

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:**

«Механізація вирощування буряка з удосконаленням
сівалки ССТ-12В»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-23мб-1.1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Манохин Ярослав Вікторович

« _____ » 2026 р.

Керівник проекту

доцент, канд.техн.наук

_____Ірина СИСОЛІНА

« _____ » 2026 р.

Рецензент _____Дмитро ГОЛУБ

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітньо-наукова програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

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

_____ Манохіна Ярослава Вікторовича

прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування буряка з удосконаленням сівалки ССТ-12В
2. Керівник роботи (проекту) Сисоліна Ірина Петрівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 20.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Визначення проблем механізації вирощування буряка, знаходження шляхів удосконалення процесу посіву, що буде сприяти ресурсозбереженню і дозволить покращити технологічний процес та збільшити урожайність.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1 Технологічна карта на вирощування буряка 2. Загальний вигляд просапної сівалки 3. Складальне креслення посівної секції; 4. Креслення деталей сошникової групи.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу «Вступ»	.	
2	Виконання розділу «Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення»	.	
3	Виконання розділу «Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування культури»		
4	Виконання розділу «Інженерна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці».		
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини. Підготовка до захисту.		

Дата видачі завдання
« » 2026 р.

Підпис керівника
_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« » 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

[illegible]

[illegible]

Анотація

В роботі проведено аналіз технологій вирощування буряка, а також розроблена технологічна карта. Досліджена операційна технологія виконання посіву буряка. В інженерній частині були проведені технологічні та енергетичні розрахунки сошникової групи сівалки з модернізацією. Приведені заходи з охорони праці.

Ключові слова: буряк, сівалка, посів, сошник, прикочуючий ролик

Abstract

The paper analyzes the technologies of beet cultivation, and also develops a technological map. The operational technology of beet sowing is studied. In the engineering section, technological and energy calculations of the coulter group of the seeder with modernization were carried out. Occupational safety measures are given.

Keywords: beet, seeder, sowing, coulter, compacting roller

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	7
2	Аналіз типової технології вирощування культури з визначенням шляхів її удосконалення	8
3	Операційна технологія виконання заданої операції з вирощування культури	16
4	Інженерна частина	34
5	Охорона праці	51
6	Висновки	54
-	Список використаної літератури	55

1. ВСТУП

Сучасний вектор розвитку буряківничої галузі в Україні безпосередньо пов'язаний із необхідністю підвищення енергоефективності машинно-тракторних агрегатів та забезпечення прецизійної точності виконання польових робіт. Буряк (зокрема цукровий, столовий та кормовий) є стратегічною продовольчою та технічною культурою з високою рентабельністю, проте фінальна продуктивність посівів повністю лімітується початковим етапом вегетації - якістю та рівномірністю сходів.

Одним із вирішальних етапів у вирощуванні просапних культур є процеси посіву та прикочування.

Удосконалення сошників просапних сівалок є ключовим етапом у переході до технологій Precision Planting (точного висіву), оскільки саме цей вузол відповідає за якість закладання насіння та його контакт із ґрунтом.

Відхилення глибини закладання від оптимального обрію призводить до суттєвого спаду польової схожості.

Проведення аналітичних та конструкторських розрахунків, спрямованих на модернізацію полозкових сошників, обґрунтування їх геометрії є актуальним науково-практичним завданням.

Метою роботи є покращення механізації вирощування буряка за рахунок підвищення стабільності глибини ходу сошника та покращення польової схожості насіння буряків шляхом науково обґрунтованого проектування параметрів модернізованого полозкового робочого органу, що дозволить ліквідувати нерівномірність сходів, знизити страхові надбавки насінневого фонду.

					МВБ 00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Манохін				Механізація вирощування буряка з удосконаленням сівалки ССТ-12В	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Сисоліна						7	
Реценз.						ЦНТУ, гр. АІ-23мб-1.1		
Н. Контр.	Артеменко							
Затверд.	Васильковський							

2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКА З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Технологічні основи та комплексна механізація вирощування буряка

Буряк є фундаментальною продовольчою, технічною та кормовою культурою з високою біологічною цінністю коренеплодів. У промисловому та приватному агровиробництві чітко розмежовують три основні господарські напрями:

Цукровий буряк: вирощується у масштабних обсягах для переробної промисловості з метою екстракції цукру та патоки. Цей сегмент є прерогативою великих агрохолдингів, оскільки потребує специфічних широкозахватних комплексів, значних площ та складного логістичного ланцюга (вирощування - збирання - транспортування - промислова переробка - маркетинг готового продукту). Для дрібного та середнього фермерства цей вектор є капіталомістким і ризикованим.

Столовий буряк: товарне виробництво цього овоча є перспективною та високомаржинальною нішею саме для малих і середніх фермерських господарств.

Кормовий буряк: незамінний елемент для створення збалансованої соковитої кормової бази у тваринницьких підприємствах.

Незважаючи на різне кінцеве призначення, базові елементи технології вирощування цих коренеплодів є подібними, а максимальний рівень інженерної механізації процесів виступає головним чинником зниження собівартості виробництва.

Кращими попередниками для бурякового клинка традиційно виступають озима пшениця та інші зернові колосові культури. Останнім часом у виробничу практику активно впроваджують схеми посіву після кукурудзи на зерно. Така технологія потребує обов'язкового використання важких мульчувачів (подрібнювачів), які забезпечують якісне фракційне кришіння грубостеблових

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишків кукурудзи та їх часткове закладання в поверхневий шар на глибину 3–5 см.

Технологія обробітку ґрунту

В інженерній практиці немає універсального правила щодо вибору між класичною полицевою оранкою та безвідвальним чизелюванням.

Таблиця 2.1

Конструктивні особливості агроприймів

Технологічний прийом	Переваги	Ризики та недоліки
Традиційна оранка (плуг)	Повне повернення пласта, якісне загортання бур'янів та добрив у глибокі шари	За посушливої осені утворюються великі брили, які не руйнуються взимку
Чизелювання (глибокорозпушувач)	Руйнування плужної підшви, збереження стерні, краще накопичення вологи	Менш ефективно загортання значних обсягів поверхневої соломи

Головна вимога, що не підлягає сумніву - обов'язкова реалізація саме глибокого обробітку. Особливу проблему становить суха осінь: при роботі плуга на поверхню вивертаються масивні структурні блоки ґрунту. Якщо зима характеризується дефіцитом опадів та відсутністю стабільних морозів, ці брили не зазнають природного руйнування (кришіння через замерзання води), що критично ускладнює весняний передпосівний сервіс поля.

Якісна підготовка поля під буряк починається ще влітку під час обмолоту попередника (пшениці). Неякісна робота соломоподрібнювача комбайна призводить до формування довгих фракцій рослинних залишків та їх нерівномірного розподілу у вигляді щільних валків. Наступний прохід плуга просто перевертає ці «снопи» на глибину 25 см, створюючи там ізольовані анаеробні шари соломи, які довго не мінералізуються і блокують ріст кореня буряка.

Агротехнічні вимоги до підготовки ґрунту та посівного матеріалу

Спільною вимогою для всіх різновидів культури є забезпечення глибокого, пухкого та аерованого орного шару, оскільки формування

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коренеплоду відбувається безпосередньо в землі. Основний обробіток передбачає проведення глибокої осінньої зяблевої оранки відвальним плугом із подальшим ранньовесняним закриттям вологи боронами. Альтернативним варіантом для інтенсивного весняного крошіння скиби є застосування вертикальних або горизонтальних ґрунтофрез.

