

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 першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

"Модернізація сівалки для сіви цукрових буряків з
удосконаленням сошника"

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____ Данільченко Олександр Олександрович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доцент, канд. техн. наук

_____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет агротехнічний

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Данільченко Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Модернізація сівалки для сівби цукрових буряків з удосконаленням сошника»

2. Керівник кваліфікаційної роботи _____

, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою даної бакалаврської роботи є підвищення ефективності роботи сівалки УПС-12 для сівби цукрових буряків шляхом модернізації її посівної секції та удосконалення конструкції сошника.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

– проаналізувати існуючі конструкції сівалок та їх робочих органів;

– дослідити конструкцію і принцип роботи базового сошника сівалки УПС-12;

– виявити основні недоліки його роботи в різних ґрунтових умовах;

– запропонувати удосконалену конструкцію сошника;

– виконати необхідні технологічні, силові та енергетичні розрахунки;

– провести розрахунок основних деталей модернізованого вузла на міцність.

5. Перелік графічного матеріалу 1. Сівалка точного висіву УПС-12 – ф. А1.

2. Секція посівна – ф. А1. 3. Сошник – ф. А2. 4. Деталювання – ф. А2.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1.	Складання технічного завдання на виконання роботи	до 12.04.2026 р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування проблеми вдосконалення запропонованої машини	до 08.05.2026 р.	
3.	Підготовка та подання керівнику роботи: - стан питання про машину, яке підлягає модернізації; - конструкторської частини; - вступу та загальних висновків.	до 01.06.2026 р. до 01.06.2026 р. до 05.06.2026 р.	
4.	Доопрацювання кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника. Одержання відгуку	до 10.06.2026 р.	
5.	Перевірка роботи на плагіат	за 10 днів до захисту	
6.	Проходження нормо-контролю	за 8 робочих днів до захисту	
7.	Подання роботи завідувачу кафедри на перевірку	за 6 робочих днів до захисту	
8.	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень завідувача кафедри. Допуск роботи до захисту	за 3 робочі дні до захисту	
9.	Рецензування кваліфікаційної роботи. Підготовка документів, що подаються до ЕК	за 2 робочі дні до захисту	
10.	Подання кваліфікаційної роботи та документів до ЕК	за день до захисту	
11.	Захист кваліфікаційної роботи	за графіком кафедри	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

Олександр ДАНІЛЬЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розглянуто питання підвищення ефективності технологічного процесу сівби цукрових буряків шляхом модернізації сівалки точного висіву УПС-12 та удосконалення конструкції її сошника. Проведено аналіз агротехнічних вимог до сівби цукрових буряків, а також огляд конструкцій сучасних сівалок точного висіву та їх робочих органів. Особливу увагу приділено конструкціям сошників, від роботи яких значною мірою залежить якість формування посівної борозни, рівномірність розміщення насіння та забезпечення його контакту з вологим ґрунтом.

Упровадження запропонованої модернізації дозволяє підвищити якість виконання технологічного процесу сівби, забезпечити більш стабільне розміщення насіння у борозні та створити сприятливі умови для його проростання.

сівалка точного висіву, цукрові буряки, сошник, прикочувальний ролик

ABSTRACT

The bachelor's thesis addresses the issue of improving the efficiency of the technological process of sugar beet sowing by modernizing the precision seeder UPS-12 and improving the design of its opener. An analysis of agrotechnical requirements for sugar beet sowing was carried out, as well as a review of the designs of modern precision seeders and their working units. Particular attention is paid to the designs of seed openers, whose operation largely determines the quality of seed furrow formation, the uniformity of seed placement, and the provision of proper seed contact with moist soil.

The implementation of the proposed modernization makes it possible to improve the quality of the sowing process, ensure more stable seed placement in the furrow, and create favorable conditions for seed germination.

precision seeder, sugar beet, seed opener, press roller

ЗМІСТ

	Стор.
1. ВСТУП	5
2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ	7
2.1. Агротехнічні вимоги до сівби цукрових буряків	7
2.2. Огляд конструкцій сівалок точного висіву	8
2.3. Аналіз конструкцій сошників сівалок точного висіву	10
2.4. Будова та робота сошника сівалки УПС-12	13
2.5. Обґрунтування необхідності модернізації сошника	14
2.6. Висновки по розділу	16
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	18
3.1. Конструкція модернізованого сошника	18
3.2. Технологічне обґрунтування параметрів модернізованого сошника	20
3.3. Силовий аналіз роботи модернізованого сошника	22
3.4. Енергетичний розрахунок роботи модернізованого сошника .	26
3.5. Визначення параметрів борозни та посівного ложа	28
3.6. Розрахунок осі прикочувального ролика на міцність	32
3.7. Розрахунок кронштейна кріплення ролика на міцність	34
3.8. Аналіз технологічного процесу роботи модернізованого сошника	35
3.9. Переваги модернізованого сошника порівняно з базовою конструкцією	38
3.10. Висновки по розділу	40
4 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	43
Додатки	46

1. ВСТУП

Цукрові буряки є однією з найважливіших технічних культур, що вирощуються в Україні. Вони займають значне місце у структурі посівних площ та забезпечують сировиною цукрову промисловість. Рівень урожайності цукрових буряків значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій під час їх вирощування, серед яких однією з найважливіших є сівба. Саме від точності розміщення насіння у ґрунті, рівномірності глибини загортання та забезпечення контакту насінини з вологим шаром ґрунту залежить дружність сходів, рівномірність розвитку рослин і, як наслідок, кінцевий урожай.

Для виконання сівби цукрових буряків широко застосовуються сівалки точного висіву. Однією з найбільш поширених машин такого типу є сівалка УПС-12, яка призначена для пунктирного висіву насіння просапних культур. Ця машина характеризується достатньою продуктивністю, простотою конструкції та надійністю в роботі. Однак під час експлуатації в різних ґрунтово-кліматичних умовах виявляються певні недоліки, що пов'язані з роботою окремих робочих органів, зокрема сошників. Саме сошник є одним із найважливіших елементів посівної секції, оскільки він формує борозну необхідної глибини, забезпечує правильне укладання насіння та створює умови для його подальшого загортання.

Аналіз конструкцій сошників, що застосовуються у сівалках точного висіву, показує, що в процесі роботи часто виникають проблеми, пов'язані з нерівномірністю загортання насіння, його розкочуванням по дну борозни та недостатнім контактом із вологим ґрунтом. Особливо ці недоліки проявляються під час роботи на перезволожених або важких ґрунтах. У таких умовах бокові поверхні сошника можуть залипати ґрунтом, що призводить до порушення процесу формування борозни і погіршення якості загортання насіння. У результаті цього насіння може розміщуватися на різній глибині, що негативно впливає на дружність сходів і подальший розвиток рослин.

					БС 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Данільченко				Модернізація сівалки для сівби цукрових буряків з удосконаленням сошника	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.							5	46
Н. контр.						ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		
Затв.								

Одним із напрямів підвищення якості виконання технологічного процесу сівби є удосконалення конструкції сошника. Поліпшення конструктивних параметрів цього робочого органа дозволяє забезпечити стабільне формування борозни, точніше розміщення насіння та покращення контакту насіння з ґрунтом. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню польової схожості насіння, більш рівномірному розвитку рослин і збільшенню врожайності культури.

У зв'язку з цим актуальним є питання модернізації сівалок точного висіву шляхом удосконалення конструкції їхніх робочих органів. Одним із перспективних напрямів є застосування конструкцій, які забезпечують додаткове притискання насіння до дна борозни без порушення структури ґрунту. Використання таких технічних рішень дозволяє зменшити ймовірність розкочування насіння та забезпечити його стабільне розміщення у вологому шарі ґрунту.

Метою даної бакалаврської роботи є підвищення ефективності роботи сівалки УПС-12 для сівби цукрових буряків шляхом модернізації її посівної секції та удосконалення конструкції сошника.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати існуючі конструкції сівалок точного висіву та їх робочих органів;
- дослідити конструкцію і принцип роботи базового сошника сівалки УПС-12;
- виявити основні недоліки його роботи в різних ґрунтових умовах;
- запропонувати удосконалену конструкцію сошника;
- виконати необхідні технологічні, силові та енергетичні розрахунки;
- провести розрахунок основних деталей модернізованого вузла на міцність.

Об'єктом дослідження є технологічний процес сівби насіння цукрових буряків сівалкою точного висіву.

Предметом дослідження є конструкція сошника посівної секції сівалки УПС-12.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1. Агротехнічні вимоги до сівби цукрових буряків.

Цукрові буряки належать до культур, які висувають підвищені вимоги до якості виконання технологічних операцій під час вирощування. Однією з найвідповідальніших операцій є сівба, оскільки саме на цьому етапі формується густота стояння рослин, рівномірність їх розміщення у рядку та забезпечується оптимальна глибина загортання насіння.

Насіння цукрових буряків має порівняно невеликі розміри та обмежений запас поживних речовин, тому для забезпечення дружніх сходів воно повинно бути розміщене у добре підготовленому посівному ложі, яке забезпечує надійний контакт із вологим ґрунтом. Порушення цих умов може призвести до нерівномірних сходів, зрідженості посівів та зниження врожайності культури.

Основними агротехнічними вимогами до сівби цукрових буряків є:

рівномірне розміщення насіння у рядку з заданим інтервалом;

забезпечення постійної глибини загортання насіння;

формування рівного та ущільненого ложа для насіння;

забезпечення контакту насіння з вологим шаром ґрунту;

мінімальне пошкодження насіння під час висіву;

рівномірне загортання насіння та формування оптимального ґрунтового покриву над ним.

Як правило, глибина загортання насіння цукрових буряків становить 3–5 см залежно від типу ґрунту та його вологості. На легких ґрунтах допускається дещо більша глибина загортання, тоді як на важких та вологих ґрунтах глибину необхідно зменшувати.

Особливу роль у забезпеченні зазначених агротехнічних вимог відіграє конструкція сошника. Саме цей робочий орган формує борозну необхідної глибини, у яку подається насіння, та забезпечує умови для його правильного розміщення. Недосконалість конструкції сошника може призвести до

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

нерівномірної глибини висіву, розкочування насіння по борозні або його недостатнього контакту з ґрунтом.

