

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

**«Модернізація та обґрунтування параметрів робочих органів секції
просапної сівалки»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве

машинобудування»

_____ Муленко Костянтин

Андрійович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро АРТЕМЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Володимир ЯЦУН

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Анотація

У роботі розглянуто удосконалення конструкції сошника просапної сівалки з метою підвищення якості посіву та зменшення енергетичних витрат. Обґрунтовано актуальність розробки нових конструкцій наральників сошників, зокрема через їх вплив на формування сприятливих умов для проростання насіння. В результаті аналізу існуючих рішень встановлено перспективність поєднання тупих і гострих кутів входження робочих поверхонь у ґрунт. Запропонована нова конструкція сошника з комбінованим наральником. Завдяки геометричним особливостям конструкції, зокрема різній товщині елементів, загостренню носка та наявності порожнини, досягається зменшення тягового опору та зниження налипання ґрунту. Теоретичні дослідження підтверджують вплив геометричних параметрів на техніко-технологічні показники роботи. Результатом дослідження стало створення модернізованого сошника для сівалки Vesta Profi 8, який забезпечує ефективніше утворення борозни, покращене укладання насіння та зниження енергозатрат при роботі.

Abstract

The study examines the improvement of the opener design for a row crop seed drill with the aim of enhancing sowing quality and reducing energy consumption. The relevance of developing new opener share designs is substantiated, particularly due to their influence on creating favorable conditions for seed germination. As a result of analyzing existing solutions, the combination of blunt and sharp soil-entry angles on working surfaces has been identified as a promising direction for improvement. A new opener design with a combined share is proposed. Due to its geometric features such as varying element thickness, a sharpened tip, and an integrated cavity the design achieves reduced draft resistance and minimizes soil adhesion. Theoretical studies confirm the influence of geometric parameters on the technical and technological performance of the opener. The research resulted in the development of a modernized opener for the Vesta Profi 8 seed drill, which ensures more efficient furrow formation, improved seed placement, and reduced energy consumption during operation.

Зміст

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Вступ..... | 6 |
| 2. Інженерна частина | 7 |
| 3. Наукова частина..... | 23 |
| 4. Охорона праці..... | 41 |
| 5. Економічна частина..... | 46 |
| Висновки..... | 49 |
| Список використаної літератури..... | 51 |
| Додатки | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. Вступ

Україна широко відома у світі своєю багатогранною аграрною сферою, де вирощування просапних культур займає одне із провідних місць, особливо з огляду на зростання їх вартості на ринку. Ці культури відіграють ключову роль у виробництві продуктів харчування, деякі із них сприяють покращенню структури ґрунту та його збагаченню поживними речовинами завдяки використанню у сівозміні. Висока врожайність та стабільний попит роблять просапні культури економічно рентабельними, особливо з урахуванням великої кількості сортів, які добре пристосовані до особливостей українського клімату та ґрунтів.

Забезпечення високих врожаїв є одним із головних завдань при вирощуванні просапних культур, висока врожайність можлива лише за умови постійного дотримання технологічних процесів. Підготовка насінневого ложа сошником посівного агрегату є вирішальним етапом, оскільки якісне насінневе ложе визначає рівномірність та швидкість проростання культури. Сучасні посівні машини оснащені наральниковими сошниками, що відіграють важливу роль у створенні оптимальних умов для проростання насіння. Удосконаленням конструкції наральників сошників можна значно підвищити ефективність виконання процесу борозноутворення. Тому розробка нових конструкцій наральників сошників та вдосконалення технології їх використання є актуальним напрямом, що сприятиме підвищенню врожайності просапних культур.

В даній кваліфікаційній роботі проводиться аналіз існуючих конструкцій сошників та їх наральників та пропонується удосконалення конструкції сошника просапної сівалки Vesta Profi 8, з метою покращення процесу борозноутворення та формування насінневого ложа.

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|---------------------------------|--|--|-----------------------|-------------|----------------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | | | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | Пояснювальна записка | | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Муленко | | | | | | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i> | | Артеменко | | | | | | | 7 | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Мачок | | | | | | ЦНТУ | | |
| <i>Затверд.</i> | | Васильковськи | | | | | | гр. ГМ-23М-1.1 | | |

2. Інженерна частина

Процес утворення борозни сошником просапної сівалки та загортання насіння є складним технологічним процесом, який вимагає для забезпечення оптимальних умов проростання насіння, чіткого дотримання агротехнічних вимог до вирощування обраної культури [1,2].

Розглянемо етапи формування борозни сошником сівалки [3-5]: в процесі проникнення в ґрунт сошник, рухаючись вперед, розсуває шари ґрунту в боки. Кут атаки передньої частини наральника, як в горизонтальній так і вертикальній площині та його форма визначають характер проникнення сошника в ґрунт та форму борозни; наральники сошників із гострим кутом входження розпушують ґрунт, а з тупим ущільнюють створюючи борозну необхідної глибини та ширини. Форма наральника сошника впливає на якість формування стінок борозни та насінневого ложа; формування насінневого ложа в нижній частині борозни повинно утворюватися рівним та ущільненим для забезпечення оптимального контакту насіння з ґрунтом та його рівномірного розподілу, як по глибині так і довжині борозни.

Як бачимо вдосконалення конструкції наральника сошника може впливати на багато як якісних так і технологічних показників за рахунок чого можна: підвищити точності посіву та розміщення насіння; покращити якість загортання насіння; зменшення пошкодження насіння; можливість роботи в складних умовах і на непідготовленому ґрунті; підвищення енергетичних показників та зменшення тягового опору.

Покращення конструкції наральника сошника може напряду впливати на підвищення ефективності та якості посіву просапних культур, що в свою чергу може сприяти збільшенню врожайності за рахунок покращення умов для проростання насіння. Оскільки сошник має конструкцію яка повинна підходити під секцію робочих органів, від якої в значній мірі залежить якість його роботи, то з метою визначення недоліків і переваг конструкцій сошників необхідно їх розглядати в складі секцій робочих органів. Тому проведемо огляд найбільш розповсюджених зразків.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

2.1 Огляд конструкцій сучасних просапних сівалок

На сьогоднішній день виробники посівної техніки як закордонні так і вітчизняні пропонують різноманітні варіанти просапних сівалок з різним ступенем універсальності [6-10], проведемо огляд найбільш поширеніших варіантів які можна використовувати для вирощування просапних культур в Україні.

Сівалка Amazone ED [6] – це високоточна пневматична сівалка, призначена для посіву просапних культур (соняшник, соя, буряки, кукурудза) з високою точністю укладання насіння (рис. 2.1). Вона має модульну конструкцію, що дозволяє адаптувати її під різні умови роботи та культури та оснащена системою точного висіву, яка забезпечує рівномірний розподіл насіння в рядку та задану глибину посіву. Сівалка Amazone ED може оснащуватися різними робочими органами, такими як дискові сошники, анкерні сошники, прикочуючі котка різних типів під конкретні умови роботи. Для контролю процесу посіву використовуються різні системи, такі як AmaDrill+, AmaCheck, ISOBUS. Сівалка може використовуватися в комбінації з іншими агрегатами, такими як культиватори, борони, розкидачі добрив .



Рис. 2.1 Amazone ED

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Перевагами сівалки є: висока точність висіву; універсальність, яка направлена на посів різних просапних культур; модульна конструкція дозволяє адаптувати сівалку під конкретні умови роботи; електронний контроль ISOBUS, що забезпечує точний процесу посіву; можливість одночасного внесення добрив. Але є і недоліки: висока вартість - сівалка Amazone ED відносяться до преміум-сегменту; складність налаштування, що вимагає кваліфікованого персоналу для налаштування та обслуговування; залежність від електроніки - у разі виходу з ладу електронних компонентів робота сівалки може бути порушена; сошник хоч і має різні комбінації але має просту і недосконалу конструкцію.

Сівалка Monosem Meca V4 [7] – це механічна сівалка точного висіву, розроблена для посіву різних просапних культур, таких як буряк, ріпак, соняшник та інші (рис. 2.2). Має універсальну модульну конструкцію, яка дає можливість адаптувати її під різноманітні умови роботи в залежності від культури, що висівається. Вона оснащена механічною системою дозування насіння, яка забезпечує точний розподіл насіння в рядку. Сівалка оснащена системою контролю глибини яку забезпечує передній коток і балансірна система. Для утворення борозни використовується наральниковий сошник із тупим кутом входження в ґрунт.



Рис. 2.2 Monosem Meca V4

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

До переваг сівалки можна віднести: якісну механічну систему висіву яка забезпечує високу точність висіву; просту і надійну конструкцію; високу універсальність по вибору культури для посіву. Але є і недоліки такої конструкції: сівалка оснащується лише одним типом сошника і його універсальність не дуже висока; наявність механічного приводу висівних апаратів менш точний ніж електричний.

Сівалка Planter 3 від компанії Kuhn [8] – це пневматична сівалка точного висіву, призначена для широкого спектра просапних культур. Вона відрізняється модульною конструкцією, що дозволяє адаптувати її до різних умов роботи та потреб (рис. 2.3).



Рис. 2.3 Сівалка фірми Kuhn

Сівалка комплектується трьома видами сошників (рис. 2.4) полозковим, наральниковим і комбінованим для роботи із відкривальним диском.



Рис. 2.4 Сошники Kuhn

Перевагою полозкового сошника є можливість посіву культур які потребують глибокої борозни, недоліком, менш точний посів на нерівному ґрунті. Перевагою наральникового сошника є ідеальний контроль глибини на підготовленому ґрунті, особливо для буряків, а недоліком високі вимоги до підготовки ґрунту. З відкривним диском сошник підходить для роботи з великою кількістю рослинних решток, добре працює на однорідному ґрунті але може бути менш точним на нерівному ґрунті, вимагає налаштування переднього та заднього копіювального котка.

Сівалка Vesta Profi [9] – це універсальна пневматична сівалка точного висіву, яка призначена для посіву каліброваного насіння різних культур, таких як кукурудза, соняшник, соя, рицина, сорго, а також бобових. Вона також дозволяє одночасно вносити гранульовані мінеральні добрива та прикочувати ґрунт у рядках (рис. 2.5).



Рис. 2.5 Сівалка Vesta Profi

Сівалка VESTA PROFІ відрізняється надійністю, простотою в обслуговуванні та точністю висіву. Вона доступна в модифікаціях, що дозволяє адаптувати її до різних потреб та умов роботи. Сівалка оснащена наральниковим сошником з тупим кутом входження в ґрунт із клиновим ложеутворювачем, сошник універсальний під всі вищенаведені культури, тиск

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

на сошник для можливості зміни глибини повіву регулюється пружинним механізмом секції. Недоліком такого сошника є підвищений тяговий опір на великих глибинах посіву, а також неможливість регулювати розмір дна насінневого ложа п'ятою наральника.

Сівалка Monorill компанії Kverneland [10] – це високоточна сівалка, розроблена для посіву дрібнонасінневих просапних культур, таких як цукровий буряк, ріпак, цикорій та інші (рис. 2.6). Вона відома своєю точністю висіву та надійністю, що робить її популярною серед фермерів.