Особливістю біології буряка є підвищена вимогливість до родючості та структури ґрунту. Найвищий біологічний врожай фіксується на глибоких чорноземах та легких суглинках із нейтральним показником кислотності (рН). Насичення профілю елементами живлення через осіннє внесення мінеральних та органічних добрив є обов'язковим елементом інтенсифікації.

Регламент сівби

Буряк належить до групи відносно холодостійких рослин - початок вегетації та проростання насіння можливі вже за умов прогрівання посівного ложа до 4...5 °С. Це дозволяє диференціювати строки сівби залежно від цільового призначення врожаю.

Таблиця 2.2

Параметри технологій

Параметри технології	Перша черга (літньо-осіння реалізація)	Друга черга (зимове тривале зберігання)
Сортова специфіка	Ранні та середньоранні гібриди	Пізнюстигли сорти з високою лежкістю
Тривалість вегетації	80...100 діб	125 ...150 діб
Період сівби	Рання весна (кінець березня — початок квітня)	Співвідноситься з прогріванням ґрунту до 5...7 °С на глибину 100...120 мм
Глибина закладання	30 - 40 мм	30 - 40 мм із обов'язковим передпосівним обробітком
Знаряддя для ложа	Зубчасті або роторні борони	Передпосівна культивация плоскорізами

Фінальний успіх вирощування цієї просапної культури повністю лімітується показниками польової схожості її насіння, яке має надзвичайно малу питому вагу (маса 10–15 насінин буряка еквівалентна вазі лише одного зерна пшениці). Малий запас ендосперму вимагає створення бездоганної структури насіннєвого ложа.

Важливо звертати увагу на систематизацію типових помилок передпосівного обробітку:

Передчасний виїзд у поле (завищена вологість): провокує миттєве ущільнення нижніх шарів колесами МТА, що призводить до подальшого викривлення та галуження головного кореня.

Надмірне заглиблення робочих органів: перешкоджає природному осіданню ґрунтового профілю і повністю перериває капілярний підйом підземної вологи до насінини.

Завищена швидкість та надмірна кількість проходів: призводить до повного розпилення структури ґрунту (деструкції грудочок), посилює ризики вітрової та водної ерозії, а після перших опадів викликає запливання поля та утворення монолітної ґрунтової кірки, яку проростки не здатні пробити.

Для закладання насіннєвого матеріалу використовують спеціалізовані пневматичні або механічні сівалки точного висіву. За умови використання кондиційного, відкаліброваного насіння з високою лабораторною схожістю, ці машини забезпечують суттєве заощадження насіннєвого фонду та мінімізують ручну працю на подальшому проріджуванні сходів.

Оптимальним засобом для посіву буряків є сівалки точного висіву. Поштучний висів налаштовується в межах до 100 мм, що повністю задовольняє біологічні вимоги вирощування столових та кормових форм.

Діаметр чарунок (комірок) робочого диска встановлюють на позначці 6 мм. Передавальне відношення ланцюгової передачі редуктора фіксують у пропорції 1:1. Ширина міжрядь: для столових сортів оптимальний діапазон становить 350 - 600 мм, тоді як для потужніших розеток кормового буряка цей інтервал розширюють до 500 - 700 мм.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Догляд за посівами та інтегрований захист

Цукровий буряк відзначається значною пластичністю щодо температурних умов початкових етапів вегетації: біологічний діапазон проростання його насіннєвого матеріалу становить від +4 до +17°C. Проте між тепловим фоном посівного шару та швидкістю появи перших паростків існує пряма функціональна залежність. За умови мінімальних позитивних температур період від сівби до сходів затягується, і різниця в часі появи перших петель порівняно з оптимальними умовами може сягати 10–15 діб.

Комплекс післясходових заходів спрямований на знищення перших хвиль бур'янів, руйнування ґрунтової кірки та покращення аерації коріння. Міжрядний обробіток буряків не потребує підгортання і реалізується за допомогою плоскорізних робочих органів. Залежно від обраної ширини міжрядь можуть застосовувати плоскорізи, наприклад, марок П-320, П-400 або П-700.

Якщо посіви буряків розміщені на важких ґрунтах із значною засміченістю, ефективним буде використання плоскоріза-розпушувача, який впорається з підрізанням бур'янів та ефективно розпушить поверхневий шар ґрунту. При цьому він подрібнить рослинні залишки і загорне їх у ґрунт, що забезпечить її мінералізацію та додаткове харчування рослинам.

Для одночасного підживлення рослин доцільно використовувати культиватор, конструкція якого передбачає встановлення бункера для локального внесення мінеральних добрив.

Ширина захвату культиватора становить до 400 мм, що відповідає умовам вирощування столового буряка.

Буряк добре реагує на азотно-фосфорно-калійні добрива, норма внесення яких залежить від вихідних характеристик ґрунту.

Обґрунтування точних норм внесення має базуватися на глибокому аналізі ґрунтового профілю та плановому винесенні елементів із запланованим урожаєм. Потрібно зважати, що надмірний обсяг азоту в другій частині літа провокує форсований ріст бадилля на шкоду розвитку коренеплоду, що суттєво гальмує синтез сахарози.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фосфор критично необхідний сходам на початкових етапах органогенезу, коли первинний корінь ще слабо розвинений і нездатний абсорбувати важкодоступні фосфати. Оптимальний фосфорний фон гарантує приріст валового збору та підвищує цукристість. Проте за умов дефіциту азоту поглинання фосфору рослиною блокується, тому їх внесення має бути комплексним.

Обидва елементи калій (K) та натрію (Na) є каталізаторами накопичення цукру. Калійні туки демонструють максимальний ефект на легких піщаних та торфових ґрунтах. Натрій здатний заміщувати калій у старіших листових пластинках, стимулюючи реутилізацію (відтік) останнього до тканин коренеплоду. Якщо ж виникає калійне голодування, у молодому листі різко концентрується натрій, що спричиняє передчасний некроз і спад інтенсивності фотосинтезу. Вибір методу оптимізації мікроелементного фону залежить від результатів лабораторного аналізу:

1. Основне внесення у ґрунт: рекомендується виключно за умов критично низького природного забезпечення поля мікроелементами.

2. Позакореневе (листоове) підживлення: якщо базове забезпечення ґрунту оцінюється як задовільне або середнє, найбільш ефективним інструментом є дрібнодисперсне обприскування посівів хелатними формами мікроелементів по листу, що гарантує їх миттєве засвоєння рослинним організмом.

На кислих ґрунтах обов'язковим є внесення кальцію (Ca).

Окрім механічної боротьби з бур'янами та превентивного протруювання, вегетуючі посіви потребують хімічного обприскування штанговими обприскувачами при виникненні загрози епіфітотій або засилля шкідників:

1. Фунгіцидні обробки: застосовують для придушення сплахів церкоспорозу та пероноспорозу (несправжньої борошнистої роси).

2. Інсектицидний захист: необхідний при фіксації критичного порогу шкодочинності бурякової мухи, щитоноски або бурякової попелиці.

3. Позакореневе підживлення: поєднується з пестицидними обробками

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шляхом додавання у бакову суміш рідких макроелементів та адаптогенних стимуляторів росту.

Базовий інженерний комплект для реалізації повноцінного циклу вирощування буряків містить:

- Ґрунтообробну техніку: оборотні плуги або ротаційні фрези, середні зубчасті чи роторні борони, просапні культиватори з набором плоскорізних лап;
- Посівні комплекси: сівалки точного висіву із регульованими міжряддями;
- Засоби захисту: штанговий обприскувач відповідного класу та продуктивності.