Тому вдосконалення конструкції сошників сівалок точного висіву є одним із важливих напрямів підвищення якості сівби просапних культур, у тому числі й цукрових буряків.

2.2. Огляд конструкцій сівалок точного висіву.

Для сівби насіння цукрових буряків та інших просапних культур застосовують сівалки точного висіву. Основною особливістю таких машин є здатність забезпечувати поштучне висівання насіння з заданим інтервалом між насінинами у рядку. Це дозволяє формувати оптимальну густоту стояння рослин та створювати сприятливі умови для їх росту і розвитку.

Сучасні сівалки точного висіву мають модульну конструкцію і складаються з окремих посівних секцій, які встановлюються на рамі машини. Кожна секція виконує висів насіння у відповідний рядок і містить основні робочі органи, що забезпечують виконання технологічного процесу сівби.

До основних елементів сівалки точного висіву належать: рама; посівні секції; бункери для насіння; висівні апарати; насіннепроводи; сошники; загортачі; прикочувальні котки.

Рама є основою машини, на якій закріплюються всі робочі органи та посівні секції. Посівні секції розміщуються на рамі з певним міжряддям, яке відповідає технології вирощування культури. Для цукрових буряків зазвичай застосовують міжряддя 45 см.

Бункер призначений для зберігання насіння під час роботи машини. З бункера насіння надходить до висівного апарата, який забезпечує поштучне захоплення та подачу насіння у насіннепровід.

Через насіннепровід насіння подається до сошника. Сошник формує у ґрунті борозну необхідної глибини, у яку укладається насіння. Після цього загортачі засипають борозну ґрунтом, а прикочувальні котки ущільнюють ґрунт над насінням.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Таким чином, технологічний процес сівби здійснюється послідовною роботою всіх робочих органів посівної секції.

Серед сівалок точного висіву, що застосовуються у сільському господарстві України, поширеними є машини типу УПС, СУПН та інші аналогічні конструкції. Однією з таких машин є сівалка УПС-12, яка призначена для пунктирного висіву насіння просапних культур.



Рисунок 2.1 – Пневматична сівалка точного висіву УПС-12

Сівалка УПС-12 має ширину захвату, що забезпечує одночасний висів у дванадцять рядків. Вона агрегується з тракторами тягового класу 1,4–2 і характеризується достатньою продуктивністю, простотою конструкції та надійністю в роботі.

Однак під час експлуатації сівалок точного висіву виявляються певні недоліки, пов'язані з роботою окремих робочих органів, зокрема сошників. Саме цей робочий орган безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і визначає якість формування борозни та умови розміщення насіння.

Тому удосконалення конструкції сошника є одним із перспективних напрямів підвищення ефективності роботи сівалок точного висіву.

2.3. Аналіз конструкцій сошників сівалок точного висіву.

Сошник є одним із основних робочих органів сівалки, який безпосередньо взаємодіє з ґрунтом та формує борозну для укладання насіння. Від конструкції сошника значною мірою залежить якість виконання технологічного процесу сівби, зокрема стабільність глибини загортання насіння, форма борозни та умови контакту насіння з ґрунтом.

Основними функціями сошника є: формування борозни заданої глибини; забезпечення стабільного положення насіння у борозні; створення умов для рівномірного загортання насіння ґрунтом; забезпечення мінімального порушення структури ґрунту.

У сівалках точного висіву застосовують різні типи сошників, конструкція яких залежить від умов роботи, типу ґрунту та особливостей технології вирощування культури.

Найбільш поширеними є такі типи сошників: анкерні; дискові; комбіновані.

Анкерні сошники формують борозну за допомогою клиноподібного робочого органа, який розсовує ґрунт у сторони. Такі сошники мають відносно просту конструкцію та невелику масу, однак при роботі на вологих або важких ґрунтах можуть утворювати нерівну борозну.

Дискові сошники формують борозну за допомогою одного або двох дисків, що обертаються під час руху агрегату. Перевагою таких сошників є краща робота на ґрунтах із рослинними рештками. Недоліком є складніша конструкція та підвищена вартість.

Комбіновані сошники поєднують елементи анкерних та дискових сошників і дозволяють отримати більш стабільну форму борозни та покращити якість розміщення насіння.

Полоскові сошники, які застосовуються у бурякових сівалках, складаються з корпусу, полозка, боковин та п'яти. Полосок разом із п'ятою призначені для

формування посівної борозни, тоді як боковини забезпечують її стабільність і утримують стінки у відкритому стані до моменту висіву насіння. Після проходження сошника борозна повинна бути закрита ґрунтом. Відповідно до агротехнічних вимог насіння має розміщуватися на ущільненому дні борозни та засипатися нижніми, більш вологими шарами ґрунту.

Однак одним із суттєвих недоліків існуючих бурякових сівалок є те, що борозна часто заповнюється верхнім, сухим шаром ґрунту. Це пояснюється меншим коефіцієнтом внутрішнього тертя сухого ґрунту, внаслідок чого саме він потрапляє в борозну в першу чергу. Така ситуація погіршує умови проростання насіння та подальшого розвитку рослин. Крім того, серйозною проблемою є інтенсивний знос наральників сошників. У результаті зменшується фактична глибина їх ходу, що негативно впливає на рівномірність розміщення насіння за довжиною, шириною та глибиною рядка. Практика показує, що на серійних бурякових сівалках сошники через кожні 2–3 роки потребують заміни через надмірний знос і порушення агротехнічних вимог щодо глибини загортання насіння.

Запропонована конструкція сошника дозволяє усунути зазначені недоліки (рис. 2.2). Вона спрямована на зменшення налипання вологого ґрунту на внутрішню поверхню відвальників та стабілізацію процесу загортання насіння навіть за наявності зносу наральника.

Для компенсації зносу передбачено рухому частину наральника. У процесі експлуатації, у міру його зношування, ця частина може переміщуватися вниз на величину зносу і фіксуватися у новому положенні за допомогою гвинта.

Конструкція сошника включає полозок 1, наральник 2, ліву боковину 3 та праву боковину 4. Наральник 2 кріпиться до корпусу сошника заклепками 5. У нижній задній частині боковини оснащені крильцями-відвальниками а, б, в. Кожен наступний відвальник більший за попередній і розташований нижче. Кути нахилу площин відвальників до горизонту є різними: для першого відвальника кут від’ємний, для другого – нульовий, а для третього – додатний.

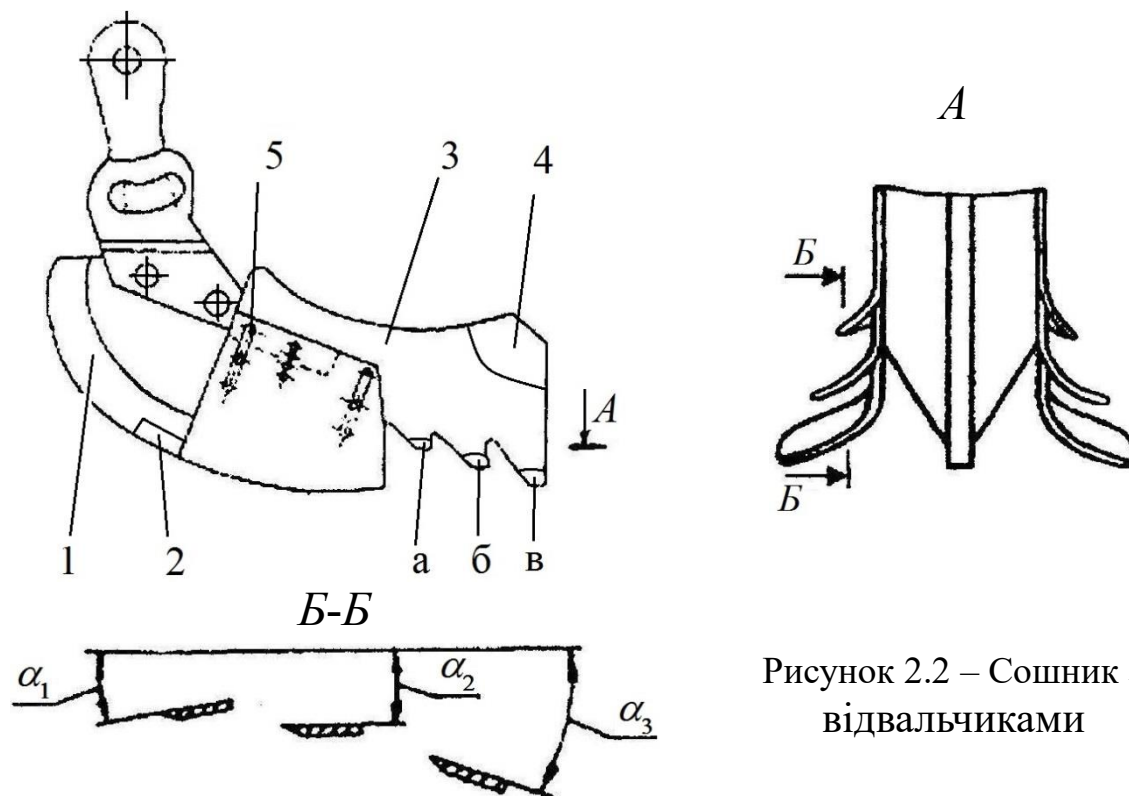


Рисунок 2.2 – Сошник з відвальниками

Такі відвальники спрямовують ґрунт до центру борозни та сприяють частковому загортанню насіння. Однак під час роботи на перезволожених ґрунтах внутрішні поверхні відвальників можуть залипати ґрунтом, що призводить до порушення процесу загортання насіння та погіршення якості сівби.

У результаті цього можуть виникати такі недоліки: нерівномірне загортання насіння; розкочування насіння вздовж борозни; погіршення контакту насіння з вологим ґрунтом; порушення стабільності глибини загортання.