Рис. 2.6 Сівалка Monorill

Сівалка Monorill доступна у двох основних версіях: Monorill S з механічним приводом висівного апарату та Monorill e-drive II з електричним приводом висівного апарату. Обидві версії мають модульну конструкцію, що дозволяє адаптувати їх під різні умови роботи та культури. Сівалка Monorill може оснащуватися двома типами сошників – наральниковим і дводисковим. Наральниковий сошник із тупим кутом входження використовується для посіву більшості культур у підготовлений ґрунт і має всі недоліки цього типу сошників, а дисковий використовується для посіву у непідготовлений ґрунт або для прямого посіву обмеженої кількості культур. Також до недоліків

Технічні характеристики сівалки Vesta Profi 8 [9]:

сівалка пневматична точного висіву;

кількість рядків - 8;

ширина міжрядь - 70 см (ширину міжрядь можна змінювати);

глибина посіву - 20-90 мм;

норма висіву насіння - 1,7-58 шт./п.м.;

норма висіву добрив - 24-248 кг/га;

робоча швидкість - 2,5-9 км/год;

продуктивність - 3.02 - 5.04 га/год;

бункери для насіння - 36 л на секцію (288 л загалом);

бункери для добрив - 80 л на секцію (320 л загалом)

тип сошника - наральниковий;

агрегатується з тракторами потужністю - від 80 к.с.

ширина захвату, 5.6м;

габаритні розміри в робочому стані: 2355x5270x1445 мм;

габаритні розміри в транспортному стані: 5870x2010x1840 мм;

маса - 1278 кг.

Сівалка має просту і надійну конструкцію, секція робочих органів оснащена додатковими елементами контролю висіву і датчиками. Балансирна підвіска добре тримає нерівності поля, а за рахунок пружинно гвинтового механізму відбувається точна передача тиску на сошник, що напряду впливає на рівномірність розміщення насіння по глибині рядка. Наральниковий сошник із тупим кутом входження в ґрунт задовільно працює в добре підготовленому ґрунті із однаковим агрегатним станом. Але недоліками такого сошника є те, що якщо він натрапляє на ущільнені ділянки ґрунту то може змінювати свій рух по глибині, а це приводить до нерівномірного розміщення насіння. Для посіву насіння на більшу глибину сошник потребує додаткового навантаження і збільшує свій тяговий опір. Тому для можливості подальшого покращення технологічних характеристик базового сошника потрібно провести огляд існуючих конструкцій сошників сучасних сівалок.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

2.3 Конструктивно-технологічний аналіз існуючих сошників просапних сівалок

На сучасному етапі розвитку аграрного сектору в Україні вирощування просапних культур займає ключове місце у структурі сільськогосподарського виробництва. Останні роки характеризуються активним розвитком селекції, що сприяє появі високопродуктивних сортів і гібридів, здатних забезпечувати значні врожаї. Однак використання навіть найкращих сортів не може повністю вирішити всі проблеми, пов'язані з їхнім вирощуванням. Для реалізації потенціалу культур необхідно забезпечити дотримання всіх агротехнічних вимог на високому рівні. Достеменно відомо, що одним із визначальних чинників отримання високих урожаїв є швидкі та рівномірні сходи, які залежать не лише від оптимального терміну сівби, але й від якості виконання технологічних операцій робочими органами, що впливають на швидкість проростання насіння [11].

Саме тому нині все більше уваги приділяється вдосконаленню конструкцій робочих органів посівних машин, що дозволяє підвищити ефективність виконання технологічного процесу [12]. Дослідження [13,14] показали, що розміщення насіння у рядку як по довжині, так і по глибині безпосередньо впливає на швидкість його проростання, а отже, і на кінцеву врожайність. Сучасні висівні апарати, які застосовуються на просапних сівалках, забезпечують достатньо точний висів [14]. Проте, незважаючи на це, насіння в борозні розміщується з незадовільною рівномірністю. Вирішальну роль у рівномірному укладанні насіння по дну борозни відіграє конструкція наральника сошника [15,16].

Зважаючи на те, що більшість просапних культур відповідно до агротехнічних норм висіваються на невелику глибину у ретельно підготовлений ґрунт, найбільш поширеними для оснащення просапних сівалок є наральникові сошники. Головним конструктивним елементом сошника, який формує борозну, є наральник, і саме його будова значною мірою визначає якість виконання технологічного процесу [2,5,17].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

Процес функціонування наральника сошника просапної сівалки відбувається у кілька послідовних етапів: розсування верхнього шару ґрунту та створення борозни з ущільненим дном [18]. Кожен із цих етапів суттєво впливає на умови для швидкого проростання насіння. При русі наральника у ґрунті відбувається попереднє переміщення часток ґрунту та їх деформація в нижній задній частині. В результаті цього формується борозна, профіль якої визначає не лише рівномірність розподілу насіння в рядку, але і його глибину загортання [5,17].

Аналіз сучасних посівних агрегатів для вирощування просапних культур, вироблених провідними компаніями [6-10], дозволяє дійти висновку, що конструкція наральників насінневих сошників сформувалася в остаточному вигляді. Вона представлена у вигляді полоза або наральника, який входить у ґрунт під тупим кутом (рис. 2.8).

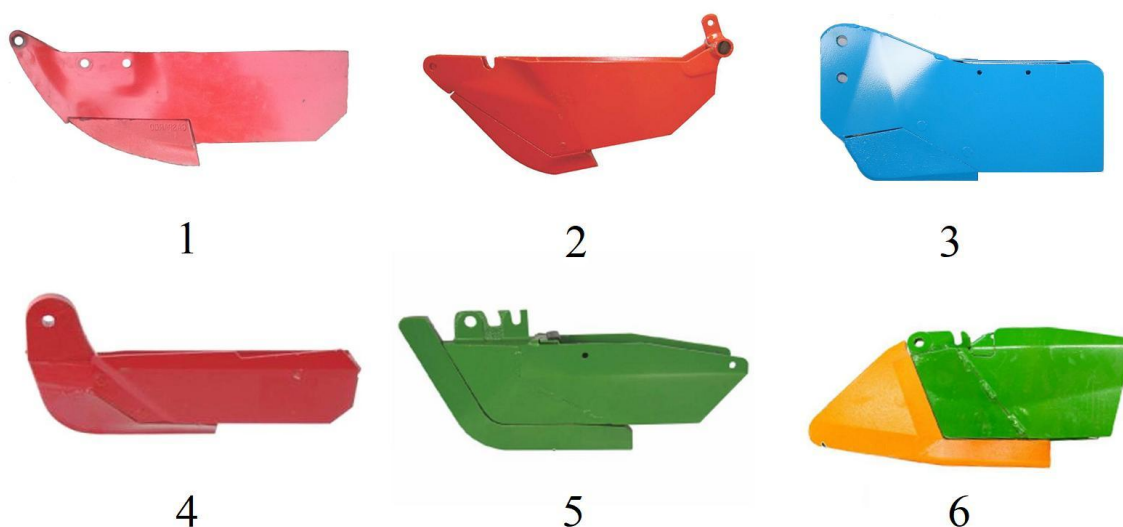


Рис. 2.8 Конструкції сошників фірм які представлені в Україні:
1 – Elvorti; 2 – Kuhn; 3 – Ribouleau; 4 - Kverneland; 5,6 – Amazone

Основними недоліками таких сошників є їхня обмежена універсальність, оскільки конструкція зазвичай адаптована для висіву лише однієї або кількох культур. Через тупий кут входження в ґрунт вони недостатньо добре утримують задану глибину посіву, що вимагає додаткового навантаження на секцію робочих органів. Це, у свою чергу, призводить до

збільшення тягового опору. Крім того, борозна, утворена такими сошниками, не гарантує рівномірного розміщення насіння. Однак значною перевагою даної конструкції є те, що під час формування борозни сошник спрямовує тиск зверху вниз, ущільнюючи її дно. Це сприяє підтягуванню капілярної вологи до насіння, що забезпечує його швидке проростання, саме тому такі сошники широко застосовуються на сучасних сівалках.

З технологічної точки зору більш раціональними є сошники з гострим кутом входження в ґрунт, оскільки вони формують борозну шляхом піднімання ґрунту знизу вгору, що робить їх ефективними при роботі у зволжених умовах. Проте їхні конструктивні особливості мають і недоліки. Під час руху такий сошник може утворювати перед собою передсошниковий валок, що ускладнює рівномірний висів. Крім того, частина ґрунту виноситься з борозни на поверхню, залишаючи її дно розрихленим, що не сприяє стабільному розміщенню насіння по глибині. Водночас важливою перевагою цієї конструкції є покращене заглиблення, рівномірний рух на заданій глибині, краще розрізання ґрунту та зменшений тяговий опір.

Перспективним напрямом удосконалення сучасних сошників є поєднання переваг обох конструкцій шляхом комбінування тупого і гострого кутів входження в ґрунт. Це дозволяє усунути основні недоліки та забезпечити більш ефективний посівний процес.

2.4 Розрахунок міцності різьбового з'єднання механізму тиску пружинного механізму на сошник

Оскільки основним фактором який впливає на рівномірність ходу сошника по глибині борозни, окрім його наральника, є робота балансірної підвіски на який передбачувана навантажувальна система у вигляді пружинного механізму то для забезпечення безперебійної її роботи необхідно розрахувати міцність різьбового з'єднання яким регулюється тиск на сошник.

Конструкція механізму, що забезпечує тиск сошника на ґрунт, включає кілька ключових елементів: регулювальний гвинт, систему пружин і

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

$$F_1 = F_{\sigma} \cdot \cos \alpha ;$$

$$F_2 = F_{\sigma} \cdot \sin \beta ,$$

де F_{σ} - сила на розтяг, яка виникає від секції робочих органів.

Сила F_{σ} визначається із креслення секції робочих органів, вага складає 52,5 кг, кут $\alpha = 76^{\circ}$, кут $\beta = 14^{\circ}$.

$$F_1 = 525 \cdot \cos 76^{\circ} = 525 \cdot 0,241 = 126,5H$$

$$F_2 = 525 \cdot \sin 14^{\circ} = 525 \cdot 0,241 = 126,5H$$

Із умови на розтяг згідно рекомендацій [19-21] розраховуємо діаметр різьбової частини механізму:

$$\sigma_F = \frac{4F}{\pi d^2} \leq [\sigma_F],$$

де $[\sigma_F]$ - для гвинта виготовленого із конструкційної сталі допустиме напруження на розтяг:

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_T}{k} ,$$

де σ_T - для сталі Ст.3 межа міцності, $\sigma_T = 200 \text{ мПа}$ [19-21];

k - коефіцієнт запасу міцності, що залежить від з'єднання, навантаження і точності виготовлених деталей,. Згідно рекомендацій [19], приймаємо $k = 7$.

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_T}{k} = \frac{200}{7} = 28,6 \text{ мПа} .$$

Діаметр різьбової частини [19-21]:

$$d > \sqrt{\frac{4F_{\sigma}}{\pi[\sigma_F]}} ,$$

$$d > \sqrt{\frac{4 \cdot 525}{3,14 \cdot 28,6}} = 6,8 \text{ мм} .$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

Оскільки навантаження на механізм може варіюватись до двох разів і залежить від конкретних умов роботи секції, а також від змінних навантажень які виникають в процесі посіву, приймаємо із конструктивних міркувань $d = 12 \text{ мм}$.