2.2. Розробка технологічної карти вирощування та збирання буряка

Технологічна карта виступає базовим виробничо-технологічним і планово-економічним документом, який регламентує раціональну архітектуру операцій з вирощування сільськогосподарських культур. Цей комплексний план інтегрує у собі чітку хронологічну послідовність механізованих та ручних процесів, визначає їхні календарні ліміти, оптимальний склад машинно-тракторних агрегатів, чисельність лінійного персоналу, годинну та змінну продуктивність техніки, а також питомі витрати енергетичних ресурсів, палива та фінансів.

Завдяки попередньому складанню технологічної карти менеджмент підприємства отримує можливість:

- Точно спрогнозувати потребу в оборотних коштах, ПММ, насінні та добривах до початку сезону;
- Оперативно контролювати хід виконання польових робіт у режимі реального часу;
- Оцінювати якість праці та здійснювати поопераційний аудит витрат, мінімізуючи виробничі ризики.

Проведемо розрахунок посіву як однієї з операцій по технології вирощування буряку.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість днів роботи розраховуємо за формулою

$$n_{\partial} = \frac{Q_p}{W_{зм} \cdot n_{зм}}, \quad (2.1)$$

де Q_p – обсяг роботи, $Q_p = 100$ га;

$n_{зм}$ – кількість змін роботи, приймаємо $n_{зм} = 1$.

$$n_{\partial} = \frac{100}{33,44 \cdot 1} = 2,99.$$

Приймаємо 3 дн.

Кількість агрегатів розраховуємо за формулою

$$N_a = \frac{Q_p}{H_{\epsilon} \cdot n_{зм} \cdot n_{\partial}}$$

де H_{ϵ} – норма виробітку агрегату за 10 год., $H_{\epsilon} = 33,44$ га.

$$N_a = \frac{100}{33,44 \cdot 1 \cdot 3} = 0,99$$

Приймаємо 1 агрегат.

Знаходимо витрати праці, люд.год/га.

$$З_{\partial} = \frac{n \cdot T_{зм}}{W_{зм} \cdot N_a}$$

де n – кількість обслуговуючого персоналу. За вимогами до машини: механізаторів – 1; допоміжних працівників – 1;

$$З_{\partial} = \frac{2 \cdot 10}{33,44 \cdot 1} = 0,598 \text{ люд.год/га.}$$

Інші операції розраховуємо аналогічно, після чого підраховуємо суму затрат на вирощування заданої культури.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ПОСІВУ З ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКІВ

3.1. Агротехнічні вимоги до посіву

Календарні терміни проведення посівної кампанії суттєво визначають майбутню врожайність та якість солодких коренеплодів. Біологічні особливості буряків свідчать, що початковий рівень площі асиміляційного апарату формується орієнтовно через три тижні після проростання, а досягнення максимальних (оптимальних) параметрів листової поверхні відбувається ще за 10–15 діб. З огляду на це, графік проведення польових робіт слід розраховувати так, щоб пікові фази вегетації надземної маси не збігалися з періодами літньої повітряної чи ґрунтової посухи. Прогнозування таких критичних періодів здійснюється шляхом ретельного ретроспективного аналізу метеорологічних даних конкретного регіону за попередній п'ятирічний цикл.

Приблизно на 40–50 добу вегетації починається етап інтенсивного набору маси підземною частиною та активний синтез сахарози. З настанням осені (у вересні) темпи приросту сухої речовини та цукристості помітно пригнічуються. Це зумовлено природним зниженням середньодобового температурного режиму та погіршенням радіаційного балансу (інтенсивності сонячного світла). Відповідно, для максимізації фінальних зборів цукру менеджмент має забезпечити рослинам максимально тривалий безкризовий період формування коренеплодів.

Зміщення початку посівної кампанії всього на декаду (10 днів) спричиняє недоборі врожаю у межах 2.6–3.5 т/га, а також знижує рівень цукристості на 0.4–0.8%.

Проте надмірний поспіх також несе технологічну небезпеку. Виходити в поле дозволяється лише після досягнення ґрунтовою масою фізичної (технологічної) стиглості. У разі наближення затяжних дощових фронтів посівні роботи заздалегідь призупиняють, оскільки свіжорозпушений верхній шар ріллі

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

надзвичайно вразливий до водного змиву, замулювання та утворення щільної ґрунтової кірки.

Технологічні параметри заробки насіння

Дотримання глибини заробки насіннєвого матеріалу є базовим фактором отримання дружніх сходів. Критично важливо створити бездоганний капілярний контакт насінини з вологим ложем, вкривши її зверху дрібногрудочкуватим пухким прошарком землі. Робоча швидкість руху тракторного поїзда має бути помірною — це дозволяє повністю відмовитися від додаткового післяпосівного прикочування, зберігаючи стабільну глибину ходу сошників та ідеальну лінійну розкладку насіння у рядку.

Сучасні стандарти високоточного точного висіву висувають жорсткі вимоги до технічного обслуговування дозуючих систем.

Якщо розрахункова швидкість руху становить 6 км/год, а плановий інтервал між насінинами дорівнює 16 см, кожна окрема висівна секція повинна стабільно, без поодиноких пропусків чи формування «двійників», розподіляти рівно 625 насінин за хвилину. При цьому однакову значущість має як поздовжня рівномірність інтервалів, так і вертикальна однорідність засипання насіння ґрунтом.

Розрахунок оптимальної густоти насаджень

Формування оптимальної архітекτονіки посіву має базуватися на тривимірному аналізі: кліматичний потенціал зони, технологічне забезпечення господарства та рівень забур'яненості ріллі.

Залежно від поєднання цих факторів вологозабезпечення, рівня агротехніки, засміченості полів агрономічна служба обирає один із двох стратегічних векторів:

- Інтенсивний вектор (60–80 тис. насінин/га): Застосовується за умов високої культури землеробства, наявності інтегрованої та продуманої системи захисту рослин, збалансованого макро- і мікродобрива та достатнього рівня природного зволоження. За таких умов кожна рослина здатна сформувати потужний листковий апарат і великий коренеплід.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Екстенсивно-захисний вектор (130–150 тис. насінин/га):
Рекомендується для засушливих регіонів із високим ризиком забур'яненості полів. Оскільки через лімітувальні фактори буряки не здатні утворити велику індивідуальну площу листя, дефіцит фотосинтетичного потенціалу компенсують за рахунок збільшення кількості рослин на одиницю площі.

Багаторічні дослідження, зокрема Білоцерківської дослідної селекційної станції, довели, що коливання густоти стояння рослин у широких межах (від 60–70 до 140–150 тис./га) за умови еквівалентних агротехнічних умов не чинить радикального впливу на кінцеву біологічну врожайність та рівень диференціації цукристості. Таким чином, штучне завищення норми висіву є економічно виправданим виключно як компенсаторний механізм при роботі в екстремальних або ризикованих погодних умовах.

3.2. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

3.2.1. Вибір трактора за тяговими можливостями

Для обґрунтованого підбору енергетичного засобу, здатного забезпечити максимальну ефективність посівної кампанії, ключовою умовою є розрахунок оптимального кінематичного узгодження між робочими параметрами знаряддя та силовими характеристиками двигуна. Процес вибору трактора базується на комплексному аналізі трьох основних детермінант: сукупного тягового опору посівної машини P_c , заданої експлуатаційної швидкості руху агрегату V_c та номінального зусилля на гаку трактора P_T , що генерується при відповідному швидкісному режимі.