З метою зменшення залипання ґрунту в деяких конструкціях застосовують відвальники, розділені на декілька окремих елементів. При цьому відстань між боковинами у кожній наступній парі відвальників збільшується. Таке конструктивне рішення частково зменшує залипання ґрунту, однак не повністю усуває проблему.

Таким чином, аналіз існуючих конструкцій сошників показує, що під час роботи сівалок у складних ґрунтових умовах можуть виникати проблеми з формуванням борозни та якістю загортання насіння. Тому виникає необхідність

удосконалення конструкції сошника з метою забезпечення більш стабільного розміщення насіння у борозні та покращення його контакту з вологим ґрунтом.

2.4. Будова та робота сошника сівалки УПС-12.

Сівалка точного висіву УПС-12 призначена для пунктирного висіву насіння просапних культур, зокрема цукрових буряків, кукурудзи, соняшнику та інших культур. Машина забезпечує рівномірне розміщення насіння у рядках з заданим міжряддям та необхідною густотою стояння рослин.

Одним із основних робочих органів посівної секції є сошник, який формує борозну у ґрунті та забезпечує укладання насіння на її дно. Від стабільності роботи сошника залежить точність дотримання глибини загортання насіння, що безпосередньо впливає на якість сівби та дружність сходів.

Сошник посівної секції сівалки УПС-12 належить до анкерного типу і має відносно просту конструкцію (рис. 2.3). Основними елементами сошника є: стійка сошника; корпус; боковини (щоки); носок сошника; напрямні елементи для формування борозни.



Рисунок 2.3 – Серійний сошник сівалки УПС 12

Під час руху агрегату сошник заглиблюється у ґрунт і розсуває його у сторони, формуючи борозну необхідної глибини. Через насіннєпровід у борозну подається насіння, яке розміщується на її дні. Після цього борозна засипається ґрунтом за допомогою загортачів, а прикочувальні котки ущільнюють ґрунт над насінням.

Глибина ходу сошника регулюється положенням посівної секції відносно поверхні ґрунту та роботою прикочувальних коліс. Під час роботи сошник повинен забезпечувати стабільну глибину борозни та рівномірне укладання насіння.

Конструкція сошника повинна відповідати таким вимогам:

- формувати борозну заданої глибини;
- забезпечувати стабільний рух у ґрунті;
- не допускати забивання ґрунтом та рослинними рештками;
- створювати рівне посівне ложе для насіння.

Однак у процесі експлуатації сівалок типу УПС-12 виявлено певні недоліки роботи сошника. Особливо вони проявляються під час роботи на вологих або важких ґрунтах. У таких умовах можливе налипання ґрунту на поверхні сошника, що призводить до порушення формування борозни та погіршення якості сівби.

Крім того, після падіння з насіннепроводу насіння може розкочуватися по дну борозни, що призводить до нерівномірного розміщення насіння у рядку. У результаті цього порушується задана відстань між рослинами, що негативно впливає на подальший розвиток посівів.

Недостатній контакт насіння з вологим ґрунтом також може знижувати польову схожість насіння та погіршувати умови проростання.

Таким чином, аналіз конструкції та роботи сошника сівалки УПС-12 показує, що існує необхідність удосконалення його конструкції з метою покращення процесу укладання насіння у борозну та забезпечення більш надійного контакту насіння з ґрунтом.

2.5. Обґрунтування необхідності модернізації сошника.

Аналіз конструкцій сівалок точного висіву та їх робочих органів показує, що якість виконання технологічного процесу сівби значною мірою залежить від роботи сошника. Саме цей робочий орган формує борозну у ґрунті, забезпечує

укладання насіння на її дно та створює умови для подальшого загортання насіння і формування посівного ложа.

У сівалках точного висіву типу УПС широко застосовуються анкерні сошники, які відрізняються відносною простотою конструкції, невеликою масою та достатньою надійністю у роботі. Однак під час експлуатації таких сошників у різних ґрунтово-кліматичних умовах виявляється ряд недоліків, що можуть негативно впливати на якість сівби.

Одним із основних недоліків є нестабільність процесу укладання насіння у борозну. Після виходу з насіннєпроводу насіння падає на дно борозни з певною швидкістю і може розкочуватися вздовж її поверхні. У результаті цього насіння може зміщуватися від заданого місця висіву, що призводить до порушення рівномірності його розміщення у рядку.

Крім того, у процесі роботи сошника можуть виникати проблеми, пов'язані з налипанням ґрунту на його робочі поверхні. Особливо це проявляється під час роботи на вологих або важких ґрунтах. У таких умовах ґрунт може налипати на внутрішні поверхні сошника або його бокові елементи, що порушує процес формування борозни та ускладнює рух ґрунту під час загортання насіння.

Ще одним недоліком є недостатній контакт насіння з вологим ґрунтом. Для забезпечення нормального проростання насіння необхідно, щоб воно щільно контактувало з ґрунтом, який містить достатню кількість вологи. У разі недостатнього контакту насіння з ґрунтом погіршується процес поглинання вологи, що може призвести до нерівномірних сходів.

Нерівномірність загортання насіння також є важливим фактором, який може негативно впливати на якість сівби. Якщо насіння загортається на різну глибину, то це призводить до нерівномірного проростання рослин і формування посівів із різною фазою розвитку.

Таким чином, існуючі конструкції сошників не завжди забезпечують стабільні умови для розміщення насіння у борозні, особливо під час роботи в складних ґрунтових умовах. Це обумовлює необхідність пошуку нових

конструктивних рішень, спрямованих на підвищення якості виконання технологічного процесу сівби.

Одним із перспективних напрямів удосконалення конструкції сошників є застосування додаткових елементів, які забезпечують притискання насіння до дна борозни та запобігають його розкочуванню. Використання таких елементів дозволяє забезпечити більш точне розміщення насіння та покращити його контакт із ґрунтом.

Удосконалення конструкції сошника повинно забезпечувати:

- стабільне формування борозни необхідної глибини;
- рівномірне укладання насіння у борозну;
- запобігання розкочуванню насіння по дну борозни;
- покращення контакту насіння з вологим ґрунтом;
- зменшення налипання ґрунту на робочі поверхні сошника;
- підвищення якості загортання насіння.

Реалізація таких конструктивних рішень дозволить підвищити ефективність роботи сівалки точного висіву та забезпечити більш стабільне виконання технологічного процесу сівби цукрових буряків.

2.6. Висновки по розділу.

У даному розділі було розглянуто агротехнічні вимоги до сівби цукрових буряків та проведено аналіз конструкцій сівалок точного висіву і їх робочих органів.

Встановлено, що якість виконання технологічного процесу сівби значною мірою залежить від конструкції посівної секції сівалки та узгодженої роботи її основних елементів, зокрема висівного апарата, насіннєпроводу, сошника, загортачів і прикочувальних котків.

Проведений аналіз конструкцій сошників показав, що у сівалках точного висіву застосовуються анкерні, дискові та комбіновані сошники. Найбільш поширеними у сівалках для висіву просапних культур є анкерні сошники, які характеризуються простотою конструкції та надійністю в роботі.

Разом з тим встановлено, що під час роботи анкерних сошників можуть виникати певні недоліки, зокрема нерівномірне розміщення насіння у борозні, його розкочування по дну борозни, недостатній контакт насіння з ґрунтом та можливе налипання ґрунту на робочі поверхні сошника.

Аналіз конструкції сошника сівалки УПС-12 показав, що існуюча конструкція не завжди забезпечує оптимальні умови для укладання насіння у борозну та його надійного контакту з вологим ґрунтом.

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення конструкції сошника з метою покращення умов розміщення насіння у борозні та підвищення якості виконання технологічного процесу сівби.

Отримані результати аналізу є підставою для розробки модернізованої конструкції сошника посівної секції сівалки УПС-12, що буде розглянуто у наступному розділі роботи.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Конструкція модернізованого сошника.

На основі проведеного аналізу конструкцій сошників сівалок точного висіву та виявлених недоліків їх роботи було запропоновано модернізовану конструкцію сошника посівної секції сівалки УПС-12. Основною метою модернізації є покращення процесу укладання насіння у борозну, забезпечення надійного контакту насіння з вологим ґрунтом та запобігання його розкочуванню по дну борозни. Конструктивна схема запропонованого сошника наведена на рис. 3.1.

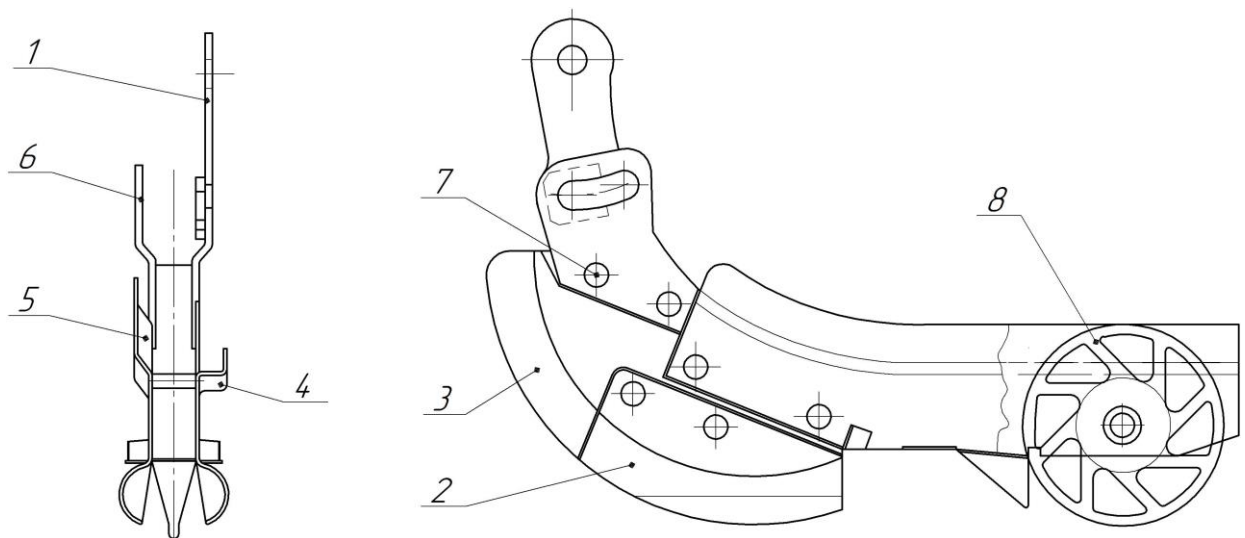


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема модернізованого сошника

Модернізований сошник складається з таких основних елементів: 1 – кронштейн кріплення; 2 – корпус сошника; 3 – носок сошника; 4 – боковини (щоки); 5 – середні крильця; 6 – передні крильця; 7 – заклепки; 8 – прикочувальний ролик

Кронштейн 1 призначений для кріплення робочого органа до посівної секції сівалки. Він передає зусилля від рами посівної секції до робочого органа та забезпечує заглиблення сошника у ґрунт під час руху агрегату. Корпус сошника 2 разом із боковинами борозну необхідної глибини. Носок сошника має клиноподібну форму і під час руху агрегату розсовує ґрунт у сторони,

забезпечуючи формування борозни. Конструкція боковин сприяє стабільному руху сошника у ґрунті та формуванню рівних стінок борозни.