Виконуємо перевірку на міцність різьбового з'єднання під час розтягу:

$$\sigma_F = \frac{4 \cdot 525}{3,14 \cdot 12^2} = 4,7 \text{ мПа} < [90 \text{ мПа}]$$

Оскільки проведені розрахунки показують, що отримане значення навантаження на різьбове з'єднання буде в декілька разів менше допустимого, то умова міцності на розтяг виконується.

2.5 Розрахунок навантаження на сошник секції робочих органів сівалки

Розрахунок виконаємо згідно рекомендацій [19-21].

Вихідні дані: маса секції робочих органів $Q = 52,5 \text{ кг}$; максимальне навантаження, що формує натискна пружина 90 кг .

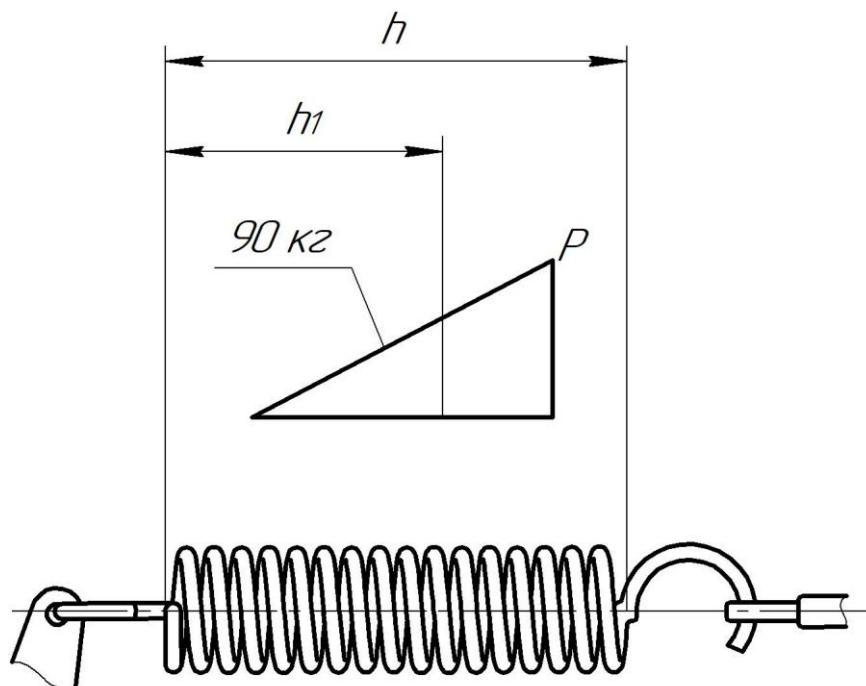


Рис. 2.10 Схема сил, що діють на пружину

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

Складемо схему дії сили на пружину (рис. 2.10) і виконаємо розрахунок зусилля натискної пружини секції робочих органів в робочому положенні. Методом інтерполяції визначимо зусилля пружини в робочому положенні (рис. 2.10):

$$\frac{h}{90} = \frac{h_1}{P}$$

$$P = \frac{90 \cdot h_1}{h} = \frac{90 \cdot 190}{152} = 112,5 \text{ кг}$$

де $h = 152 \text{ мм}$; $h_1 = 190 \text{ мм}$

Із загального вигляду секції робочих органів визначаємо графічно (рис. 2.11) кут 12° між віссю пружини і віссю кронштейна балансної підвіски.

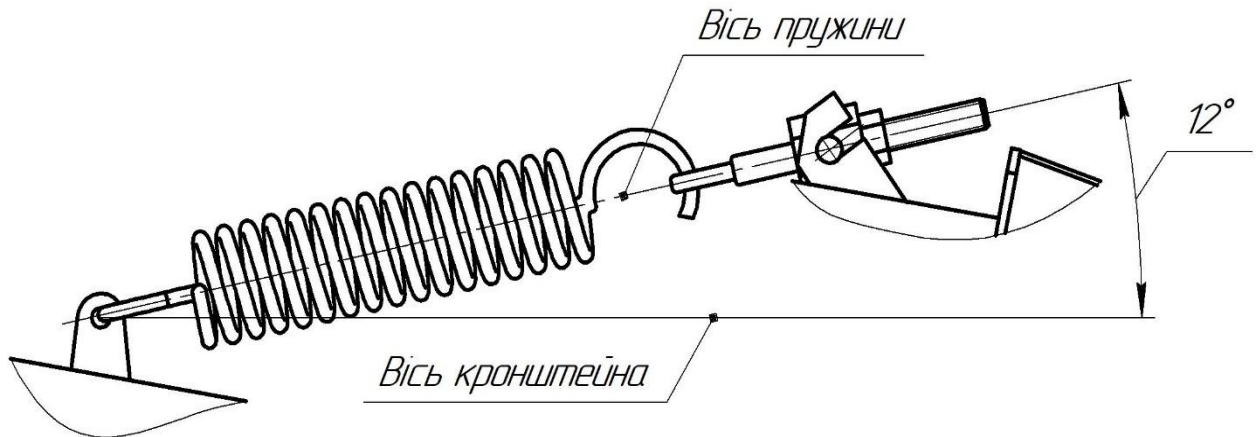


Рис. 2.11 Схема визначення кута нахилу пружини

Визначимо в робочому положенні кінцеве значення зусилля пружини згідно схеми (рис. 2.12).

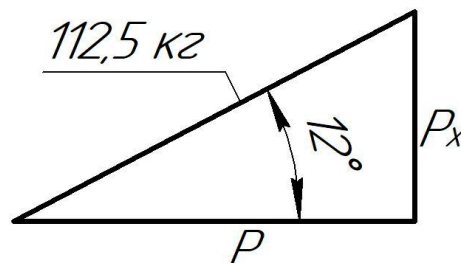


Рис. 2.12 Розрахункова схема для визначення зусилля пружини

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

$$\cos 12^\circ = \frac{P}{112,5}$$

$$P = 112,5 \cdot \cos 12^\circ = 110,04 \text{ кг}$$

$$P_x = \sqrt{112,5^2 - 110,04^2} = 23,58 \text{ кг}$$

Загальне навантаження складе:

$$P_{\text{заг}} = Q + P_x = 52,5 + 23,58 = 76,1 \text{ кг}$$

Навантаження на сошник секції робочих органів визначаємо згідно рис.

2.13.

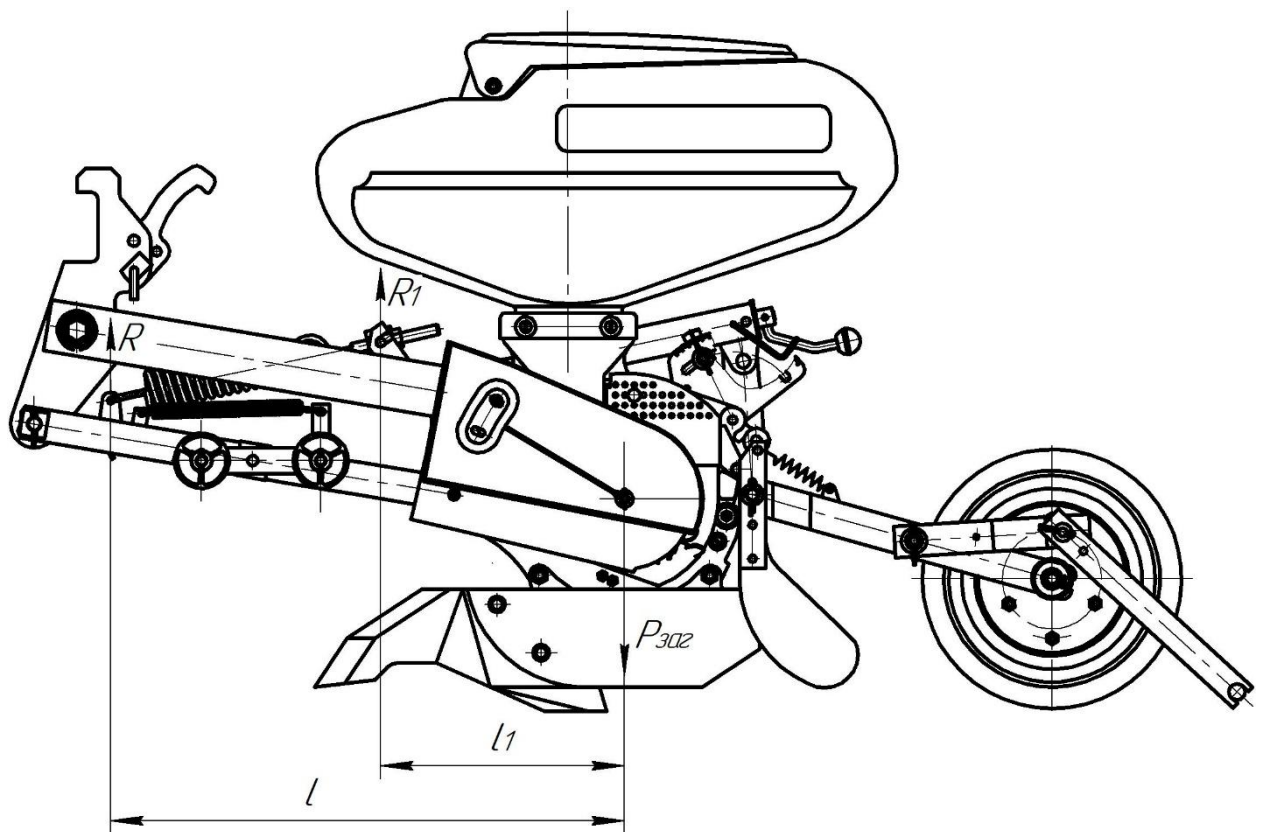


Рис. 2.13 Розрахункова схема навантажень сошник секції

Розмірні величини $l = 0,602 \text{ м}$ і $l_1 = 0,285 \text{ м}$ визначимо графічно із креслення секції робочих органів:

$$R = P \cdot l = 110,04 \cdot 0,602 = 66,24 \text{ кгс}$$

$$R_1 = P \cdot l_1 = 110,04 \cdot 0,285 = 31,4 \text{ кгс}$$

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МПС 00.000 ПЗ

Арк.

22

3. Наукова частина

Актуальність теми. Вирощування просапних культур в Україні має стратегічне значення для розвитку аграрного сектору та забезпечення продовольчої безпеки. Культури, такі як кукурудза, соняшник, соя, цукровий буряк та інші, займають значну частку в структурі посівних площ і є основою експорту агропродукції. Висока прибутковість та попит на ці культури як на внутрішньому, так і на світовому ринку сприяють їхньому активному вирощуванню. Крім того, просапні культури відіграють важливу роль у сівозміні, сприяючи збереженню родючості ґрунту та підвищенню його агрофізичних властивостей. Одним із ключових факторів, що впливає на врожайність просапних культур, є якість сівби, яка безпосередньо залежить від конструкції сошника. Тому удосконалення конструкцій сошників є одним із важливих напрямів підвищення ефективності вирощування просапних культур в Україні.