Оптимальним завантаженням трактора вважається, коли витримується співвідношення

$$P_T = (1,1 - 1,2) \cdot P_c, \text{кН} \quad (3.1)$$

Узагальнений показник тягового опору сільськогосподарської машини в умовах виконання технологічного процесу визначається за залежністю:

$$P_c = \kappa_0 \cdot B, \text{кН} \quad (3.2)$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де k_0 – питомий опір посівного агрегата, кН/м (для бурякових комплексів цей параметр варіюється у межах 0,8-2,0 кН/м). Для розрахунків береться максимальне навантаження $k_0 = 2,0$ кН/м;

B – номінальна ширина конструктивного захвату сівалки, для ССТ-12В, $B = 5,4$ м.

Застосовуючи вихідні дані до формули (3.2), отримуємо наступний результат

$$P_T = 1,2 \cdot 5,4 = 6,48 \text{ кН}$$

Аналіз тягової характеристики універсально-просапного колісного трактора класу 1.4 (зокрема, моделі МТЗ-80) вказує, що при швидкості переміщення $V_c = 7,2$ км/год його номінальне зусилля на гаку фіксується на позначці 14 кН, це доводить, що цей енергетичний засіб володіє достатнім потенціалом для стабільного агрегування бурякової сівалки ССТ-12В без ризику перевантаження трансмісії.

При реалізації посівних робіт, окрім суто енергетичного балансу, критично важливе значення має збереження кінематичної стабільності руху рухомого комплексу. Відхилення від нормальної траєкторії під впливом зовнішніх збурень може відбуватися у двох просторових напрямках:

- Поздовжня дестабілізація - порушення стійкості, що протікає у вертикальній площині, яка збігається з поздовжньою віссю симетрії трактора;
- Поперечна дестабілізація - втрата рівноваги, яка виникає у площині, розташованій строго перпендикулярно до поздовжнього вектора руху машини.

Втрата контролю над просторовим положенням машинно-тракторного агрегату безпосередньо загрожує безпеці оператора і веде до аварійних ситуацій. Головними проявами дестабілізації є:

- Вертикальне перекидання або занесення рухомого комплексу (найбільш небезпечний вид руйнування стабільності);
- Критичне погіршення або повна втрата керованості колісного тягача, що виникає внаслідок надмірного розвантаження керованої осі або, навпаки, її раптового динамічного перевантаження;

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Прискорене втомне руйнування конструкційних елементів ходової частини, осей, цапф та шин через систематичне перевищення допустимих питомих тисків;

- Боковий зсув або неконтрольоване сповзання коліс під дією гравітаційних сил при роботі на полях зі складним схиловим рельєфом.

Тому важливо розраховувати повздовжню та поперечну стійкість агрегату.

З огляду на вищезазначені фактори, оцінка придатності трактора суто за його паспортними тяговими можливостями для роботи з важким начіпним обладнанням є неповною та несе в собі приховані технологічні загрози. Інженерна служба підприємства зобов'язана провести додаткову перевірку просторової стабільності системи.

Необхідно гарантувати стовідсоткову безпеку руху під час виконання розворотів на краях полів, маневрування на польових дорогах, коли сільськогосподарська машина переведена гідросистемою у підняте транспортне положення. У цей момент центр мас усього МТА суттєво зміщується назад, створюючи перекидальний момент, що вимагає обов'язкового розрахунку коефіцієнта запасу поздовжньої стійкості начіпного комплексу.

Використання трактора з оптимальним рівнем завантаження двигуна дозволяє досягти мінімальної питомої витрати дизельного палива на гектар.

Стабільний та стійкий рух трактора без поздовжніх і поперечних коливань є обов'язковою умовою для коректного функціонування інтелектуальних систем паралельного водіння та GPS-навігації. Відсутність вібраційних спотворень дозволяє усунути пропуски та перекриття при висіві, підняти рівень фондовіддачі техніки та максимізувати показники фінального чистого прибутку підприємства.

3.2.2. Визначення повздовжньої стійкості начіпного агрегата

Нестійким агрегатом у повздовжній площині буде агрегат з начіпною машиною в транспортному положенні на підйом, при русі (рис. 3.1).

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

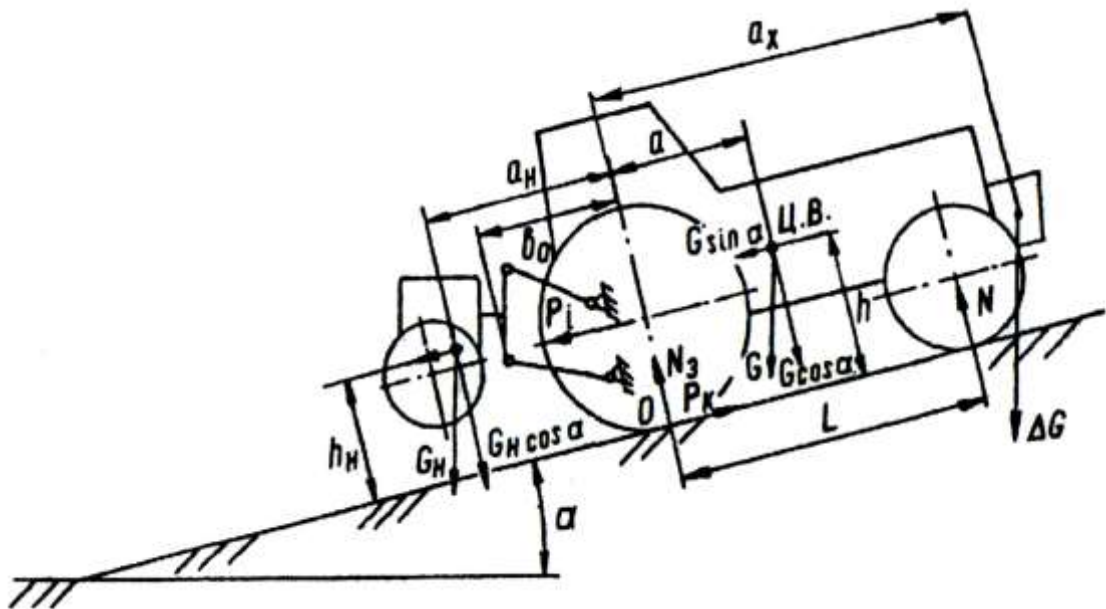


Рис. 3.1. Схема сил, що діють на колісний трактор, що рухається на підйом із начіпною машиною.

Критерієм оцінки просторової стабільності машинно-тракторних комплексів із колісними енергетичними засобами (класу 1.4) виступає коефіцієнт використання запасу повздовжньої стійкості начіпного або навісного агрегату (X_H). Цей показник характеризує ступінь динамічного розвантаження передньої керованої осі трактора під дією маси піднятого знаряддя у вертикальній площині і розраховується за формулою:

$$X_H = \frac{G_c - a_H}{G_T - a}, \quad (3.3)$$

де G_c – сила ваги (тяжіння) сівалки ($G_c = 13,1$ кН);

G_T – експлуатаційна сила ваги трактора, кН (для базової моделі МТЗ-80 $G_T = 36$ кН);

a_H – повздовжня координата центра тяжіння піднятої в транспортне положення сівалки, виміряна від осі задніх (ведучих) коліс трактора, м ($a_H = 1,1$ м);

a – повздовжня координата центра тяжіння трактора відносно осі його задніх ведучих коліс, для МТЗ-80 $a = 0,724$.

Повздовжня стійкість і задовільна керованість агрегату будуть забезпечені при $X_H \leq 0,4$, різко погіршується керованість трактора при більших значеннях X_H .

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Підставивши вихідні інженерні параметри у формулу (3.3), отримуємо:

$$X_n = \frac{13,1 \cdot 1,1}{36 \cdot 0,724} = 0,55$$

Агроінженерні стандарти безпеки визначають, що надійна поздовжня стабільність та належна керованість руху агрегату гарантуються лише у разі дотримання умови $X_n \leq 0,4$. При перевищенні цього порогу зчеплення передніх коліс із ґрунтом різко погіршується, виникає небезпечний ефект «галопування» та втрачається контроль над траєкторією руху.