Основною відмінністю запропонованої конструкції від базового сошника є встановлення між боковинами спеціального прикочувального ролика, який обертається на осі. Вісь ролика закріплюється у кронштейнах, що встановлені на корпусі сошника.

Під час роботи сівалки сошник заглиблюється у ґрунт і формує борозну необхідної глибини. Насіння через насіннепровід подається у борозну і потрапляє у зону розташування прикочувального ролика. У результаті взаємодії ролика з насінням та ґрунтом відбувається притискання насіння до дна борозни.

Обертання ролика відбувається за рахунок контакту його поверхні з ґрунтом під час руху агрегату. У процесі обертання ролик створює додатковий тиск на насіння, завдяки чому воно вдавлюється у дно борозни і забезпечується його надійний контакт з вологим ґрунтом.

Такий принцип роботи дозволяє усунути один із основних недоліків існуючих сошників – розкочування насіння по дну борозни після його падіння з насіннепроводу. У базових конструкціях сошників насіння може переміщуватися вздовж борозни, що призводить до нерівномірного розміщення насіння у рядку. Використання прикочувального ролика дозволяє зафіксувати насіння у заданому положенні.

Крім того, притискання насіння до дна борозни сприяє покращенню контакту насіння з вологим ґрунтом. Це є важливим фактором для забезпечення нормального проростання насіння та формування дружніх сходів.

Після проходження сошника борозна з насінням загортається ґрунтом за допомогою загортачів посівної секції, а прикочувальні колеса додатково ущільнюють ґрунт над насінням.

Запропонована конструкція модернізованого сошника має ряд переваг порівняно з існуючими конструкціями:

- забезпечує більш точне розміщення насіння у борозні;
- запобігає розкочуванню насіння по дну борозни;

- покращує контакт насіння з вологим ґрунтом;
- сприяє більш рівномірному проростанню насіння;
- підвищує якість виконання технологічного процесу сівби.

Таким чином, запропонована конструкція модернізованого сошника дозволяє підвищити ефективність роботи сівалки УПС-12 та забезпечити більш якісне виконання технологічного процесу сівби цукрових буряків.

3.2. Технологічне обґрунтування параметрів модернізованого сошника.

Ефективність роботи модернізованого сошника визначається його здатністю забезпечувати стабільне формування борозни необхідної глибини, правильне розміщення насіння на її дні та надійний контакт насіння з вологим ґрунтом. Для цього необхідно обґрунтувати основні технологічні параметри роботи сошника, зокрема глибину борозни, положення прикочувального ролика та умови притискання насіння до дна борозни.

Глибина борозни повинна відповідати агротехнічним вимогам до сівби цукрових буряків. Як правило, глибина загортання насіння становить 3–5 см залежно від типу ґрунту та його вологості.

Глибина борозни визначається положенням сошника відносно поверхні ґрунту і повинна забезпечувати розміщення насіння у вологому шарі ґрунту. При цьому необхідно враховувати, що після проходу сошника борозна частково засипається ґрунтом за допомогою загортачів.

Прийmemo глибину борозни – $h = 0,04$ м. Під час виконання посівних робіт сівалки точного висіву зазвичай працюють зі швидкістю 6–8 км/год.

Швидкість руху агрегату визначимо за формулою

$$v = \frac{V}{3,6}, \quad (3.1)$$

де v – швидкість руху агрегату, м/с;

V – швидкість руху агрегату, км/год.

Прийmemo робочу швидкість $V = 7$ км/год, тоді

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$v = \frac{7}{3,6} = 1,94 \text{ м/с.}$$

Отже, швидкість руху агрегату становить $v = 1,94 \text{ м/с.}$

Після виходу з насіннєпроводу насіння падає на дно борозни під дією сили тяжіння. Швидкість падіння насіння можна визначити з умови вільного падіння.

$$v_n = \sqrt{2gh}, \quad (3.2)$$

де v_n v_{nv_pvp} – швидкість падіння насіння, м/с;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – висота падіння насіння, м.

Прийmemo висоту падіння насіння $h = 0,1 \text{ м.}$

Тоді

$$v_n = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 1,4 \text{ м/с.}$$

Таким чином, швидкість падіння насіння на дно борозни становить приблизно $v_n = 1,4 \text{ м/с.}$

Умова притискання насіння роликом

Для забезпечення надійного контакту насіння з ґрунтом необхідно, щоб прикочувальний ролик створював достатнє зусилля притискання.

Зусилля притискання визначається за формулою

$$F = m \cdot g, \quad (3.3)$$

де F – сила притискання, Н;

m – маса ролика, кг;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Прийmemo масу ролика $m = 1,5 \text{ кг.}$

Тоді

$$F = 1,5 \cdot 9,81 = 14,7 \text{ Н.}$$

Отже, прикочувальний ролик створює силу притискання приблизно $F \approx 15 \text{ Н.}$ Таке зусилля є достатнім для притискання насіння до дна борозни та забезпечення його надійного контакту з вологим ґрунтом.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Діаметр ролика повинен забезпечувати стабільне перекочування по дну борозни та не створювати надмірного ущільнення ґрунту. Практика конструювання посівних машин показує, що оптимальний діаметр таких роликів становить 30–50 мм. Прийmemo діаметр ролика $D = 40$ мм. Такий діаметр забезпечує достатню площу контакту ролика з насінням і ґрунтом та стабільну роботу механізму.

Виконані технологічні розрахунки дозволили обґрунтувати основні параметри модернізованого сошника. Встановлено, що при робочій швидкості агрегату близько 7 км/год та глибині борозни 4 см забезпечуються необхідні умови для формування посівного ложа. Використання прикочувального ролика діаметром 40 мм та масою близько 1,5 кг дозволяє створити достатню силу притискання насіння до дна борозни, що покращує контакт насіння з вологим ґрунтом і сприяє більш рівномірному проростанню рослин.

3.3. Силовий аналіз роботи модернізованого сошника.

Під час роботи модернізований сошник взаємодіє з ґрунтом, унаслідок чого на нього діють сили опору ґрунту, реакції ґрунту та сили тертя. Крім того, на прикочувальний ролик діє навантаження від контакту з насінням і дном борозни. Визначення цих сил необхідне для подальшого розрахунку міцності елементів конструкції та оцінки працездатності запропонованого вузла. Розрахункова схема дії сил на сошник може бути наведена на рис. 3.2.

На сошник у процесі роботи діють:

- тяговий опір ґрунту R_x , напрямлений проти руху агрегату;
- вертикальна складова реакції ґрунту R_z ;
- бокові реакції ґрунту R_y ;
- сила тертя ґрунту по робочих поверхнях сошника;
- реакція ґрунту на прикочувальний ролик.

Тяговий опір сошника можна орієнтовно визначити за залежністю

$$R_x = k \cdot b \cdot h, \quad (3.4)$$

де R_x – тяговий опір сошника, Н;

k – питомий опір ґрунту, Н/м²;

b – ширина сошника, м;

h – глибина ходу сошника, м.

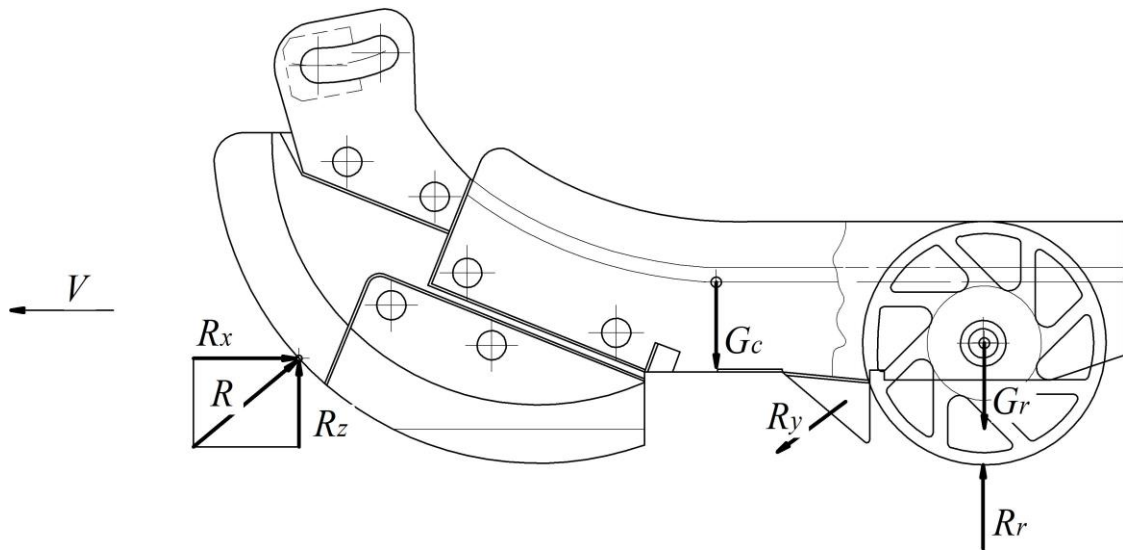


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема дії сил на модернізований сошник

Для середніх за механічним складом ґрунтів прийmemo – $k = 30000$ Н/м².