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

Для досягнення мети поставлено наступні **задачі:**

проаналізувати процес роботи насінневого сошника просапної сівалки, з'ясувати недоліки та обґрунтувати напрями їх усунення;

дослідити процес роботи сошника посівної секції просапної сівалки, розробити вдосконалену конструкцію та обґрунтувати раціональні параметри його елементів;

визначити техніко-економічну ефективність нового робочого органу.

Об'єкт дослідження: технологічний процес роботи насінневого сошника просапної сівалки..

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

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

визначено закономірності впливу геометричних характеристик робочої частини наральника сошника на процес формування борозни, а також обґрунтовано оптимальні значення цих параметрів;

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

аналітичним шляхом визначено оптимальні параметри робочих елементів наральника сошника, які сприяють покращенню якості формування борозни та підвищенню ефективності функціонування сошника загалом.

3.1 Аналіз наукових досліджень сошників просапних сівалок

На сьогоднішній день проблемами удосконалення конструкції сошників займалось велика кількість науковців, виділимо основні напрямки і праці які стосуються саме конструкції наральників.

Так, досліджуючи питання вдосконалення конструкції сошників Бакум М.В. [22], зазначає, що ефективнішими є наральники з комбінованим кутом входження в ґрунт, де верхня і нижня частини мають різні кути. Це забезпечує стабільність руху сошника у поздовжньо-вертикальній площині, покращує рівномірність розподілу насіння та зменшує вплив зовнішніх факторів на глибину загортання. У процесі роботи верхня частина наральника з гострим кутом усуває сухий поверхневий шар, тоді як нижня частина формує борозну і створює ущільнене ложе для насіння. Така конструкція дозволяє висівати насіння в багаторівневий посівний шар, який складається з сухого верхнього рівня та вологого нижнього, що сприяє рівномірному проростанню рослин і перешкоджає розвитку бур'янів.

Юров С.А. [23] запропонував конструкцію сошника з регульованим у вертикальній площині полозом який має гострий кут входження в ґрунт для ефективного розрізання щільного шару ґрунту, а його нижня частина має тупий кут, та забезпечує формування борозни. Це дозволяє адаптувати сошник

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

до різних умов посіву, забезпечуючи вибір між гострим або комбінованим кутом входження.

Використання сошника з різними кутами робочої поверхні значно знижує тяговий опір і покращує формування борозни підкреслює Бондаренко Г.І. [24]. Він розробив конструкцію сошника, у якому передня частина має гострий носок для полегшення заглиблення і підвищення стабільності ходу, а нижня частина – заглиблювач із тупим кутом входження для ефективного формування борозни. Для очищення борозни від рослинних решток у задній частині сошника розміщені полозкові ножі.

Розглядаючи роботу наральникового сошника Фалола О.І. [25], зазначає, що якість борозни значною мірою залежить від параметрів та форми наральника. Ним розроблена нова конструкція з комбінацією елементів тупого і гострого кутів входження. Верхня частина такого сошника з гострим кутом відкидає ґрунт убік, тоді як нижня ущільнює посівне ложе. Це забезпечує, на думку автора, рівномірний рух сошника і стабільне розміщення насіння в ґрунті.

Морозов І.В. [26] запропонував модифікований варіант сошника з комбінованим наральником і зрізаними щоками в задній частині. У процесі його роботи верхній сухий шар ґрунту відсувається від осі рядка, а у вологому шарі створюється ложе з оптимальними параметрами щільності, структури та вологості. Завдяки протилежно спрямованим вертикальним реакціям ґрунту, що діють на обидві частини наральника, сошник рухається стабільніше у поздовжньо-вертикальній площині, забезпечуючи рівномірне загортання насіння. На його думку, застосування такої конструкції дозволить усунути один із головних недоліків традиційних наральникових сошників – нерівномірний розподіл насіння по глибині.

Артеменко Д.Ю. [28] розробив конструкцію комбінованого наральника сошника просапної сівалки із гострим кутом у верхній частині наральника і тупим у нижній. Запропонована конструкція має ряд переваг, які покращують процес утворення борозни та висіву насіння: зменшений тяговий опір сошника

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |

– завдяки верхній частині наральника з гострим кутом входження в ґрунт, що дозволяє легше заглиблюватися та розрізати щільний шар; стабільність глибини загортання – нижня частина наральника та п'ята з тупим кутом входження ущільнюють дно борозни, що забезпечує рівномірне розміщення насіння; покращене формування борозни – завдяки нахилу робочих поверхонь під кутом, меншим за кут тертя ґрунту по сталі, що сприяє стійкому руху сошника без відхилень; запобігання утворення передсошникового пагорбу – горизонтальне загострення наральника під кутом, меншим за кут тертя, дозволяє ефективно відводити ґрунт у боки, запобігаючи його накопиченню перед сошником; оптимальні умови для проростання насіння – ущільнене ложе сприяє підтягуванню капілярної вологи, що покращує схожість насіння.

Загалом, така конструкція поєднує переваги гострого та тупого кутів входження, що робить її універсальною для різних ґрунтових умов і типів культур. Але є і деякі недоліки такої конструкції: оскільки в передній частині робоча поверхня наральника, яка має загострення, одразу переходить в товщину самого наральника то відгортання ґрунту в бік від борозни може бути значним і в цьому випадку самої п'яти може не вистачати для ущільнення стінок борозни і підтягування капілярної вологи може зменшуватись.

Тому на сьогоднішній день ні науковцями, ні промисловістю не запропонований сошник із комбінованим наральником який би міг забезпечити в повній мірі вимоги агротехніки до посіву просапних культур.

3.2 Обґрунтування запропонованої конструкції наральника сошника просапної сівалки

З метою обґрунтування запропонованої конструкції наральника сошника просапної сівалки потрібно визначити технологічні характеристики, що повинні забезпечуватись його елементами під час утворення борозни (рис. 3.1).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 26 |

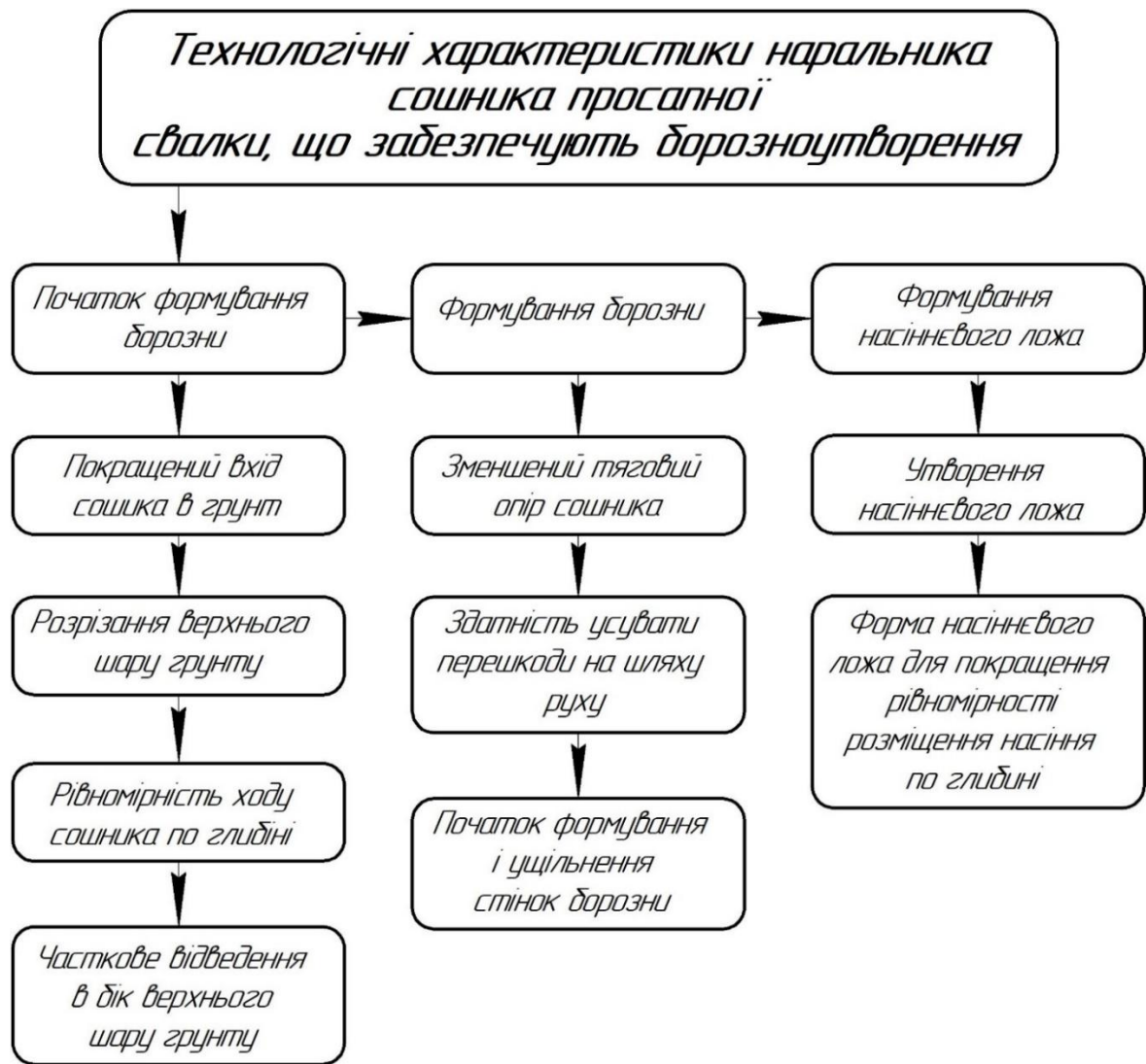


Рис. 3.1 Технологічні характеристики наральника, що забезпечують борозноутворення

Для реалізації наведених технологічних характеристик технологічного процесу нами був розроблений новий сошник (рис. 3.2).

Поставлена задача вирішується тим, що сошник, згідно з корисною моделлю, має комбінований наральник і складається із трьох робочих частин середня частина призначена для утворення борозни і має в вертикальній і горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт, верхня частина призначена для відведення сухого ґрунту в бік від борозни і має в вертикальній площині кут атаки в два рази більший ніж в середній, а в горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт, в задній нижній частині наральника розміщена клинова п'ята із тупим кутом входження в ґрунт, яка призначена

для утворення насінневого ложа, причому середня і верхня частини наральника мають товщину в два рази меншу ніж нижня задня, а носок наральника має загострення в нижній частині і порожнину одразу за ним яка сприяє зменшенню тягового опору сошника і зменшенню налипанню ґрунту на п'яту, всі робочі частини наральника нахилені під кутом меншим кута тертя ґрунту по сталі.