Оскільки в нашому випадку розраховане значення $0,55 > 0,4$, вихідна поздовжня стійкість та керованість посівного комплексу є незадовільною, що вимагає штучного коригування мас.

Для відновлення нормативного тиску на передню керовану вісь трактора та зниження коефіцієнта використання запасу стійкості до безпечного рівня, у передній частині трактора на кронштейні рами встановлюють додаткові баластні вантажі загальною масою ΔG . Відстань від точки монтажу цих вантажів до осі заднього моста трактора становить a_x (для МТЗ-80 $a_x = 2,8$ м).

Необхідну вартісну величину додаткової сили ваги баласту визначають за залежністю:

$$\Delta G = \frac{(X_n - X_n^1) \cdot a}{X_n^1 \cdot a_x} \cdot G_T, \text{кН} \quad (3.4)$$

де X_n^1 – коефіцієнт поздовжньої стійкості агрегату.

Розрахунок маси необхідного баласту має вигляд:

$$\Delta G = \frac{(0,55 - 0,4) \cdot 0,724}{0,4 \cdot 2,8} \cdot 36 = 3,4 \text{кН}$$

Для технічної реалізації баластування використовуються стандартні чавунні вантажі, сила ваги кожного з яких дорівнює 0,2 кН. Загальна кількість окремих блоків вантажів n (шт.) становить:

$$n = \frac{\Delta G}{0,2} = \frac{3,4}{0,2} = 17$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийmemo до встановлення комплект баластних вантажів загальною вагою 3,4кН (що відповідає повному завантаженню переднього заводського кронштейна з урахуванням динамічного запасу). Проведемо перевіорчне уточнення фактичного коефіцієнта запасу поздовжньої стійкості після модернізації:

$$X_n^1 = \frac{13,1 \cdot 1,1}{36 \cdot 0,724 + 3,4 \cdot 2,8} = 0,4,$$

З урахуванням похибки заокруглення та конструктивного допуску, фактичне значення повністю відповідає межі безпечної експлуатації МТА.

Граничний (критичний) кут підйому $\alpha_{кр}$, при русі на який у транспортному положенні існує загроза перекидання або втрати зчеплення керованих коліс, визначимо на основі статичного паритету сил:

$$tg \alpha_{кр} = tg \alpha_{lim} \left(\frac{1 - X_H^1}{1 + \delta_H^1} \right) - \mu, \quad (3.5)$$

тоді
$$tg \alpha_{lim} = \frac{a}{h} = \frac{0,724}{0,821} = 0,88,$$

де h – вертикальна координата центра тяжіння трактора відносно опорної поверхні поля, m і (для МТЗ-80 $h = 0,821$);

μ – коефіцієнт перекочування коліс трактора, $\mu = 0,2$.

Після підстановки узагальнених лінійних характеристик та обчислення арктангенса тригонометричного рівняння, отримуємо критичний кут безпечного подолання схилів:

$$\delta_n^1 = \frac{G_c}{G_T + \Delta G} = \frac{13,1}{36 + 3,4} = 0,33,$$

Тоді:
$$tg \alpha_{кр} = 0,88 \cdot \left(\frac{1 - 0,4}{1 + 0,33} \right) - 0,2 = 0,25$$

$$\alpha_{кр} = 14^0.$$

В межах аналізу експлуатаційної надійності необхідно виконати перевіорчний розрахунок нормальних реакцій ґрунту на передню та задню осі

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ходової системи, щоб перевірити їх на відповідність граничній вантажопідйомності на колеса.

Нормальне динамічне навантаження на передні колеса трактора R_n :

$$R_n = \frac{G_T \cdot a + \Delta G \cdot a_x - G_c \cdot a_H - G_{заг} \cdot r_k \cdot \mu}{L}, \quad (3.6)$$

на задні:

$$R_z = G_T + \Delta G + G_c - R_1, \quad (3.7)$$

де $G_{заг}$ – загальна сила ваги усього агрегату:

$$G_{заг} = G_T + G_c + \Delta G = 36 + 13,1 + 3,4 = 52,5H,$$

де r_k – радіус кочення ведучих коліс трактора (для МТЗ-80 $r_k = 0,73$ м);

L – повздовжня база енергетичного засобу (для МТЗ-80 $L = 2,37$ м).

Проведення математичного моделювання просторової стабільності та розподілу осьових навантажень є важливим інструментом антикризового управління агрофірми. Баластування кронштейна вантажами вагою 3,4\$ кН повертає керованість у нормативне поле, повністю нівелюючи ризики травматизму та захищаючи дороги посівні комплекси від руйнування.

Сучасні системи автоматичного підрулювання та прецизійного висіву критично залежать від рівномірності руху рами. Стабілізація поздовжніх коливань за допомогою розрахованого баласту забезпечує плавне кочення коліс, гарантує точність укладання насіння в борозну.

Підставимо усі необхідні величини в рівняння 3.6:

$$R_n = \frac{36 \cdot 0,724 + 3,4 \cdot 2,8 - 13,1 \cdot 1,1 - 52,5 \cdot 0,73 \cdot 0,2}{2,37} = 5,7кН$$

Тоді сумарна реакція ґрунту на задні колеса дорівнює:

$$R_z = 36 + 3,4 + 13,1 - 5,7 = 46,8кН$$

Допустимі навантаження на передні колеса трактора МТЗ-80 - $R_n = 12$ кН, а на задні - $R_z = 33,7$, отже, у нашому випадку, передні колеса недовантажені майже наполовину, а задні значно перевантажені.

Розрахуємо перевантаження (Δ) задніх коліс:

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\Delta = \frac{46,8 - 33,7}{33,7} \cdot 100 = 38,8\%.$$

Якщо при швидкості агрегату V_c до 8 км/год (при робочій швидкості $V_c = 7,2$ км/год) допускається перевантаження задніх коліс до 40%, то можна вважати, що знаходяться у припустимих межах перевантаження задніх коліс трактора, тобто не порушується керованість агрегату.

Визначимо змінну продуктивність агрегату, га/зм

$$W_{зм} = 0,1 B_p \cdot V_p \cdot T_p, \quad (3.8)$$

де B_p – робоча ширина захвату сівалки, м

$$B_p = B_K \cdot \beta, \quad (3.9)$$

де B_K – ширина захвату, м, ($B_K = 5,4$ м);

β – коефіцієнт використання ширини захвату посівного агрегату ($\beta = 1,0$).

$$B_p = 5,4 \cdot 1,0 = 5,4 \text{ м.}$$

де V_p – робоча швидкість посівного агрегату, км/год

$$V_p = 7,2 \text{ км/год,}$$

де T_p – чистий робочий час, год.

$$T_p = T_{\text{зі}} \cdot \tau \quad (3.10)$$

де $T_{\text{зі}}$ – час зміни, год. Приймаємо $T_{\text{зі}} = 10,0$ год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни, при довжині гонів 1000 м, $\tau = 0,86$

$$T_p = 10 \cdot 0,86 = 8,6 \text{ год.}$$

Проводимо розрахунок підставивши значення у формулу (3.8)

$$W_{зм} = 0,1 \cdot 5,4 \cdot 7,2 \cdot 8,6 = 33,44 \text{ га/зм;}$$

Знаходимо витрату палива на 1 га площі, кг/га

$$Q_{\text{за}} = \frac{Q_{зм}}{W_{зм}}, \quad (3.11)$$

де $Q_{зм}$ – витрати палива за зміну, кг/зм;

$W_{зм}$ – змінна продуктивність, га/зм.

$$Q_{зм} = Q_p \cdot T_p + Q_x \cdot t_x + Q_z \cdot t_z \quad (3.12)$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Q_p, Q_x, Q_z – відповідно годинні витрати палива при виконанні сівби, холостого русі та на зупинках; $Q_p=25$ кг/год; $Q_x=10$ кг/год; $Q_z = 2,5$ кг/год; T_p, t_x, t_z – відповідний час рухів робочих і холостих, час зупинок

$$t_x = t_z = \frac{T_{zm} - T_p}{2} \quad (3.13)$$

де T_{zm}, T_p – робочий час чистий, год, $T_p = 8,6$ год.