Ширину сошника прийmemo – $b = 0,05$ м. Глибина ходу сошника, згідно з попереднім розрахунком, $h = 0,04$ м.

Тоді

$$R_x = 30000 \cdot 0,05 \cdot 0,04 = 60 \text{ Н.}$$

Отже, тяговий опір одного сошника становить $R_x = 60$ Н.

Вертикальна складова реакції ґрунту може бути прийнята як частка від горизонтального тягового опору

$$R_z = \varphi \cdot R_x, \quad (3.5)$$

де R_x – вертикальна складова реакції ґрунту, Н;

φ – коефіцієнт, що враховує співвідношення вертикальної та горизонтальної складових.

Прийmemo $\varphi = 0,35$. Тоді

$$R_z = 0,35 \cdot 60 = 21 \text{ Н.}$$

Отже, $R_x = 21 \text{ Н}$.

За умови симетричної конструкції сошника бокові сили в загальному випадку взаємно врівноважуються. Проте при відхиленні сошника від осі руху або неоднорідності ґрунту виникає бокова реакція, яку орієнтовно можна прийняти як

$$R_y = 0,15 \cdot R_x, \quad (3.6)$$

Тоді

$$R_y = 0,15 \cdot 60 = 9 \text{ Н}.$$

Отже, можлива бокова реакція ґрунту становить $R_y = 9 \text{ Н}$.

Прикочувальний ролик сприймає навантаження від власної ваги та від взаємодії з насінням і ґрунтом. Сумарну силу, що діє на ролик, визначимо як

$$P = G + R_r, \quad (3.7)$$

де P – сумарна сила, що діє на ролик, Н;

G – вага ролика, Н;

R_r – додаткова реакція ґрунту, Н.

Вага ролика

$$G = mg, \quad (3.8)$$

де m – маса ролика;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Тоді

$$G = 1,5 \cdot 9,81 = 14,7 \text{ Н}.$$

Прийmemo додаткову реакцію ґрунту на ролик $R_r = 8 \text{ Н}$. Тоді сумарне навантаження на ролик становитиме

$$P = 14,7 + 8 = 22,7 \text{ Н}.$$

Отже,

$$P = 22,7 \text{ Н}.$$

Стійка сошника сприймає дію тягового опору ґрунту, внаслідок чого в небезпечному перерізі виникає згинальний момент. Його можна визначити за формулою

$$M = R_x \cdot l, \quad (3.9)$$

де M – згинальний момент, Н·м;

R_x – тяговий опір сошника, Н;

l – плече прикладання сили, м.

Прийmemo $l = 0,25$ м. Тоді

$$M = 60 \cdot 0,25 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, згинальний момент на стійці сошника становить $M = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Оскільки ролик обертається під дією контакту з ґрунтом, на його осі виникає крутний момент

$$T = P \cdot r, \quad (3.10)$$

де T – крутний момент, Н·м;

P – навантаження на ролик, Н;

r – радіус ролика, м.

При діаметрі ролика $D = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$ радіус становить $D = 0,02 \text{ м}$.

Тоді

$$T = 23 \cdot 0,02 = 0,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Отже, $T = 0,46 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

У результаті силового аналізу встановлено, що на модернізований сошник під час роботи діє тяговий опір ґрунту близько – 60 Н, вертикальна складова реакції ґрунту становить – 21 Н, а бокова реакція може досягати – 9 Н. Сумарне навантаження на прикочувальний ролик становить близько – 23 Н. Згинальний момент на стійці сошника дорівнює – 15 Н·м, а крутний момент на осі ролика – 0,46 Н·м. Отримані значення можуть бути використані для подальшого розрахунку деталей модернізованого сошника на міцність.

3.4. Енергетичний розрахунок роботи модернізованого сошника.

Енергетичний розрахунок необхідний для визначення потужності, яка витрачається на подолання опору ґрунту під час роботи модернізованого сошника. Отримані значення дозволяють оцінити енергоємність роботи вузла та перевірити можливість його ефективної роботи у складі посівного агрегату.

Основною складовою витрат енергії під час роботи сошника є подолання тягового опору ґрунту. Потужність, необхідна для подолання цього опору, визначається за формулою

$$N = R_x \cdot v, \quad (3.12)$$

де N – потужність, Вт;

R_x – тяговий опір сошника, Н;

v – швидкість руху агрегату, м/с.

Згідно з результатами попередніх розрахунків $R_x = 60$ Н. Робоча швидкість руху агрегату становить $v = 1,94$ м/с.

Тоді

$$N = 60 \cdot 1,94 = 116,4 \text{ Вт.}$$

Отже, потужність, необхідна для роботи одного сошника, становить $N = 116,4$ Вт.

Потужність для всієї сівалки. Сівалка УПС-12 має дванадцять посівних секцій, відповідно загальна потужність, необхідна для роботи всіх сошників, визначається за формулою

$$N_{\Sigma} = N \cdot z, \quad (3.13)$$

де N_{Σ} – загальна потужність, Вт;

N – потужність одного сошника, Вт;

z – кількість сошників.

Тоді $N_{\Sigma} = 116,4 \cdot 12 = 1396,8$ Вт.

Отже, сумарна потужність, необхідна для роботи всіх сошників сівалки, становить приблизно

$$N_{\Sigma} \approx 1,4 \text{ кВт.}$$

Визначення тягового зусилля агрегату. Тягове зусилля, необхідне для роботи всіх сошників, визначимо за формулою

$$R_{\Sigma} = R_x \cdot z, \quad (3.14)$$

де R_{Σ} – сумарний тяговий опір, Н;

R_x – тяговий опір одного сошника, Н;

z – кількість сошників.

Тоді

$$R_{\Sigma} = 60 \cdot 12 = 720 \text{ Н.}$$

Отже, сумарний тяговий опір усіх сошників становить $R_{\Sigma} = 720 \text{ Н.}$

Отримані значення показують, що витрати потужності на роботу модернізованих сошників є відносно невеликими. Потужність близько 1,4 кВт становить лише незначну частину від загальної потужності трактора, який агрегатується із сівалкою.

Сівалки типу УПС-12 зазвичай агрегуються з тракторами тягового класу 1,4, потужність двигуна яких становить 60–90 кВт. Таким чином, витрати енергії на роботу сошників не створюють суттєвого додаткового навантаження на енергетичний засіб.

Крім того, встановлення прикочувального ролика не призводить до значного збільшення тягового опору сошника, оскільки ролик обертається під час руху і не створює значного додаткового опору.

Енергетичний розрахунок показав, що потужність, необхідна для роботи одного модернізованого сошника, становить близько 116 Вт, а сумарна потужність для всіх сошників сівалки УПС-12 – приблизно 1,4 кВт. Отримані значення свідчать про те, що модернізація сошника не призводить до суттєвого збільшення енерговитрат і може бути реалізована без зміни енергетичних параметрів посівного агрегату.

3.5. Визначення параметрів борозни та посівного ложа.

Ефективність роботи модернізованого сошника визначається характером взаємодії його робочих органів з ґрунтом і насінням у процесі руху посівного агрегату. Основним завданням сошника є формування борозни заданої глибини, забезпечення правильного укладання насіння на дно борозни та створення оптимальних умов для його подальшого загортання і проростання.

У процесі руху агрегату по полю полоз сошника занурюється у ґрунт і формує вузьку борозну. Носова частина полоза розсовує ґрунт у сторони, що забезпечує проникнення робочого органа у ґрунт та формування борозни необхідної глибини. При цьому верхній шар ґрунту частково переміщується у боки.

Крила, встановлені з обох боків полоза, зрізають поверхневий шар ґрунту і переміщують його за межі посівного рядка. Верхній шар ґрунту зазвичай є більш сухим, тому його відведення вбік сприяє відкриттю нижнього шару ґрунту, який містить більшу кількість вологи. Саме у цьому шарі повинно розміщуватися насіння для забезпечення нормальних умов проростання.

Після проходження полоза та крил формується борозна, у яку надходить насіння, що подається висівним апаратом через насіннепровід. Насіння падає у нижню частину борозни під дією сили тяжіння. У цей момент важливим є забезпечення стабільного положення насіння на дні борозни.

У традиційних конструкціях сошників після падіння на дно борозни насіння може перекинутися вздовж її поверхні, що призводить до порушення рівномірності розміщення насіння у рядку. У модернізованій конструкції для усунення цього недоліку застосовується прикочувальний ролик.

Прикочувальний ролик встановлений у нижній частині сошника між його боковинами. Після падіння насіння у борозну ролик перекинується по її дну і притискає насіння до ґрунту. У результаті цього насіння фіксується у заданому положенні і не переміщується вздовж борозни.

Крім того, притискання насіння роликом сприяє покращенню його контакту з вологим ґрунтом. Це є важливою умовою для нормального

проростання насіння, оскільки для початку процесу проростання необхідно забезпечити достатнє поглинання вологи.

Після укладання насіння у борозну та його притискання роликом здійснюється загортання насіння ґрунтом. Цю функцію виконують загортачі, які переміщують ґрунт із нижніх шарів у зону борозни. Завдяки цьому насіння засипається більш вологим ґрунтом, що створює сприятливі умови для його проростання.

Завершальним етапом формування посівного ложа є ущільнення ґрунту прикочувальним котком, встановленим позаду сошника. Коток ущільнює ґрунт над насінням і сприяє підняттю вологи з нижніх шарів ґрунту до насіння.

У результаті послідовної роботи всіх елементів модернізованого сошника забезпечується формування борозни оптимальної форми, стабільне розміщення насіння на її дні та створення сприятливих умов для проростання насіння.

Таким чином, запропонована конструкція модернізованого сошника дозволяє покращити технологічний процес сівби цукрових буряків і підвищити якість виконання посівних робіт.

Якість сівби цукрових буряків значною мірою залежить від параметрів борозни, що формується сошником. До основних параметрів борозни належать її глибина, ширина та форма посівного ложа. Ці параметри повинні забезпечувати стабільне розміщення насіння та створення оптимальних умов для його проростання. Схема формування борозни модернізованим сошником наведена на рис. 3.3.