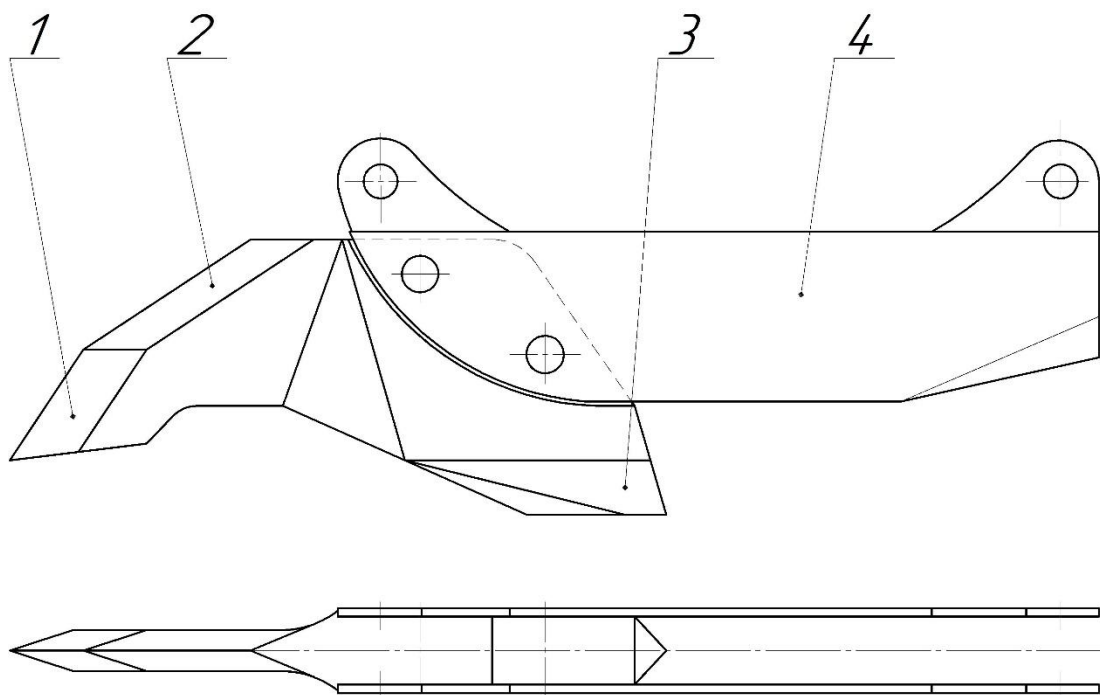


Рис. 3.2 Удосконалений сошник

На рис. 3.2 показана фронтальна і горизонтальна проекція удосконаленого сошника. Запропонований сошник складається із носка 1, поверхні відкидання 2, п'яти 3, щік 4.

Запропонований сошник працює наступним чином: рухаючись на глибині посіву середня частина наральника своїм носком 1, який має в вертикальній і горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт розрізає його розсуває в боки, а частину піднімає верхню поверхню відкидання 2. Носок 1, не тільки полегшує рух сошника в ґрунті, а і усуває перешкоди тримаючи задану глибину ходу. За рахунок кута атаки верхньої частини наральника в вертикальній площині і гострого кута входження в ґрунт в

горизонтальній площині відбувається відкидання верхніх шарів ґрунту в боки від борозни. Після закінчення середньої і верхньої частини за рахунок збільшення товщини наральника відбувається ущільнення стінок борозни, а рухаючись нижче в задній частині клинова п'ята 3 утворює насінневе ложе для рівномірного розміщення насіння по глибині і довжині рядка. Порожнина яка знаходиться одразу за носком сприяє зменшенню тягового опору сошника і зменшенню налипання ґрунту на п'яту та сприяє її самоочищенню. 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:

1. Завдяки носку наральника і поверхні відкидання з гострим кутом входження в ґрунт за рахунок його незначній ширині тяговий опір сошника мінімальний, а рух по глибині ходу рівномірний. П'ята із тупим кутом входження ґрунт, що розміщена в задній частині наральника забезпечує формування насінневого ложа для рівномірного розміщення насіння по глибині.

2. За рахунок носка в середній і поверхні відкидання в верхній частині наральника 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.

3.3 Обґрунтування тягового опору передньої частини наральника сошника

Для можливості визначення тягового опору передньої робочої частини наральника яка призначена для підготовки утворення борозни і насінневого ложа складемо розрахункову схему рис. 3.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |

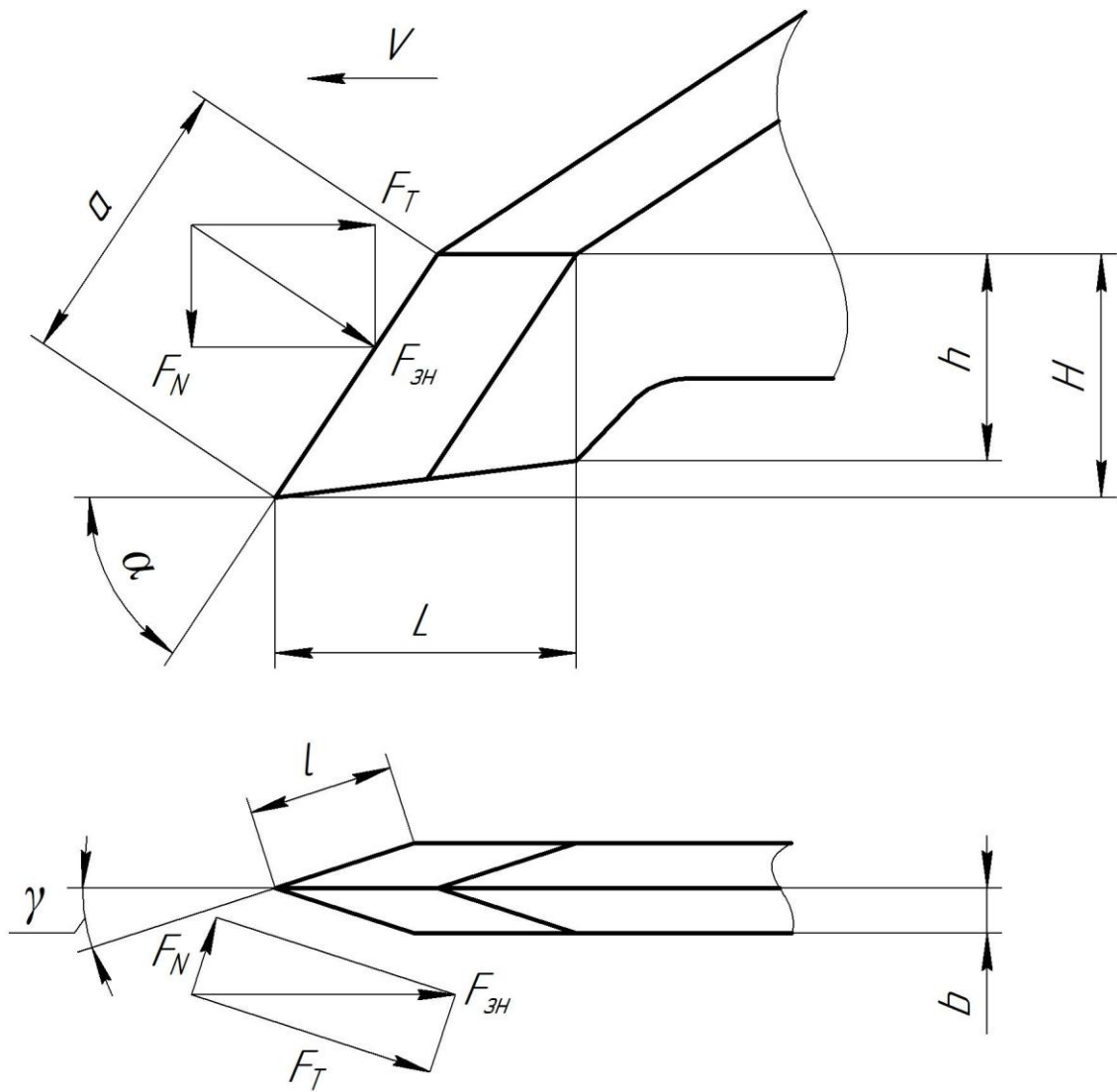


Рис. 3.3 Схема сил які діють на передню частину наральника

На передню частину наральника діють наступні сили які будуть складовими сили опору:

$$F_0 = F_n + F_{bn} + F_{3H}, \quad (3.1)$$

де F_n - сила підйому ґрунту на робочу поверхню наральника;

F_{bn} - сила опору під час руху бічної поверхні наральника в ґрунті;

F_{3H} - сила занурення робочої поверхні наральника в ґрунт.

Силу підйому ґрунту на робочу поверхню наральника можна визначити за наступною залежністю [28]:

$$F_n = \frac{\rho \cdot H \cdot \frac{b}{\sin \alpha} \cdot V^2 \cdot k_i}{g}, \quad (3.2)$$

де ρ - щільність ґрунту;

H - висота робочої поверхні наральника;

b - половина товщини передньої частини наральника сошника;

α - кут атаки носка наральника;

V - швидкість руху сошника;

k_i - коефіцієнт інерції;

g - сила тяжіння.

Коефіцієнт інерції можна визначити за залежністю [28]:

$$k_i = \frac{2 \sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (3.3)$$

де φ - кут тертя ґрунту по сталі;

γ - кут розхилу робочої поверхні наральника в горизонтальній площині.

Силу занурення робочої поверхні наральника в ґрунт можна визначити з рис. 3.3:

$$F_{зг} = F_N + F_T, \quad (3.4)$$

де F_N, F_T - нормальна і дотична складові сили занурення робочої поверхні наральника в ґрунт.

Знайдемо нормальну складову сили занурення робочої поверхні наральника в ґрунт:

$$F_N = 2q \cdot a \cdot l. \quad (3.5)$$

$$F_N = 2q \cdot a \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{H}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2}, \quad (3.6)$$

де a - довжина кромки робочої поверхні наральника;

q - питомий тиск на одиницю площі кромки поверхні наральника.

Знайдемо дотичну складову сили занурення робочої поверхні наральника в ґрунт:

$$F_T = 2f \cdot q \cdot a \cdot l. \quad (3.7)$$

$$F_T = 2 \left(f \cdot q \cdot a \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} \right)^2} \right) \cdot \cos \gamma, \quad (3.8)$$

де $f = \operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт ковзання ґрунту по металу.

Знайдемо силу опору під час руху бічної поверхні наральника в ґрунті:

$$F_{\delta n} = 2f \cdot S \cdot P, \quad (3.9)$$

де P - середній питомий тиск на бічну поверхню наральника;

S - площа бічної поверхні передньої робочої частини наральника.

Площу бічної поверхні передньої робочої частини наральника можна визначити із залежності:

$$S = 0,5(2L - l \cos \gamma) \cdot H - 0,5L^2 \sin \alpha. \quad (3.10)$$

З врахуванням (3.9) маємо:

$$F_{\delta n} = 2f \cdot \left(0,5(2L - l \cos \gamma) \cdot H - 0,5L^2 \sin \alpha \right) \cdot P. \quad (3.11)$$

Визначимо силу опору передньої частини наральника сошника просапної сівалки:

$$F_0 = \frac{\rho \cdot H \cdot \frac{b}{\sin \alpha} \cdot V^2 \cdot \frac{2 \sin \alpha \cdot \sin \gamma \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}}{g} + 2f \cdot \left(0,5(2L - l \cos \gamma) \cdot H - 0,5L^2 \sin \alpha \right) \cdot P + 2 \cdot \left(q \cdot a \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} \right)^2} + \left(f \cdot q \cdot a \cdot \sqrt{H^2 + \left(\frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} \right)^2} \right) \cdot \cos \gamma \right) \quad (3.12)$$

Таким чином, для ефективної роботи наральника сошника необхідно знайти баланс між розхилом робочої поверхні в горизонтальній площині та мінімізацією енергетичних витрат при його русі в ґрунті.