T_{zm} - час зміни, год, $T_{zm} = 10$ год;

$$t_x = t_z = \frac{10 - 8,6}{2} = 0,7 \text{ год.}$$

Підставляємо отримані значення до формули (2.12)

$$Q_{zm} = 25 \cdot 8,6 + 10 \cdot 0,7 + 2,5 \cdot 0,7 = 223,75 \text{ кг/зм.}$$

Отримані значення підставляємо у формулу (3.11)

$$Q_{ca}^{II} = \frac{223,75}{33,44} = 6,69 \text{ кг/год;}$$

3.3. Технічний контроль та налаштування посівного комплексу

Комплексна підготовка обладнання поділяється на два взаємопов'язані етапи: довиїзний контроль та поточний моніторинг у полі.

Превентивна перевірка (проводиться на базі до початку робіт):

- Комплектація дозаторів правильними висівними дисками, що відповідають фракції посівного матеріалу.
- Перевірка частоти кроку висіву в рядку (кількість штук на погонний метр). Для агрегатів із централізованим механічним приводом цей параметр має суворо корелювати з передаточним відношенням (числом зубів) зірочок у коробці передач сівалки.
- Ретельне очищення робочих отворів висівних дисків від залишків протруйника чи пилу.
- Контроль плавності та легкості обертання приводних валів та робочих елементів секцій.
- Оцінка рівня абразивного зносу очисників та перевірка

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормативного зазору між ними і диском.

- Оцінка стану та заточки елементів сошників для нарізання чіткого клиноподібного насіннєвого ложа.

- Візуальний огляд корпусів висівних вузлів на предмет відсутності деформацій, тріщин або слідів локального виробітку.

Б. Поточний операційний контроль (виконується безпосередньо в полі):

- Верифікація горизонтального положення замка начіпки (зчіпного пристрою), що гарантує паралельність роботи всіх секцій сівалки відносно поверхні поля.

- Контроль заповнення насіннєвих бункерів (уникнення надмірного тиску великої маси насіння на дозуючі органи).

- Оцінка симетричності та якості роботи шлейф-загортачів.

- Інструментальний замір фактичної ширини міжрядь за допомогою мірної стрічки.

- Проведення відкриття рядків для контролю глибини заробки та лінійних інтервалів між насінинами.

- інженерно-експлуатаційні вимоги під час посівної

Під час виконання робіт категорично заборонено перевищувати встановлені швидкісні ліміти. Інтенсифікація руху посівного агрегату понад 6 км/год лавиноподібно збільшує відсоток технологічного браку: з'являються чисельні пропуски, подвійні присмоктування, погіршується контакт насінини з ґрунтовою вологою через ефект «стрибання» сошника.

Спроба прискорити рух дає уявну економію лише чистого часу ходу. Натомість тривалість технологічних зупинок на завантаження бункерів, розвороти на поворотних смугах та операційний контроль залишається незмінною. Загальна продуктивність зростає мізерно, тоді як якість посіву суттєво деградує.

Окрему увагу приділяють своєчасній дефектовці та заміні деталей, що швидко зношуються (викидачі, очісувальні валики, сошники, комірчасті диски). Колову швидкість обертання висівного диска підбирають у суворій відповідності до норми висіву. Занадто висока кутова швидкість травмує

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(дробить) насіння і призводить до пропусків через брак часу на присмоктування, а надмірно повільна - нівелює точність траєкторії вильоту насінини з камери.

Оскільки кожне поле має індивідуальні фізико-механічні властивості ґрунту (щільність, вологість) та різну якість передпосівної культивації, налаштування притискного зусилля сошників та загортачів має гнучко коригуватися при переході на нові робочі ділянки.

3.4. Розробка операційно-технологічної карти посіву буряку

Операційно-технологічна карта складається з врахуванням комплексу правил. Вони мають строгий технологічний порядок щодо виконання виробничих операцій.

Знаходимо тривалість одного циклу, хв.

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot L_p}{10^2 \cdot V_p} + 2 \cdot t_n,$$

де L_p – робоча довжина загінки, м;

V_p – робоча швидкість агрегату, км/год., $V_p = 7,2$ км/год;

t_n – час повороту в кінці загінки, хв., $t_n = 1,5$ хв.

Розраховуємо робочу довжину загінки

$$L_p = L - 2E,$$

де L – довжина загінки, м; $L = 1000$ м;

E – ширина поворотної смуги, м; $E = 16,2$ м.

$$L_p = 1000 - 2 \cdot 16,2 = 967,6 \text{ м.}$$

Знаходимо тривалість одного циклу за формулою:

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_y = \frac{12 \cdot 967,6}{100 \cdot 7,2} + 2 \cdot 1,5 = 19,1_{\text{хв.}}$$

Тобто $T_{\text{ц}} = 0,32$ год.

Визначаємо технічну продуктивність за цикл, га/ц

$$W_y = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_y \cdot \tau,$$

$$W_y = 0,1 \cdot 7,2 \cdot 5,4 \cdot 0,32 \cdot 0,86 = 1,07 \text{ га/ц.}$$

Кількість циклів за зміну

$$n_{\delta} = \frac{W_{\text{ци}}}{W_{\delta}},$$

де $W_{\text{зм}}$ – приймаємо з попередніх розрахунків.

Тоді

$$n_y = \frac{33,44}{1,07} = 31,25 \text{ ц/з\textsubscript{м.}}$$

Витрати палива за зміну знаходимо:

$$Q_{\text{зм}} = Q_{\text{га}} \cdot W_{\text{зм}},$$

де $Q_{\text{га}}$ – приймаємо з попередніх розрахунків.

$$Q_{\text{зм}} = 6,67 \cdot 33,44 = 223 \text{ кг/з\textsubscript{м.}}$$

Складаємо операційно-технологічну карту посіву у основі, якої враховані проведені розрахунки.

3.5. Підготовка поля до роботи

Рівень експлуатаційної ефективності машинно-тракторного комплексу та фінальна якість укладання насіннєвого матеріалу безпосередньо зумовлені

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

ретельністю проведення попередніх організаційно-підготовчих робіт на виділеній площі. До початку виїзду посівних агрегатів здійснюється обов'язкове інструментальне та візуальне обстеження рельєфу з метою локалізації, маркування або повного усунення сторонніх об'єктів (великих каменистих включень, глибоких вибоїн, залишків коріння), які здатні спричинити раптове руйнування сошникових груп, знизити швидкість руху чи спровокувати аварійний простій техніки.

Важливим кроком проектування загінного процесу є вибір раціонального вектора та кінематичної схеми переміщення технічних засобів. При обґрунтуванні траєкторії руху інженерна служба зобов'язана детально проаналізувати геометричну конфігурацію кутів поля, загальну площу ділянки та лінійну довжину робочих гонів.

Оптимальна кінематична траєкторія має забезпечувати мінімальну кількість необоротних холостих ходів, найвищий рівень паливної ефективності двигуна трактора, а також бездоганне дотримання жорстких галузевих вимог агротехніки.