Під час руху посівного агрегату по полю полоз сошника занурюється у ґрунт і прорізає вузьку борозну необхідної глибини. Завдяки клиноподібній формі робочої частини полоза відбувається розсування ґрунту у боки та формування початкової борозни для розміщення насіння.

По обидва боки полоза закріплені крила, призначені для зняття верхнього шару ґрунту. У процесі роботи вони зрізають поверхневий, як правило більш сухий шар ґрунту і переміщують його за межі посівного рядка (рис. 3.3, а). У результаті цього в зоні формування борозни відкривається нижній, більш

вологий шар ґрунту, який є більш сприятливим для розміщення насіння і його подальшого проростання.

Між щоками встановлений борозноутворювач, який формує борозну трикутної форми. Така форма борозни забезпечує більш стабільне розміщення насіння у нижній частині борозни та запобігає його переміщенню у поперечному напрямку. У сформовану борозну надходить насіння, що подається з висівного апарата через насіннепровід (рис. 3.3, б).

Після укладання насіння у борозну відбувається його загортання ґрунтом. Для цього використовуються загортачі, які рухаються з обох боків борозни на певній глибині. Вони переміщують ґрунт із нижніх, більш вологих шарів і засипають ним насіння (рис. 3.3, в). Завдяки цьому забезпечується кращий контакт насіння з вологим ґрунтом, що є важливою умовою для швидкого та рівномірного проростання.

Остаточне формування посівного ложа здійснюється за допомогою прикочувального котка, встановленого позаду загортачів. Коток перекочується по поверхні ґрунту і ущільнює його над насінням (рис. 3.3, г). Ущільнення ґрунту сприяє покращенню капілярного підняття вологи з нижніх шарів до насіння та забезпечує більш стабільні умови для його проростання.

Крім того, прикочування ґрунту дозволяє вирівняти поверхню поля в зоні посівного рядка, що сприяє рівномірності подальших технологічних операцій під час вирощування культури.

Таким чином, послідовна робота полоза, крил, борозноутворювача, загортачів та прикочувального котка забезпечує формування борозни необхідної форми, правильне укладання насіння у ґрунт та створення оптимальних умов для його проростання і подальшого розвитку рослин.

Під час руху агрегату носок сошника заглиблюється у ґрунт і розсовує його у сторони, формуючи борозну. Боковини сошника спрямовують ґрунт у сторони та забезпечують стабільність форми борозни. Після падіння насіння у борозну прикочувальний ролик притискає його до дна борозни.

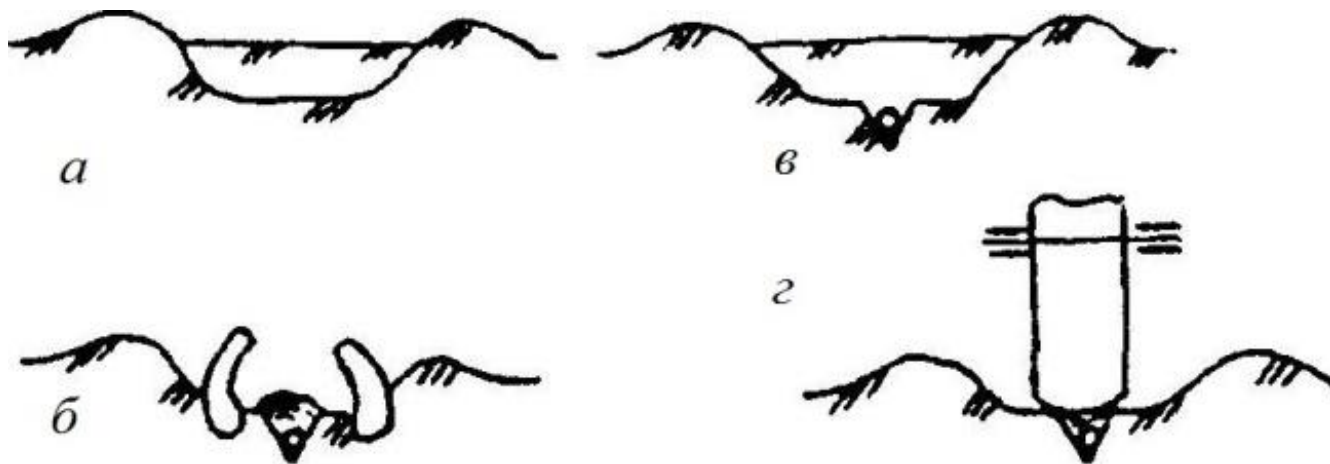


Рисунок 3.3 – Схема формування борозни модернізованим сошником

Ширина борозни повинна забезпечувати вільне розміщення насіння на її дні та можливість його подальшого загортання ґрунтом.

Ширину борозни можна визначити за формулою

$$b = b_n + 2\Delta, \quad (3.15)$$

де b – ширина борозни, м;

b_n – середній діаметр насіння, м;

Δ – технологічний зазор.

Середній діаметр насіння цукрових буряків становить $b_n = 0,005$ м.

Прийmemo технологічний зазор $\Delta = 0,02$ м. Тоді

$$b = 0,005 + 2 \cdot 0,02 = 0,045 \text{ м.}$$

Отже, ширина борозни становить приблизно $b = 0,045$ м, або близько 45 мм.

Площу поперечного перерізу борозни визначимо як

$$S = b \cdot h, \quad (3.16)$$

де S – площа поперечного перерізу борозни, м²;

b – ширина борозни, м;

h – глибина борозни, м.

Підставимо значення

$$S = 0,045 \cdot 0,04 = 0,0018 \text{ м}^2.$$

Тоді

$$S = 0,0018 \text{ м}^2.$$

Об'єм ґрунту, що переміщується сошником

Об'єм ґрунту, який переміщується сошником за одиницю часу, можна визначити за формулою

$$Q = S \cdot v, \quad (3.17)$$

де Q – об'єм ґрунту, $\text{м}^3/\text{с}$;

S – площа перерізу борозни, м^2 ;

v – швидкість руху агрегату, $\text{м}/\text{с}$.

Підставимо значення. Тоді

$$Q = 0,0018 \cdot 1,94 = 0,0035 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Отже, об'єм ґрунту, що переміщується сошником під час роботи, становить приблизно

$$Q = 0,0035 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Важливою умовою якісної сівби є формування рівного та ущільненого посівного ложа. У запропонованій конструкції модернізованого сошника ця функція частково виконується прикочувальним роликом. Ролик притискає насіння до дна борозни і створює локальне ущільнення ґрунту, що сприяє покращенню контакту насіння з ґрунтом та підвищує польову схожість насіння.

3.6. Розрахунок осі прикочувального ролика на міцність.

Одним із відповідальних елементів модернізованого сошника є вісь прикочувального ролика, яка сприймає навантаження від ваги ролика, реакції ґрунту та сил, що виникають у процесі притискання насіння до дна борозни. Тому для забезпечення надійної роботи вузла необхідно виконати перевірочний розрахунок осі на міцність.

Вісь ролика працює як балка, оперта на дві опори, до якої в середній частині прикладене зосереджене навантаження від ролика та реакції ґрунту.

Сумарне навантаження на ролик, визначене у підрозділі 3.3, становить

$$P = 23 \text{ Н}.$$

Приймемо, що це навантаження прикладене у середині осі між опорами.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Визначення опорних реакцій

Оскільки навантаження прикладене симетрично, опорні реакції будуть однаковими

$$R_A = R_B = \frac{P}{2}. \quad (3.18)$$

Тоді

$$R_A = R_B = \frac{23}{2} = 11,5 \text{ Н.}$$

Визначення максимального згинального моменту. Для балки з центрально прикладеним навантаженням максимальний згинальний момент визначається за формулою

$$M_{\max} = \frac{P \cdot l}{4}, \quad (3.19)$$

де $M_{\max}$ – максимальний згинальний момент, Н·м;

P – навантаження на вісь, Н;

l – відстань між опорами, м.

Прийmemo відстань між опорами $l=0,04$ м.

Тоді

$$M_{\max} = \frac{23 \cdot 0,04}{4} = 0,23 \text{ Н·м.}$$

Отже, $M_{\max} = 0,23 \text{ Н·м.}$

Вибір діаметра осі

Прийmemo попередньо діаметр осі $d=8$ мм.

Визначення напруження згину. Напруження згину для круглого перерізу визначається за формулою

$$\sigma = \frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi d^3}. \quad (3.20)$$

Підставимо значення:

$$\sigma = \frac{32 \cdot 0,23}{3,14 \cdot (0,008)^3} = 4,58 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

або

$$\sigma = 4,58 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності. Для осі зі сталі 45 після нормалізації допустиме напруження згину можна прийняти

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має вигляд

$$\sigma \leq [\sigma].$$

Оскільки $4,58 \leq 160$, то умова міцності виконується.

Отже, вісь прикочувального ролика діаметром 8 мм забезпечує необхідну міцність при роботі модернізованого сошника. Отримане напруження згину 4,58 МПа є значно меншим за допустиме, тому прийнятий діаметр осі можна вважати достатнім.

3.7. Розрахунок кронштейна кріплення ролика на міцність.

Кронштейн кріплення прикочувального ролика призначений для встановлення осі ролика на корпусі сошника і сприймає навантаження, що передається від ролика. Надійність роботи цього елемента впливає на працездатність усього модернізованого вузла, тому необхідно виконати його перевірочний розрахунок на міцність.

Прийmemo, що на один кронштейн діє половина загального навантаження від ролика

$$\sigma = \frac{P}{2}.$$

$$\sigma = \frac{23}{2} = 11,5 \text{ Н.}$$

Кронштейн можна розглядати як консольну пластину, на вільному кінці якої діє сила.

Визначення згинального моменту

$$M = P_1 \cdot l. \quad (3.21)$$

де l – довжина кронштейна, м.