Характер переміщення часток ґрунту визначається кутом розхилу робочої поверхні наральника, геометрією робочої кромки та швидкістю руху [29]. При експлуатаційних швидкостях просапних сівалок 6-8 км/год взаємодія ґрунтових часток із робочою поверхнею наральника відбувається як удар. У процесі руху робоча поверхня наральника із заданою швидкістю ґрунтові частки під її дією змінюють напрямок свого руху. Це відхилення відбувається не по нормалі, а під кутом, що відповідає величині зовнішнього тертя ґрунту. Із рис. 3.4 знайдемо:

$$V_{nn} = V_n \cdot \sin \gamma,$$

$$V_{nn} = V_a \cdot \cos \varphi.$$

Абсолютна швидкість частки m :

$$V_a = V_n \cdot \sin \gamma / \cos \varphi, \quad (3.13)$$

де V_n – поступальна швидкість сошника;

φ – кут зовнішнього тертя.

Залежність (3.13) показує, що при зменшенні γ абсолютна швидкість відкидання ґрунту зменшується. Розкладемо абсолютну швидкість ґрунту на дві складові: V_n і V_x . Дальність відкидання ґрунту вбік від борозни залежить від V_x і визначається:

$$V_x = V_a \cdot \cos(\gamma + \varphi). \quad (3.14)$$

Підставивши (3.13) в (3.14) і перетворивши, маємо:

$$V_x = V_n \cdot \sin^2 \gamma (ctg \gamma - tg \varphi). \quad (3.15)$$

Для визначення максимального значення бокової складової абсолютної швидкості залежність (3.15) дослідимо на екстремум [17]:

$$V_x = V_n \cdot [1 - 2 \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot (ctg \gamma - tg \varphi)] = 0.$$

Тут $V_n \neq 0$, тому:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$1 - 2\sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot (\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \varphi) = 0,$$

а після перетворень: $-\cos (2\gamma + \varphi) = 0,$

звідки $2 \cdot \gamma + \varphi = \pi/2 + k\pi.$ (3.16)

Нами розглядається зміна швидкості в інтервалі $[0; \frac{\pi}{2}]$, то рівняння

(3.16) можна записати: $\gamma = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}.$ Тобто, при $\gamma = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ бічна складова

абсолютної швидкості буде найбільшою, а бокове відкидання ґрунту робочою поверхнею наральника буде максимальним.

Аналізуючи рис. 3.5 видно, що бокова складова V_x зі збільшенням кута розхилу робочої поверхні наральника спочатку збільшується, а потім падає.

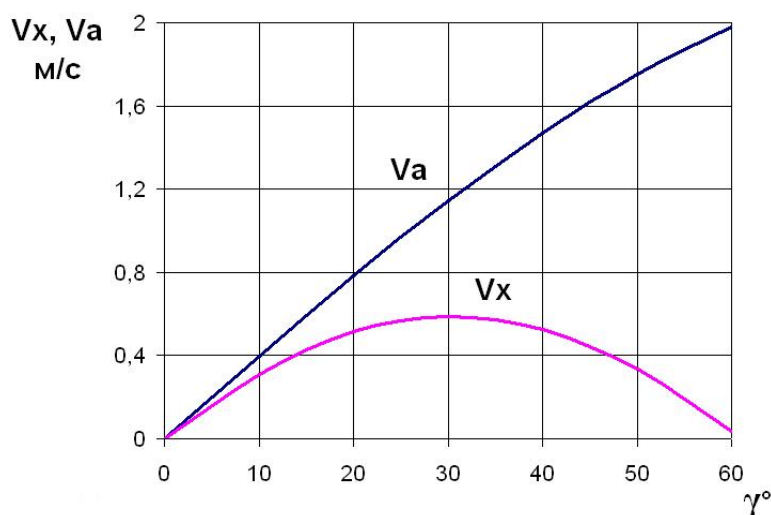


Рис. 3.5 Залежність зміни швидкостей V_a і V_x від кута розхилу робочої поверхні наральника

Щоб визначити дальність бокового відкидання ґрунту, розглянемо переміщення ґрунту, який знаходиться на поверхні поля та зазнає впливу бокової грані робочої поверхні наральника. При досягненні максимальної бокової швидкості відкидання ґрунту відокремлюється від робочої поверхні наральника та починає рухатися по поверхні поля з початковою швидкістю V_{x0} . На частку діє сила тертя, що перешкоджає її руху:

$$F_2' = f_2 \cdot mg \cos(\gamma + \varphi),$$

де f_2 - коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту.

Запишемо диференціальне рівняння руху частки ґрунту в напрямку V_x [17]:

$$m \frac{d^2 S(t)}{dt^2} = -f_2 \cdot mg \cos(\gamma + \varphi). \quad (3.17)$$

Інтегруючи вираз (3.17) по t , знайдемо:

$$V_x = V_{x0} - t \cdot f_2 g \cos(\gamma + \varphi), \quad (3.18)$$

$$X(t) = V_{x0} \cdot t - f_2 g \cos(\gamma + \varphi) \cdot \frac{t^2}{2}. \quad (3.19)$$

Кінцева швидкість частки дорівнює нулю, тому із залежності (3.18) знаходимо час руху частки t :

$$t = \frac{V_{x0}}{gf_2 \cos(\gamma + \varphi)}.$$

Підставимо значення t в вираз (3.19) і з врахуванням (3.15) маємо:

$$L_1 = \frac{V_n^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot (\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \varphi)^2}{2 \cdot f_2 \cdot g \cos(\gamma + \varphi)}. \quad (3.20)$$

Графічний аналіз залежності (3.20) показує, що дальність відкидання в бік частки ґрунту залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту та кута атаки робочої поверхні наральника.

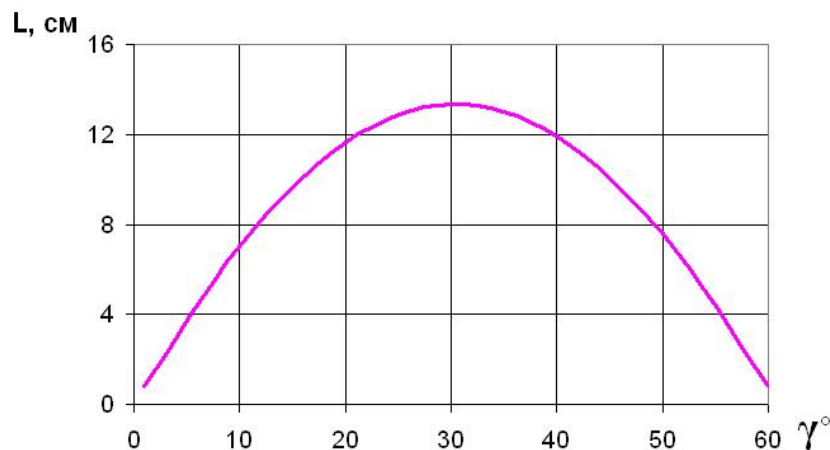


Рис. 3.6 Графік дальності відкидання ґрунту в залежності від кута розхилу робочої поверхні наральника в горизонтальній площині

На частку ґрунту, що розташована на поверхні наральника під кутом нахилу α , діє сила штовхання P під кутом β . В результаті дії цієї сили з боку поверхні наральника виникає нормальна реакція N , яка спрямована перпендикулярно до площини, а також сила тертя F , що діє паралельно поверхні та протидіє руху частки ґрунту [30]. Взаємозв'язок між силою тертя та нормальною реакцією виражається рівнянням:

$$F \leq tg\varphi N, \quad (3.21)$$

де φ - кут тертя.

В проєкціях на осі X і Y рівняння руху маси мають вигляд:

$$-mg \sin \alpha - F + P \cos \beta = mW_x; \quad (3.22)$$

$$-mg \cos \alpha + P \sin \beta + N = 0, \quad (3.23)$$

де W_x - прискорення вздовж осі X .

Якщо $F = kN$, де $k = tg\varphi$ відносно mW_x та N , то розв'язуючи ці рівняння отримаємо:

$$N = mg \cos \alpha - P \sin \beta; \quad (3.24)$$

$$mW_x = -mg \sin \alpha - k(mg \cos \alpha - P \sin \beta) + P \cos \beta. \quad (3.25)$$

Із рівняння (3.24) видно, що для того, щоб ґрунт знаходився на робочій поверхні необхідно і достатньо, щоб була додатньою сила N , тоді:

$$N = mg \cos \alpha - P \sin \beta \geq 0. \quad (3.26)$$

Сила P повинна бути меншою за:

$$P \leq \frac{mg \cos \alpha}{\sin \beta}. \quad (3.27)$$

Щоб за цих умов відбувався рух необхідно і достатньо, щоб сила mW_x була додатньою:

$$mW_x = -mg \sin \alpha - k(mg \cos \alpha - P \sin \beta) + P \cos \beta \geq 0. \quad (3.28)$$

Сила P повинна бути більшою:

$$P \geq \frac{mg \sin \alpha + kmg \cos \alpha}{k \sin \beta + \cos \beta} \quad (3.29)$$

Умова повинна виконуватись при $k = \operatorname{tg} \varphi$.

Перетворивши, отримаємо:

$$P \geq \frac{mg \sin \alpha + kmg \cos \alpha}{k \sin \beta + \cos \beta} = \frac{mg \sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\beta - \varphi)} \quad (3.30)$$

Аналіз залежності (3.30) дає змогу бачити, що чим більший кут нахилу поверхні наральника тим більша сила P потрібна для забезпечення руху ґрунту по ній.

3.6 Обґрунтування кута входу в ґрунт п'яти наральника

На рис. 3.8 зображено сили, що діють у вертикальній площині на нижню частину наральника, яка має тупий кут входження в ґрунт. Серед них виділяються нормальна реакція ґрунту, сила тертя, а також вертикальна складова тягового опору, які визначають стабільність руху сошника та якість утворення насінневого ложа [30].

