вогню землею (кошмою).

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи [26-33]:

очистити сівалку від решток насіння, добрив та бруду (використовувати щітки та скребки, а не руки);

від'єднати гідрошланги (скинувши тиск у системі) та страхові ланцюги;

агрегат ставити на зберігання на рівному майданчику, опустивши сошники на землю (або на підставки), щоб розвантажити гідравліку та колеса;

ретельно вимити руки та обличчя з милом, прийняти душ (особливо важливо після роботи з протруєним насінням).

Висновки

1. Удосконалення конструкції сошника може значно впливати на підвищення якості як утворення борозни так і загортання насіння просапних культур, що в свою чергу сприяє підвищенню врожайності за рахунок утворення кращих умов для його проростання, тому використання удосконалених наральників в конструкції сошників та розробка технології їх використання є актуальне завдання.

2. Під час аналізу існуючих конструкцій наральникових сошників було визначено, що перспективним напрямом є використання комбінованих конструкцій які дають змогу розділяти процеси відкриття борозни і утворення насіннєвого ложа покращуючи при цьому їх технологічні характеристики.

3. В процесі модернізації була запропонована нова конструкція сошника який оснащений комбінованим наральником, що складається з двох функціональних робочих зон. Його верхня частина виконана у формі клиноподібного носка з прямим кутом входження в ґрунт і слугує для розкриття борозни та відведення від неї верхніх, більш сухих шарів ґрунту. Для зменшення напружень і сил тертя в нижній зоні носок має радіальне

заокруглення, а кут його входження в ґрунт у горизонтальній площині в нижній частині збільшений у 1,5 рази порівняно з верхньою, що і забезпечує ефективне відведення верхніх шарів ґрунту вбік. Нижня частина наральника виконана у вигляді п'яти з тупим кутом входження в ґрунт та призначена для формування ущільненого дна і стінок борозни, а також якісного насіннєвого ложа. При цьому верхня і нижня частини наральника в вертикальній площині мають однакові геометричні параметри. Ширина носка перевищує товщину сошника на 10 %, нижня кромка носка має підйом у вертикальній площині, а всі робочі поверхні наральника встановлені під кутами, меншими за кут тертя ґрунту по сталі.

4. На основі математичної моделі розглянуто закономірності впливу конструктивних параметрів робочих елементів нового наральника сошника на характер виконання процесу розкриття борозни і формування насіннєвого ложа, а також їх вплив на тяговий опір сошника.

5. Запропоновані заходи з охорони праці при роботі на посівних агрегатах для висіву просапних культур.

6. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації сошників просапних сівалок, а також для обґрунтування параметрів підвіски та режимів роботи секцій у виробничих умовах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончарук Г.С. Якісна сівба цукрових буряків запорука високого врожаю // Цукрові буряки. – 2001. – №2. – С. 8 – 9.
2. Коломієць О.П., Гончарук Г.С., Ломако Т.Н. Передумови якісної сівби // Цукрові буряки. – 1999. – № 2. – С. 17.
3. П'ятківський М.К. Сівбі цукрових буряків високу агротехніку // Цукрові буряки – 2001. – № 2. – С. 7.
4. 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
5. Product Catalog. Technology in harmony with the nature. Elvorti - Chervona zirka. Ukraine, 2016. 20p. https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf
6. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
7. О. Мельник. Насіння від SESVanderHave – запорука Вашого успішного буряківництва. Бібліотека Сесвандерхаве. 2016, 24 с. https://sv-ukraine.com.ua/images/Technology_nasinya.pdf
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. <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/17399>
9. 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>

10. MONOSEM. The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2018. 24p. URL: <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4>
11. Operating manual. AMAZONE. Precision airplanter. AMAZONEN-WERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany, 2017. 224p. URL: <http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf>
12. 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>
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; Бюл. № 7. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1344841/>
14. 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/>
15. 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/>
16. 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>
17. 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/>

18. 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
19. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 729 с.
20. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.
21. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
22. Brunotte, J. Architektur moderne Pflanzen / J. Brunotte, K. Sommer, B. Gattermann // AMAZONEN-WERKE H. Dreyer GmbH & Co. KG. Hasbergen, 2005 – 92 s.
23. Артеменко Д.Ю. Підвищення ефективності роботи сошника і прикочуючого котка посівної секції просапної сівалки: дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Артеменко Дмитро Юрійович. – Кіровоград, 2007. – 223 с.
24. Каленська С.М., Єрмакова Л. М., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Поліщук М. І. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник. Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. 448 с.
25. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2 вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
26. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408с.
27. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf

28. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf
29. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин.
https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87
30. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.
31. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.
http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM
32. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.
33. Єрмаков О.Ю. Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.