Прийmemo $l = 0,03$ м, тоді

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$M = 11,5 \cdot 0,03 = 0,345 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Геометричні параметри кронштейна. Прийmemo: ширина кронштейна $b = 20$ мм; товщина кронштейна $s = 4$ мм.

Тоді момент опору прямокутного перерізу:

$$W = \frac{bs^2}{6}. \quad (3.22)$$

$$W = \frac{0,02 \cdot (0,004)^2}{6} = 5,33 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Напруження згину в кронштейні

$$\sigma = \frac{M}{W}. \quad (3.23)$$

$$\sigma = \frac{0,345}{5,33 \cdot 10^{-8}} = 6,47 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

або

$$\sigma = 6,47 \text{ МПа}.$$

Перевірка умови міцності

Для сталі 3 допустиме напруження можна прийняти

$$[\sigma] = 140 \text{ МПа}.$$

Перевірка

$$6,47 \leq 140.$$

Умова міцності виконується.

Отже, кронштейн товщиною 4 мм і шириною 20 мм забезпечує необхідну міцність при роботі модернізованого сошника. Отримані напруження згину є допустимими, тому прийняті розміри кронштейна можна вважати достатніми.

3.8. Аналіз технологічного процесу роботи модернізованого сошника.

Ефективність роботи модернізованого сошника визначається характером взаємодії його робочих органів із ґрунтом та насінням під час руху посівного агрегату. Основним завданням сошника є формування борозни заданої глибини, правильне укладання насіння на її дно та створення сприятливих умов для подальшого загортання насіння і його проростання.

У процесі руху сівалки по полю полоз сошника занурюється у ґрунт і формує вузьку борозну необхідної глибини. Завдяки клиноподібній формі робочої частини полоза відбувається розсування ґрунту у боки та формування первинної борозни. При цьому частина ґрунту переміщується у сторони, що забезпечує заглиблення сошника і стабільність його руху.

По обидва боки полоза розташовані крила, призначені для зняття верхнього шару ґрунту. Під час руху агрегату крила зрізають поверхневий, як правило більш сухий шар ґрунту і переміщують його за межі посівного рядка. У результаті цього відкривається нижній, більш вологий шар ґрунту, у якому створюються сприятливі умови для розміщення насіння.

Між боковими щокми сошника встановлений борозноутворювач, який формує борозну трикутної форми. Така форма борозни забезпечує стійке положення насіння у нижній частині борозни та запобігає його переміщенню у поперечному напрямку. Насіння, що подається висівним апаратом через насіннепровід, падає у сформовану борозну під дією сили тяжіння.

Схема технологічного процесу роботи модернізованого сошника наведена на рис. 3.4. Сошник має щокми 1 з косими зрізами 2, між якими розміщений напрямник 3 і прикочуючий коток 4, що обертається на вісі 5 і наральник 6.

Насіння із апарата попадає на напрямник 3, по якому воно подається під набігаючу нижню частину котка 4. Відбувається швидке притиснення насіння шиною котка і втискування його в дно борозни, чим попереджується розкочування і перерозподілення насіння в рядку. Коток, крім того, створює гарний контакт насіння з вологим ґрунтом. Після проходження сошника борозна з насінням закривається загортачами.

Важливим етапом технологічного процесу є фіксація насіння на дні борозни. У звичайних конструкціях сошників після падіння на дно борозни насіння може перекочуватися вздовж її поверхні, що призводить до порушення рівномірності розміщення насіння у рядку. Для усунення цього недоліку у модернізованій конструкції застосовано прикочувальний ролик.

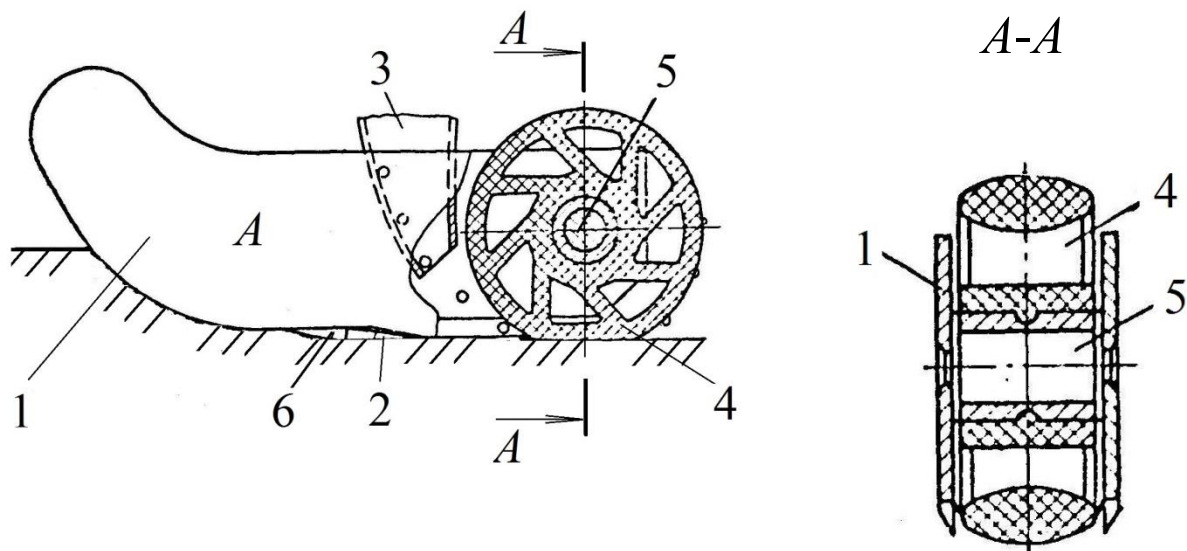


Рисунок 3.4 – Схема технологічного процесу роботи модернізованого сошника

Прикочувальний ролик встановлений у нижній частині сошника між його боковинами. Після падіння насіння у борозну ролик перекочується по її дну і притискає насіння до ґрунту. Завдяки цьому насіння фіксується у заданому положенні і не переміщується вздовж борозни.

Крім того, притискання насіння роликом покращує його контакт із вологим ґрунтом. Це сприяє кращому поглинанню вологи насінням та забезпечує більш рівномірне і дружне проростання рослин.

Після укладання насіння у борозну здійснюється його загортання ґрунтом. Для цього використовуються загортачі, які переміщують ґрунт із нижніх, більш вологих шарів у зону борозни. Насіння засипається шаром ґрунту необхідної товщини, що забезпечує оптимальну глибину його загортання.

Завершальним етапом формування посівного ложа є ущільнення ґрунту прикочувальним котком, який встановлений позаду сошника. Коток перекочується по поверхні ґрунту і ущільнює його над насінням. Ущільнення ґрунту сприяє покращенню капілярного підняття вологи з нижніх шарів ґрунту до насіння та створює більш сприятливі умови для його проростання.

Крім того, прикочування дозволяє вирівняти поверхню поля в зоні посівного рядка, що полегшує проведення подальших технологічних операцій під час вирощування культури.

Таким чином, у модернізованій конструкції сошника забезпечується послідовне виконання всіх основних операцій технологічного процесу сівби: формування борозни, укладання насіння, притискання його до дна борозни, загортання насіння ґрунтом і ущільнення ґрунту над насінням. У результаті цього створюються оптимальні умови для проростання насіння і формування рівномірних сходів.

3.9. Переваги модернізованого сошника порівняно з базовою конструкцією.

У процесі виконання бакалаврської роботи було проведено аналіз конструкції сошника посівної секції сівалки УПС-12 та визначено основні недоліки його роботи. На основі отриманих результатів запропоновано модернізовану конструкцію сошника, яка передбачає встановлення прикочувального ролика у зоні укладання насіння.

Основною метою модернізації є підвищення якості виконання технологічного процесу сівби цукрових буряків за рахунок покращення умов розміщення насіння у борозні та забезпечення більш надійного контакту насіння з ґрунтом.

У базовій конструкції сошника після падіння насіння з насіннєпроводу на дно борозни можливе його переміщення вздовж борозни. Це явище виникає внаслідок дії інерційних сил, а також через нерівності поверхні борозни. У результаті цього порушується рівномірність розміщення насіння у рядку.

Запропонована модернізована конструкція передбачає встановлення прикочувального ролика безпосередньо у зоні укладання насіння. Після потрапляння насіння у борозну ролик притискає його до дна борозни, що запобігає його переміщенню та забезпечує фіксацію насіння у заданому положенні.

Крім того, притискання насіння до дна борозни сприяє покращенню контакту насіння з вологим ґрунтом. Це є важливим фактором для забезпечення нормального проростання насіння, оскільки волога є необхідною умовою для початку фізіологічних процесів проростання.

Ще однією перевагою модернізованої конструкції є покращення формування посівного ложа. Завдяки роботі прикочувального ролика відбувається локальне ущільнення ґрунту у зоні розміщення насіння, що сприяє підняттю вологи з нижніх шарів ґрунту до насіння.

Використання прикочувального ролика також дозволяє зменшити вплив нерівностей поверхні борозни на положення насіння. Ролик частково вирівнює дно борозни та забезпечує більш стабільні умови для розміщення насіння.

Порівняльну характеристику базового та модернізованого сошників наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняння базової та модернізованої конструкції сошника

№ п/п	Найменування показників	Сошник	
		Базовий	Модернізований
1	Стабільність положення насіння у борозні	недостатня	висока
2	Ймовірність розкочування насіння	можлива	практично відсутня
3	Контакт насіння з ґрунтом	середній	покращений
4	Формування посівного ложа	стандартне	покращене
5	Рівномірність проростання насіння	середня	вища

Як видно з таблиці, модернізована конструкція сошника має ряд суттєвих переваг порівняно з базовою конструкцією. Основними з них є покращення стабільності положення насіння у борозні, підвищення якості контакту насіння з ґрунтом та зменшення ймовірності його переміщення після висіву.

Застосування модернізованого сошника дозволяє підвищити рівномірність розміщення насіння у рядку, що сприяє формуванню більш вирівняних сходів і підвищенню ефективності вирощування цукрових буряків.

Крім того, запропонована модернізація не потребує суттєвих змін у конструкції посівної секції сівалки та може бути реалізована шляхом встановлення додаткових елементів на існуючий сошник.