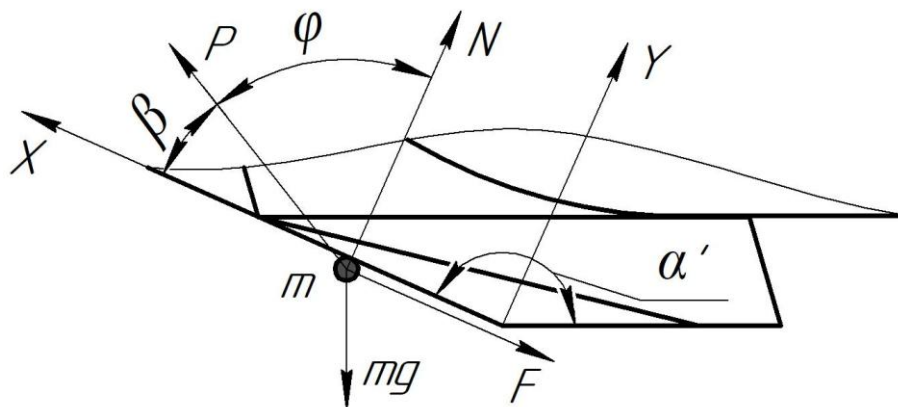


Рис. 3.8 Схема взаємодії з ґрунтом п'яти наральника

Рівняння руху в проекціях на осі X і Y :

$$-mg \sin \alpha' - F + P \cos \beta = mW_x; \quad (3.31)$$

$$mg \cos \alpha' + P \sin \beta + N = 0, \quad (3.32)$$

Вирішимо ці рівняння за умови, що $F = kN$, відносно mW_x та N :

$$N = -mg \cos \alpha' - P \sin \beta ; \quad (3.33)$$

$$mW_x = -mg \sin \alpha' - k(-mg \cos \alpha' - P \sin \beta) + P \cos \beta . \quad (3.34)$$

Рівняння (3.33) показує, що для того, щоб ґрунту знаходився на робочій поверхні необхідно і достатньо, щоб сила N була додатньою, тобто:

$$N = -mg \cos \alpha' - P \sin \beta \geq 0 . \quad (3.35)$$

Сила P не повинна бути більшою за:

$$P \leq -\frac{mg \cos \alpha'}{\sin \beta} . \quad (3.36)$$

Величина сили mW_x повинна бути додатньою для того, щоб за цих умов почався рух:

$$mW_x = -mg \sin \alpha' - k(-mg \cos \alpha' - P \sin \beta) + P \cos \beta \geq 0 . \quad (3.37)$$

Сила P повинна перевищувати:

$$P \geq \frac{mg \sin \alpha' - kmg \cos \alpha'}{k \sin \beta + \cos \beta} . \quad (3.38)$$

при $k = tg \varphi$ і після перетворень:

$$P = \frac{mg \sin(\alpha' - \varphi)}{\cos(\beta - \varphi)} . \quad (3.39)$$

Рівняння (3.39) показує, що збільшення кута нахилу робочої поверхні наральника зменшує необхідну силу для переміщення частки ґрунту. Для більш точного визначення раціональних кутів нахилу передньої робочої поверхні середньої та п'яти, нижньої частини наральника, у вертикальній площині слід враховувати матеріал його виготовлення та умови експлуатації, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на тяговий опір сошника. Для подальших розрахунків і досліджень можна прийняти, що кут нахилу верхньої частини наральника дорівнює 30° , а кут нахилу п'яти знаходиться в межах 165° . Остаточне уточнення цих параметрів можливе лише після додаткових лабораторних досліджень.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

4. Охорона праці

4.1 Перед початком робіт необхідно

Під час експлуатації посівного агрегату, що включає трактор і просапну сівалку, можуть виникати небезпечні ситуації. Зокрема, рухомі частини і механізми, такі як ланцюгові передачі, шестерні та ведучі колеса, за недотримання правил техніки безпеки можуть спричинити травмування кінцівок. Крім того, під час роботи сівалки глибоке заглиблення сошників у ґрунт викликає підвищене запилення робочої зони. Додатковими факторами ризику є посилений шум і вібрація, що генеруються трактором і агрегатом, а також вплив хімічних речовин. Зокрема, контакт із протруєним насінням або пилом мінеральних добрив, які засипаються в бункери, може викликати інтоксикацію чи подразнення шкіри. Окрім фізичних загроз, варто враховувати нервово-психологічне навантаження оператора, яке виникає через монотонність посівного процесу [31].

Перед початком роботи необхідно перевірити наявність і правильне використання засобів індивідуального захисту. Важливо правильно вдягнути спеціальний одяг, щільно застібнути рукава та переконатися у відсутності виступаючих елементів, щоб запобігти можливим травмам. Перед виїздом до місця проведення робіт слід ознайомитися з маршрутом руху машинно-тракторного агрегату. Також необхідно врахувати інформацію від керівника робіт щодо території, зокрема про потенційно небезпечні ділянки, розташування контрольно-попереджувальних міток, наявність ліній електропередач, місця для відпочинку та доступ до питної води. Окрім цього, слід переконатися, що машинно-тракторний агрегат оснащений необхідними засобами пожежогасіння та аптечкою для надання першої медичної допомоги.

4.2 Охорона праці при виконанні робіт на посівних агрегатах

Охорона праці під час роботи на посівних агрегатах передбачає дотримання певних правил і заходів безпеки для мінімізації ризиків

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

травматизму, професійних захворювань та аварійних ситуацій. Основні вимоги охорони праці можна поділити на кілька категорій [31-37]:

Загальні вимоги безпеки:

до роботи на посівних агрегатах допускаються особи, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, інструктаж із охорони праці та отримали відповідний допуск;

працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): спецодяг, захисні окуляри, респіратори (при роботі з добривами та протруєним насінням), рукавиці, засоби захисту органів слуху (при підвищеному рівні шуму);

перед початком роботи необхідно ознайомитися з особливостями території виконання робіт, зокрема з можливими небезпечними місцями (яри, лінії електропередач, нерівності ґрунту тощо).

Вимоги безпеки перед початком роботи:

провести технічний огляд трактора та сівалки: перевірити справність двигуна, гальм, рульового управління, електрообладнання, механізмів сівалки та гідравлічної системи;

переконатися у правильному кріпленні посівного агрегату до трактора та відсутності пошкоджень на елементах з'єднання;

оглянути робоче місце на наявність сторонніх предметів, які можуть спричинити несправності чи аварійні ситуації;

забезпечити наявність засобів пожежогасіння (вогнегасників), аптечки першої допомоги та комплекту необхідного інструменту;

ознайомитися з маршрутом руху та розташуванням контрольних точок, місць відпочинку та доступу до питної води.

Вимоги безпеки під час роботи:

заборонено виконувати будь-які ремонтні або регулювальні роботи на ходу агрегату;

під час руху заборонено перебувати на сівалці або між трактором і агрегатом;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

оператор повинен дотримуватись безпечної швидкості руху, враховуючи рельєф місцевості та погодні умови;

Заборонено працювати у стані алкогольного, наркотичного чи медикаментозного сп'яніння;

особливу увагу слід приділяти роботі з хімічними речовинами (добривами, протруєним насінням). Всі завантажувальні операції необхідно виконувати у спецодязі, використовуючи респіратор та рукавиці;

при підвищеному рівні шуму необхідно використовувати засоби захисту слуху;

слід уникати тривалого перебування у кабіні трактора без провітрювання.

Вимоги безпеки після завершення роботи:

вимкнути двигун трактора, зупинити всі механізми, зняти тиск у гідросистемі;

провести очищення сівалки та трактора від ґрунту, залишків добрив або насіння, дотримуючись правил безпеки;

перевірити технічний стан агрегату, виявити можливі пошкодження та усунути їх;

пройти санітарну обробку: вимити руки, обличчя, при роботі з хімічними речовинами прийняти душ;

провести запис у журналі технічного обслуговування щодо стану агрегату після завершення зміни.

Додаткові вимоги безпеки при роботі в особливих умовах:

нічні роботи проводити при забезпеченні достатнього освітлення робочої зони та агрегату;

при роботі у вологих умовах необхідно враховувати можливість пробуксовки трактора, дотримуватись зниженої швидкості;

під час роботи на схилах слід уникати різких поворотів, рухатися вздовж схилу, контролювати рівномірний розподіл навантаження на агрегат.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

4.3 Заходи з покращення умов праці при роботі агрегату із просапною сівалкою

Під час роботи агрегату з просапною сівалкою оператори зазнають впливу різних шкідливих і небезпечних факторів, таких як вібрація, шум, запиленість, контакт із хімічними речовинами та нервово-психологічне навантаження. Для покращення умов праці необхідно впроваджувати комплекс заходів, спрямованих на зменшення негативного впливу цих факторів та створення комфортних умов роботи [31-37]:

зменшення рівня шуму та вібрації - використання сучасних тракторів із покращеною шумо та віброізоляцією кабіни; використання амортизуючих сидінь у кабіні трактора для зниження вібраційного навантаження на оператора; використання засобів індивідуального захисту органів слуху, таких як навушники або беруші.

зменшення запиленості та хімічного впливу - обладнання місця завантаження насіння та добрив спеціальними системами пилопоглинання; використання закритих бункерів для добрив і протруєного насіння для запобігання поширенню пилу; впровадження автоматизованих або механізованих способів завантаження матеріалів, що зменшує контакт працівника з хімічними речовинами; застосування респіраторів і захисних окулярів при роботі з пиловими та хімічними речовинами; регулярне провітрювання кабіни трактора та встановлення систем кондиціонування повітря.

покращення ергономіки робочого місця - регулювання сидіння оператора відповідно до анатомічних особливостей для зменшення втоми та навантаження на спину; встановлення зручних важелів і педалей керування для зниження фізичного навантаження; автоматизація деяких процесів, таких як контроль висіву або глибини загортання насіння, що знижує навантаження на оператора.

організація оптимального режиму праці та відпочинку - дотримання встановленого режиму роботи з періодичними перервами для зменшення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

втоми та підвищення продуктивності праці; облаштування місць для відпочинку з доступом до питної води та зоною для прийому їжі; чітке планування робочого дня з урахуванням рівномірного розподілу навантаження на оператора; проведення ротації операторів для зниження монотонності роботи та нервово-психологічного навантаження.

підвищення рівня безпеки під час роботи - контроль технічного стану обладнання перед початком роботи для запобігання аварійним ситуаціям; встановлення захисних кожухів на рухомих частинах сівалки для запобігання контакту оператора з механізмами; наявність аптечки першої допомоги та засобів пожежогасіння на робочому місці.

психологічна підтримка та навчання персоналу - проведення регулярних інструктажів і навчальних курсів щодо безпечної роботи з посівною технікою; ознайомлення операторів із сучасними технологіями та методами зниження фізичного навантаження; мотивація працівників через покращення умов праці, надання додаткових бонусів за ефективність та безпеку роботи; проведення профілактичних медичних оглядів для контролю стану здоров'я операторів.

Впровадження комплексних заходів із покращення умов праці при роботі агрегату з просапною сівалкою дозволить значно зменшити вплив шкідливих факторів, підвищити продуктивність праці та рівень безпеки, а також сприятиме зниженню ризиків професійних захворювань і травм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

5. Економічна частина

5.1 Шляхи отримання можливого економічного ефекту від впровадження у виробництво модернізованого насінневого сошника просапної сівалки

Впровадження модернізованого насінневого сошника просапної сівалки може забезпечити значний економічний ефект як для виробника, так і для споживача. Ефективність такого вдосконалення полягає у зниженні витрат на вирощування культур, підвищенні врожайності та оптимізації технологічного процесу [38].

Економічний ефект для виробника сільськогосподарської техніки:

впровадження інноваційних розробок у конструкцію сошника дозволить виробнику запропонувати аграріям більш ефективний продукт, що забезпечить йому перевагу на ринку;

висока якість посіву, яку гарантує модернізований сошник, створить додатковий попит серед споживачів, що сприятиме розширенню ринку збуту.

використання нових матеріалів та технологій виробництва може зменшити витрати на виготовлення деталей сошника;

раціоналізація конструкції дозволить скоротити витрати на механічну обробку, зварювальні роботи та монтаж;

висока надійність модернізованого сошника зменшить необхідність у гарантійному обслуговуванні та ремонтах.