3.5.1. Розрахунок поворотних смуг

На краях кожної загінки, у разі застосування класичних гонових способів руху машинно-тракторних поїздів, виділяються спеціальні крайові майданчики — поворотні смуги, необхідні для безпечного маневрування та переведення робочих органів сівалки з транспортного положення в робоче і навпаки.

Орієнтовний лінійний масштаб зони розвороту при використанні найбільш поширених у рослинництві петльових грушоподібних маневрів (Епет) моделюється на основі радіуса повороту трактора та конструктивної довжини всього зчеплення за залежністю:

$$E_{\text{пет}} \approx 2,8 \cdot R + d_{\text{в}}, \quad (3.14)$$

де R - мінімальний радіус повороту машинно-тракторного агрегату за віссю сліду зовнішнього переднього колеса, м;

$d_{\text{в}}$ - кінематична довжина (винос) агрегату, що вимірюється як відстань від центра мас трактора до крайньої точки начіпного знаряддя, м.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведення практичного розрахунку за наведеною базовою математичною залежністю дозволяє встановити мінімальну технічну потребу в просторі:

$$E_{\text{пет}}=2,8 \cdot 5,0+1,2=14,0+1,2=15,2 \text{ м.}$$

Для досягнення максимальної продуктивності праці та усунення технологічних накладок під час фінішного засівання країв, фактичну ширину поворотної смуги ($E_{\text{фак}}$) розраховують строго кратною робочому захвату посівного комплексу. Такий підхід гарантує одержання цілого (дискретного) числа проходів агрегату без виникнення зон незасіяного ґрунту або небезпечних подвійних перекриттів, де виникає перевитрата дорогого посівного матеріалу.

Математична модель координації параметрів має вигляд:

$$E_{\text{фак}}=K \cdot B_p, \quad (3.15)$$

де B_p - фактична робоча ширина захвату посівної машини, м (для досліджуваної базової моделі сівалки $B_p=5,4$ м);

K - ціле число (кратність) проходів посівного агрегату, необхідне для повного перекриття розрахованого технічного мінімуму розворотної зони.

Прийmemo з умов інженерного допуску кратність на рівні $K=3$. Здійснюємо підсумкове обчислення геометричного параметра за формулою (3.15):

$$E_{\text{фак}}=3 \cdot 5,4=16,2 \text{ м.}$$

Таким чином, для забезпечення безпечного виконання петльових грушоподібних поворотів без ризику виїзду за межі поля, ширину крайових поворотних смуг для даного типу МТА остаточно затверджують на рівні 16,2метра.

Обґрунтований вибір способу руху та траєкторії безпосередньо впливає на коефіцієнт робочих ходів агрегату. Зменшення тривалості необоротних холостих розворотів дозволяє уникнути перевитрат дефіцитного дизельного пального.

Виділення нормативної ширини смуги у 16,2 м повністю виключає необхідність різкого гальмування одного з коліс трактора під час крутих

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розворотів. Це запобігає критичним згинальним і крутним моментам у стояках лап культиватора чи сошників сівалки, знижує втомний знос деталей та утримує обсяг «інших витрат» на ремонт у межах планової норми.

3.5.2. Розрахунок довжини виїзду агрегату

Визначається довжина виїзду машинно-тракторного агрегату розташуванням робочих органів відносно центру агрегату.

Зокрема, для начіпних агрегатів (МТА), які мають жорстке або напівжорстке з'єднання з механізмом задньої навіски трактора, координата довжини виїзду моделюється на основі габаритних параметрів, розраховується за відповідною формулою

$$e = 0,2 \cdot L_a.$$

Тоді

$$e = 0,2 \cdot 2,74 = 0,548 \text{ м.}$$

На наведеній графічній схемі робочої ділянки (рис. 3.2) детально відображено траєкторію переміщення посівного комплексу за класичним човниковим способом руху. Графіка наочно демонструє практичну роль розрахованого параметра виїзду, саме на цю відстань агрегат повинен вийти за умовну лінію контуру загінки перед початком здійснення петльового маневру, щоб гарантувати повне заглиблення всіх сошників безпосередньо на межі робочої зони.

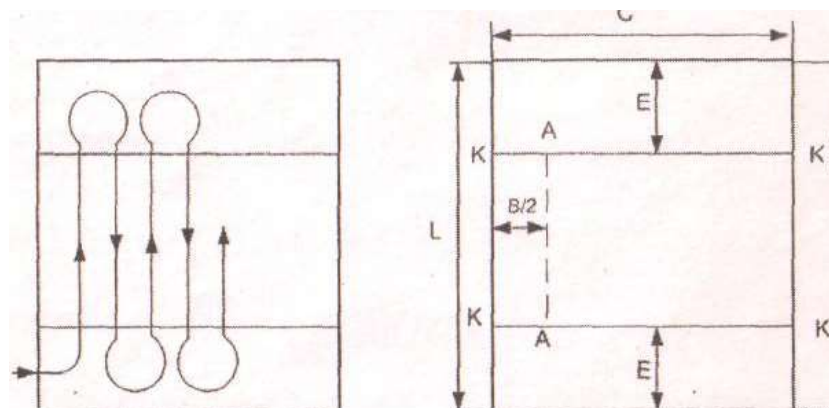


Рис. 3.2. Схема робочої ділянки і рух посівного агрегату човниковим способом

3.6. Контроль якості роботи

Забезпечення стабільно високих показників урожайності просапних культур у системі операційного менеджменту агрофірми досягається за допомогою жорсткого регламентного контролю якості реалізації посівних робіт. Комплексна агротехнічна оцінка процесу висіву здійснюється за чотирма критеріями:

- рівномірність глибини загортання насіннєвого фонду: середньоквадратичне відхилення фактичної глибини укладання насіння не повинно перевищувати встановлених інженерних допусків;
- стійкість дотримання норми внесення: стабільність підтримання заданої масової дози висіву насіння та паралельного розподілу гранульованих мінеральних туків (добрів) по всій площі ріллі;
- паралельність стикових міжрядь: суворе витримування лінійної відстані між суміжними робочими проходами посівного комплексу та забезпечення абсолютної прямолінійності сформованих рядків;
- суцільність посівного масиву: повна відсутність технологічних пропусків, просівів, незасіяних «лисин» або зон надмірного подвійного накладання насіння.

Узагальнена експертна оцінка якості виконаної операції реалізується у два послідовні етапи:

Експрес-контроль: проводиться безпосередньо в полі під час посівної шляхом точкових розкопок борозни та вимірювання глибини лінійкою;

Фінішний аудит: здійснюється відразу після появи масових сходів культур. У цей період фахівці візуально та інструментально інспектують точність стикових міжрядь, аналізують густоту стояння рослин на один квадратний метр та оперативно виявляють локальні незасіяні ділянки, які підлягають негайному додатковому пересіву.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації сівалки

Сучасний стан аграрного сектору України змушує сільгоспвиробників підходити до інвестицій у рухомий склад із позицій жорсткої оптимізації витрат і швидкої окупності. Для комплексної порівняльної оцінки ефективності роботи посівних машин доцільно використовувати матрицю з шести критеріїв.

Якість висіву. Сівалка розробляється з єдиною метою - забезпечити бездоганну точність розкладки насіння по площі живлення та стабільність заданого горизонту його загортання. За даними багаторічних досліджень, хаотичні коливання глибини ходу сошників і порушення капілярного контакту з ґрунтовим ложем призводять до втрати щонайменше 10% потенційного валового збору культури через нерівномірність сходів.