Таким чином, модернізована конструкція сошника є технічно обґрунтованою та доцільною для використання у складі сівалки УПС-12.

3.10. Висновки по розділу.

У розділі на основі аналізу конструкції базового сошника запропоновано модернізовану конструкцію, яка передбачає встановлення прикочувального ролика у зоні укладання насіння. Така конструкція дозволяє забезпечити фіксацію насіння на дні борозни та покращити його контакт з вологим ґрунтом.

У розділі виконано технологічне обґрунтування основних параметрів модернізованого сошника. Встановлено оптимальні значення глибини борозни, ширини борозни та параметрів прикочувального ролика, що забезпечують створення сприятливих умов для розміщення насіння у ґрунті.

Проведений силовий аналіз роботи модернізованого сошника показав, що тяговий опір одного сошника становить близько 60 Н. Визначено основні сили, що діють на елементи конструкції під час роботи, а також встановлено навантаження, яке сприймає прикочувальний ролик та його елементи кріплення.

У результаті енергетичного розрахунку встановлено, що потужність, необхідна для роботи одного сошника, становить близько 116 Вт, а сумарна потужність для всіх сошників сівалки УПС-12 становить приблизно 1,4 кВт. Отримані значення свідчать про те, що модернізація сошника не призводить до значного збільшення енергетичних витрат під час виконання посівних робіт.

Виконано розрахунок елементів модернізованої конструкції на міцність. Зокрема, проведено розрахунок осі прикочувального ролика та кронштейна його кріплення. Отримані значення напружень є значно меншими за допустимі, що підтверджує достатню міцність і надійність запропонованої конструкції.

Проведений аналіз технологічного процесу роботи модернізованого сошника показав, що запропонована конструкція забезпечує більш стабільне формування борозни, точніше розміщення насіння на її дні та покращення контакту насіння з вологим ґрунтом.

Порівняльний аналіз базової та модернізованої конструкцій показав, що модернізований сошник має ряд переваг, зокрема зменшує ймовірність розкочування насіння по дну борозни, покращує формування посівного ложа та сприяє більш рівномірному проростанню насіння.

4. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розглянуто питання модернізації сівалки точного висіву УПС-12 для сівби цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції сошника. Метою роботи було підвищення якості виконання технологічного процесу сівби та покращення умов розміщення насіння у ґрунті.

У результаті виконання роботи отримано такі основні результати.

Проведено аналіз агротехнічних вимог до сівби цукрових буряків та встановлено, що якість сівби значною мірою залежить від рівномірності розміщення насіння у рядку, стабільності глибини його загортання та забезпечення надійного контакту насіння з вологим ґрунтом.

Виконано огляд конструкцій сівалок точного висіву та робочих органів посівних секцій. Встановлено, що одним із найважливіших елементів посівної секції є сошник, який формує борозну для розміщення насіння і значною мірою визначає якість виконання посівних робіт.

Проведено аналіз конструкцій сошників сівалок точного висіву та встановлено основні недоліки їх роботи, зокрема можливість розкочування насіння по дну борозни, недостатній контакт насіння з ґрунтом та нестабільність формування посівного ложа.

На основі проведеного аналізу запропоновано модернізовану конструкцію сошника посівної секції сівалки УПС-12, яка передбачає встановлення прикочувального ролика у зоні укладання насіння. Така конструкція забезпечує притискання насіння до дна борозни та покращує його контакт із вологим ґрунтом.

Виконано технологічне обґрунтування основних параметрів модернізованого сошника, зокрема глибини та ширини борозни, а також параметрів прикочувального ролика, що забезпечують формування оптимального посівного ложа.

Проведено силовий та енергетичний аналіз роботи модернізованого сошника. Встановлено, що тяговий опір одного сошника становить близько 60 Н,

а потужність, необхідна для роботи всіх сошників сівалки УПС-12, становить приблизно 1,4 кВт, що не створює значного додаткового навантаження на енергетичний засіб.

Виконано розрахунок елементів модернізованого сошника на міцність. Проведені розрахунки осі прикочувального ролика та кронштейна його кріплення показали, що напруження, які виникають у цих елементах під час роботи, є значно меншими за допустимі, що підтверджує надійність і працездатність запропонованої конструкції.

Аналіз технологічного процесу роботи модернізованого сошника показав, що запропонована конструкція забезпечує більш стабільне формування борозни, точніше розміщення насіння у ґрунті та покращення умов його проростання.

Таким чином, запропонована модернізація сошника посівної секції сівалки УПС-12 є технічно обґрунтованою і дозволяє підвищити якість виконання технологічного процесу сівби цукрових буряків та ефективність роботи посівного агрегату.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Лузан О.Р., Ковбаса В.П. Обґрунтування конструкції комбінованого наральника сошника просапної сівалки. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2025. Вип. 55. С. 121-133. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.121-133>.
2. Бондаренко М.Г. Демещук В.А. Комплектування і використання машино-тракторного парку в рослинництві: Підручник. Київ: Вища шк., 1995. 237 с.
3. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. За ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
4. Гапоненко В.С. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: 6-е вид., перероб. і допов. Київ: Урожай, 1992. 448 с.
5. Сало В.М. та ін. Загортаючі робочі органи для прямої сівби зернових культур: монографія / ; Кіровогр. нац. техн. ун-т. Кіровоград: Лисенко, 2012. 163 с.
6. Комаристов В.Ю., Петренко М.М., Косінов М.М. Сільськогосподарські машини. Київ: Урожай, 1996. 240 с.
7. Кошук О.Б., Лузан П.Г., Мося І.А. та ін. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ: ПІТО НАПН України, 2015. 291 с.
8. Лихочвор В.В. Рослинництво: технології вирощування сільськогосподарських культур. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
9. Лузан О.Р., Артеменко Д.Ю., Лузан П.Г., Кісільов Р.В. Теоретичний аналіз роботи сошника прямої сівби з адаптивними вертикальними дисками. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2025. Вип. 55. С. 238-249. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.238-249>.
10. Лузан П.Г. Лузан О.Р., Грінчук А.Є. Проблеми прямої сівби зернових культур. Міжнародна науко-практична конференція «Вертикальний обробіток ґрунту та зрошування – шлях до рекордних врожаїв» 20 лютого 2018 року. Кропивницький: ЦНТУ. 2018.

11. Лузан П.Г. Перспективні шляхи розвитку конструкцій сівалок для енергоощадних технологій. «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва»: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, (Тернопіль 30 листопада 2017 р. Частина 1). Тернопіль: Крок, 2017.— С.66-68.
12. Лузан П.Г., Лузан О.Р. Напрями вдосконалення технічного забезпечення для раціонального використання земельних ресурсів. Раціональне використання ресурсів в умовах екологічно стабільних територій: колективна монографія. Полтава: ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2018. С.28-36.
13. Лузан П.Г., Сало В.М., Лузан О.Р. Тенденції розвитку сівалок для прямої сівби зернових культур. «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»: матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф. (Житомир, 29-30 березня 2017 року). Житомир: ЖНАЕУ, 2017. С.33- 35.
14. Лузан П.Г., Сало В.М., Лузан О.Р. Удосконалення сошників сівалок для технологій мінімального обробітку ґрунту. The IX International Scientific and Practical Conference «Analysis of the problems of science and modern education», March 06 – 08, 2023, Prague, Czech Republic. С. 238-241. URL: <https://eu-conf.com/ua/events/analysis-of-the-problems-of-science-and-modern-education/>
15. Лузан П.Г. Перспективні технології вирощування сільськогосподарських культур. Perspective trends in scientific research – 2015. Materials of International scientific and practical conference. Volume 2. October, 17-22, 2015, Bratislava, Slovak Republic. С.167-168.
16. Основи сталого розвитку аграрного сектора: Досвід та знання Франції, Чеської республіки, України. За заг. ред. Я. Сансебе, Т.М. Димань. Біла Церква: ТОВ «Офсет», 2010. 304 с.
17. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник. Кропивницький: Видав. Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.
18. Сало В., Лузан П. Дисковий та анкерний сошники для прямого висіву зернових культур. Пропозиція, 2016. Вип. №6 С. 158-163.

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

19. Сало В.М., Вовнянко Б.Г., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Покращення якісних показників процесу сівби. Сільськогосподарські машини, 2024. Вип. 50, С. 113-119. DOI: <https://doi.org/10.36910/acm.vi50.1398>.
20. Сало В.М., Лузан П.Г. Напрями вдосконалення технічного забезпечення новітніх технологій прямої сівби зернових культур. Техніка і технології АПК, №9(60), 2014. С. 14-17.
21. Сало В.М., Лузан П.Г., Вовнянко Б.Г. Технічне рішення покращення якості процесів сівби. The XXII International Scientific and Practical Conference «Methodology and organization of scientific research», June 03-05, 2024, Berlin, Germany. Р. 26-29. URL: <https://eu-conf.com/en/events/methodology-and-organization-of-scientific-research/>.
22. Сало В.М. Шмат С.І., Лузан П.Г. Тенденції сталого розвитку сучасного сільськогосподарського машинобудування в Україні і за рубежом. Міжнародна науково-технічна Інтернет конференція «Задачі землеробської механіки в XXI сторіччі», 2-10 листопада 2011 г. Дослідницьке, Мелітополь, 2011. С. 61-65. URL: www.tsaa.org.ua.
23. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. Машини для рільництва; за ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2002. 364 с.
24. Черновол М.І. Забезпечення довговічності робочих органів загортаючих систем посівних машин / М.І. Черновол, В.М. Сало, Ю.В. Мачок, П.Г. Лузан, С.В. Мартиненко. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2012. 148 с.
25. Шмат С.І., Лузан П.Г. Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур. Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний наук. зб. Глевах: ННЦ «ІМЕСГ», 2010. Вип. 94. С. 126-133.
26. Шмат С.І., Лузан П.Г., Сало В.М. Оригінальні способи і засоби обробітку ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. Харків: Мачулін, 2018. 236 с.

ДОДАТКИ

					БС 00.000 ПЗ	Арк.
Вм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46