Підвищення рентабельності виробництва:

за рахунок зростання попиту на модернізовану техніку виробник може підвищити обсяги виробництва та реалізації;

покращені експлуатаційні характеристики сошника дозволять виправдати вищу ціну на продукцію, що збільшить маржинальність продажу;

оптимізація логістичних процесів (менша потреба у запасних частинах і гарантійному обслуговуванні) сприятиме додатковому скороченню витрат.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Економічний ефект для сільськогосподарського виробника (споживача)

Підвищення врожайності просапних культур [38]:

завдяки рівномірному розподілу насіння в борозні та точному дотриманню заданої глибини посіву зменшуються втрати при проростанні рослин, що збільшує загальну врожайність;

оптимальна ширина і глибина борозни, яку забезпечує модернізований сошник, сприяє рівномірному розвитку кореневої системи, що покращує живлення рослин і їх стійкість до стресових факторів (посуха, затоплення).

Зниження витрат на посівні матеріали та добрива:

висока точність висіву дозволяє зменшити норму висіву без втрати продуктивності, що скорочує витрати на насіння.

рівномірний розподіл насіння та зменшення його втрат дозволяє скоротити потребу у додаткових агротехнічних заходах, зокрема пересіві;

завдяки правильному формуванню борозни та оптимальному розташуванню насіння підвищується ефективність використання добрив, що зменшує їх перевитрату.

Оптимізація витрат на паливо та амортизацію техніки [38]:

модернізована конструкція сошника зменшує тяговий опір агрегату, що знижує витрати пального трактора при виконанні посівних робіт;

менше навантаження на трактор і сівалку зменшує рівень зношування деталей, що скорочує витрати на їх технічне обслуговування та ремонт.

Скорочення строків проведення посівних робіт:

оптимізація роботи сошника дозволяє підвищити швидкість сівби без втрати якості, що особливо важливо у стислі агротехнічні терміни;

менша кількість зупинок і налаштувань під час роботи знижує загальний час, необхідний для виконання посівних робіт.

Підвищення довговічності сівалки та зниження експлуатаційних витрат:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

завдяки зменшенню зусиль, необхідних для проходження сошника через ґрунт, зменшується загальне навантаження на вузли та механізми сівалки, що подовжує термін її експлуатації;

покращена конструкція сошника дозволяє знизити зношування робочих органів, що зменшує витрати на їх заміну та ремонт;

висока якість виготовлення і матеріалів знижує ймовірність поломок у польових умовах, що мінімізує простої техніки та втрати від несвоєчасного посіву.

Впровадження у виробництво модернізованого насінневого сошника просапної сівалки може принести відчутний економічний ефект як для виробників техніки, так і для аграріїв. Виробник отримує конкурентну перевагу, зменшує собівартість виробництва та підвищує рентабельність, тоді як сільськогосподарський виробник скорочує витрати на паливо, добрива, посівний матеріал і технічне обслуговування, одночасно підвищуючи врожайність та якість посіву. Загалом, застосування модернізованого сошника сприяє підвищенню ефективності аграрного виробництва та забезпечує стабільний економічний результат.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

Висновки

1. Покращення конструкції наральника сошника може напряду впливати на підвищення ефективності та якості посіву просапних культур, що в свою чергу може сприяти збільшенню врожайності за рахунок покращення умов для проростання насіння, тому розробка нових конструкцій наральників сошників та вдосконалення технології їх використання є актуальним завданням.

2. В процесі аналізу конструкцій існуючих наральників сошників було визначено, що перспективним напрямом удосконалення сучасних сошників є комбінування тупого і гострого кутів входження в ґрунт їх робочих поверхонь.

3. В процесі модернізації була запропонована удосконалена конструкція сошника яка має комбінований наральник і складається із трьох робочих частин середня частина призначена для утворення борозни і має в вертикальній і горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт, верхня частина призначена для відведення сухого ґрунту в бік від борозни і має в вертикальній площині кут атаки в два рази більший ніж в середній, а в горизонтальній площині гострий кут входження в ґрунт, в задній нижній частині наральника розміщена клинова п'ята із тупим кутом входження в ґрунт, яка призначена для утворення насіннєвого ложа, причому середня і верхня частини наральника мають товщину в два рази меншу ніж нижня задня, а носок наральника має загострення в нижній частині і порожнину одразу за ним яка сприяє зменшенню тягового опору сошника і зменшенню налипання ґрунту на п'яту, всі робочі частини наральника нахилені під кутом меншим кута тертя ґрунту по сталі.

4. На основі математичної моделі обґрунтовано закономірності впливу геометричних параметрів елементів наральника сошника на тяговий опір та технологічний процес роботи.

5. Теоретично було встановлено, що кут розхилу передньої частини наральника в горизонтальній площині не повинен перевищувати $\gamma = 15^0$, а кут

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

атаки в вертикальній площині носка наральника складе 30° та п'яти в задній нижній частині наральника буде знаходитись в межах 165° .

5. Розроблені заходи для усунення шкідливих та небезпечних виробничих факторів покращення умов праці під час роботи на посівних агрегатах.

6. Розроблена конструкція сошника просапної сівалки Vesta Profi 8, дає можливість суттєво покращити процес утворення борозни та значно зменшити тяговий опір самого сошника, а також сприяти формуванню більш кращих умов для проростання та покращення процесу укладання насіння просапних культур.

| | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | <small>Арк.</small> |
| <small>Змн.</small> | <small>Арк.</small> | <small>№ докум.</small> | <small>Підпис</small> | <small>Дата</small> | | 50 |

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 730 с.
2. Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур : монографія / В.М. Сало, О.Р. Лузан, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. - Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. - 164 с.
<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5473>
3. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.
4. Сисолін П.В. та інші. 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.
5. Артеменко Д.Ю. Дослідження і розробка удосконаленої конструкції сошника просапної сівалки / Д.Ю. Артеменко, О.С. Магопець, П.М. Соломашенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ, 2010. - Вип. 40, ч.1. - С. 136-142.
<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1795/1/26.pdf>
6. Operating manual. AMAZONE. Precision airplanter. AMAZONENWERKE H. DREYER GmbH & Co. KG. Germany, 2017. 224p.
<http://et.amazone.de/files/pdf/mg5226.pdf>
7. MONOSEM. The precision Planter specialist. MECA V4. Ribouleau MONOSEM – FRANCE, 2018. 24p. <https://www.monosem.com/Range/Planter-range/MECA-V4>
8. KUHN. PLANTER 3. Precision seed drills. Kuhn farm machinery (UK), 2015. 24p. <http://www.kuhn.co.uk/uk/range/seeding/pneumatic-precision-seed-drills/planter-3-m-single-bar.html>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

9. 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

10. KVERNELAND. Monopill - Mechanische Einzelkornsämaschine. Präzise Vereinzelnung - nicht nur bei Rüben. Kverneland Group Deutschland GmbH, 2017. 16p.

<https://www.kverneland.de/Saetechnik/Einzelkornsämaschinen/Kverneland-Monopill-Monopill-e-drive-II>

11. Nielsen, Søren & Munkholm, Lars & Lamandé, Mathieu & Nørremark, Michael & Skou-Nielsen, Nick & Edwards, Gareth & Green, Ole. (2017). Seed drill instrumentation for spatial coulter depth measurements. Computers and Electronics in Agriculture. 141. 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.014>

12. Brunotte, J. Architektur moderne Pflanzen / J. Brunotte, K. Sommer, B. Gattermann // AMAZONEN-WERKE H. Dreyer GmbH & Co. KG. Hasbergen, 2005 – 92 s.

http://seyalka.com/catalog/arhitektura_sovremennogo_rastenievodstva.html

13. О. Мельник. Насіння від SESVanderHave – запорука Вашого успішного буряківництва. Бібліотека Сесвандерхаве. 2016, 24 с. https://sv-ukraine.com.ua/images/Technology_nasinya.pdf

14. 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>

15. European Commission, Directorate General IA, Tacis. Sugar beet cultivation: technical conclusions based on experience gained in the Krasnodar region. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 1995. - 60p.

16. Бойко А.І. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин / А.І. Бойко, М.О. Свірень, С.І. Шмат, М.М. Ножнов. – К., 2003. – 203 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

17. Дмитро Артеменко. Дослідження конструкційних параметрів елементів сошника для посіву просапних культур. Науково-технічні дослідження у галузі механічної інженерії та транспорту: колективна монографія / заг. ред. А.А. Кашканова. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2023. – С. 72-110.
https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/mech_transport.pdf

18. 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.
<https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

19. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин / В.Т. Павлице. – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.

20. Деталі машин: підручник / [А.В. Міняйло, Л.М. Тіщенко, Д.І. Мазоренко та ін.] – К.: Агроосвіта, 2013. – 448с.

21. 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.

22. Бакум М.В. Сільськогосподарські машини / М.В. Бакум, І.С. Бобрусь, А.О. Михайлов та ін. Харківський національний технічний ун-т сільськогосподарства ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2005. Ч. 3: Посівні машини. – 2005. – 332с.

23. А.с. 1496672, МКІ А 01С 7/20. Полозковий сошник / С.А. Юров, П.А. Щербина, Н.І. Саламатін; заявник і патентовласник КНІСХ ім. П.П. Лукьяненко. – № 4081462/30-15; заявл. 05.05.86; опубл., 30.07.89, Бюл. №28.

24. А.с. 1575990, МКІ А 01С 7/20. Сошник / Г.І. Бондаренко, В.А. Бесчеревних, Е.В. Чумаков, М.М. Матукевич; заявник і патентовласник РДІСХМ. – № 4493333/30-15; заявл. 16.08.88; опубл., 07.07.90, Бюл. №25.

25. Фалола О.І. Дослідження технології внесення насіння в ґрунт і пошук оптимальних параметрів наральникових сошників: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.20.01 / ХГТУСХ. – Харків, 1996. – 25 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

26. Морозов І.В. Технологічні і технічні основи удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок: Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.05.11 / ТДТУ ім. Івана Пулюя. – Тернопіль, 2003. – 40 с.
<http://base.dnsgb.com.ua/files/ard/2003/03mivszs.pdf>

27. Артеменко Д.Ю. та ін. Патент № 133540, Сошник. МПК А01С 7/20 (2006.01); u 201811332; Заявл. 19.11.2018; Опубл. 10.04.2019, Бюл. №7.

28. Синєоков Г.М., Панов І.М. Теорія і розрахунок ґрунтообробних машин. – М.: Машинобудування, 1977. – 330с.

29. Артеменко Д.Ю., Магопєць О.С. Математична модель процесу роботи клинових відвальників щік сошника секції просапної сівалки. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2011, випуск 41, Ч. 2. – С. 130 – 136.

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

31. 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.

32. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту.
http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf

33. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf

34. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин. https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

35. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машина сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.

36. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.
http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM

37. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

38. Єрмаков О.Ю. Організація сільськогосподарського виробництва. Навч. метод. посібник– 2 –ге вид., доп. і перер. - К.: НАУ, 2007. – 266 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | МПС 00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

Додатки