Надійність. Цей показник інтегрує в собі безвідмовність самої металоконструкції (рами, привода, вузлів тертя) та стабільність виконання технологічного процесу в полі. За умови суворого дотримання правил технічного сервісу, конструкція машини повинна гарантувати нульовий рівень аварійних простоїв протягом усього напруженого посівного сезону, оскільки кожна година затримки МТА генерує прямі фінансові збитки.

Продуктивність посівної машини забезпечує дві важливі виробничі переваги: завершення сівби у стислі, біологічно оптимальні агротехнічні строки, що упереджує втрати врожаю від пересихання верхнього шару ґрунту; мінімізація кількості технічних одиниць і персоналу, які одночасно задіяні на одному полі.

Проте нарощування темпів виробітку не повинно нівелювати якісні показники. Для більшості сучасних сівалок підвищення чітко визначених меж швидкості висівання недопустиме, оскільки значно погіршується технологічний процес сівби.

Комбінованість операцій. Ефективна сівалка має бути оснащена інтегрованою системою для локального внесення стартової дози мінеральних

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

макро- та мікродобрив одночасно з розкладкою насіння. В умовах дефіциту оборотних коштів цей агроприйом є вирішальним: гранули потрапляють безпосередньо в зону первинного розвитку зародкових корінців. Часто таке припосівне підживлення залишається єдиною поживною базою, яку рослина отримує за весь період вегетації.

Універсальність. Зважаючи на обмеженість інвестиційних фондів малих та середніх господарств, які не мають фінансової змоги утримувати широкий шлейф вузькоспеціалізованих машин під кожен культуру, перевагу отримують універсальні посівні комплекси. Можливість швидкої заміни висівних дисків або переналаштування міжрядь дозволяє успішно адаптувати одну машину для роботи з широким спектром культур (від дрібнонасінневих овочевих до просапних технічних).

Вартість. Помилки, допущені на етапі закладання насіннєвого ложа, практично неможливо виправити чи компенсувати подальшими заходами догляду без втрат рентабельності. Тому ринкова ціна посівної техніки має оцінюватися покупцем не за абсолютним значенням, а за рівнем інженерної досконалості та повнотою відповідності всім переліченим технологічним критеріям.

Питаннями посіву просапних культур займалися і займаються науковці, зокрема Войтюк Д.Г. [13], Заїка П.М. [5], Сисолін П.В. [11, 12, 14], [1, 4] та ін.

За результатами фундаментальних досліджень німецького вченого-аграрія Германа Й. Хеєге, прецизійність дотримання глибини ходу сошника є головним лімітуючим чинником початкового етапу вегетації. Встановлено чітку математичну залежність між амплітудою коливань глибини сівби та біологічною схожістю насіннєвого матеріалу: Коливання в межах 6 мм від розрахункового середнього рівня знижують польову схожість до показника 80%. Збільшення похибки до 18 мм призводить до критичного спаду проростання — орієнтовно до 54%.

Така негативна тенденція загострюється на полях із незадовільною якістю попереднього передпосівного обробітку. Для стабілізації капілярного живлення зародків доцільно застосовувати робочі органи анкерного або кілеподібного

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

типу. Вони здатні формувати ущільнене дно борозни та забезпечувати однорідний рівень закладання для всього масиву насіння.

Загалом, рівень польової схожості інтегрує в собі вплив низки факторів: посівних якостей (енергії проростання) насіння, щільності його контакту з ґрунтовими капілярами, календаря сівби та норми висіву. Тому інженерне досягнення максимальних показників схожості є першочерговою умовою проектування високопродуктивних машин.

Базуючись на аналізі відомих інженерних рішень, розроблено оригінальну конструкцію полозкового робочого органу (рис. 4.1). Цей сошник забезпечує точне позиціонування насінини на твердому ложі із подальшим створенням оптимального щільнісного режиму ґрунту безпосередньо навколо неї.

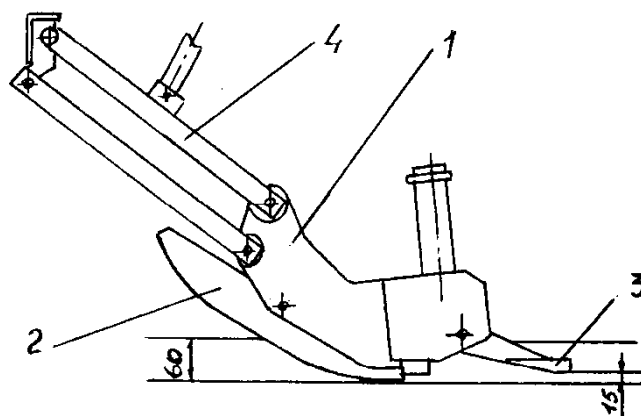


Рис.4.1. Полозковий сошник:

1 - корпус; 2 - ніж; 3 -ущільнювальна п'ятка; 4 - паралелограмна підвіска

Висока якість закладання насінневого ложа на різних типах агрофонів і при підвищених швидкостях руху МТА досягається завдяки реалізації трьох інноваційних конструктивних елементів: Інтеграція ущільнювальної п'ятки (поз. 3): цей елемент здійснює спрямоване руйнування (осипання) бічних стінок клиноподібної технологічної борозни. Завдяки цьому насіння відразу покривається шаром зволоженого, помірно ущільненого ґрунту завтовшки 1 см на чітко визначеному обрії. Встановлення змінного ножа (поз. 2): спеціальний ніж змонтовано у лобовій (фронтальній) зоні корпусу сошника (поз. 1), що забезпечує чітке підрізання та формування стабільного профілю борозни без

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

винесення сухих шарів землі на поверхню. Перехід на паралелограмну підвіску секцій: Заміна традиційної радіальної (повідецької) системи на паралелограмний чотириланковий механізм дозволила повністю ліквідувати зміну кута атаки сошника при його вертикальних коливаннях на нерівностях рельєфу, що стабілізувало всі технологічні параметри.

Впровадження полозкового робочого органу (рис. 4.2) дозволило провести оптимізацію норм висіву просапних культур. Завдяки суттєвому підвищенню польової схожості та вирівняності динаміки стартового росту, відпадає потреба у створенні «страхових» надбавок насіннєвого матеріалу для досягнення проектної густоти стояння рослин на одному гектарі.

Стеблостій, сформований за такої технології сівби, характеризується ідентичною висотою та однорідністю розвитку всіх ярусів.

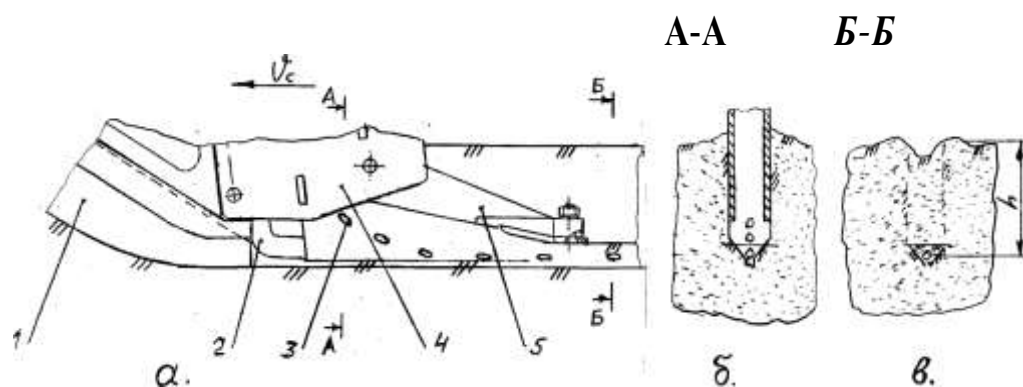


Рис. 4.2. Функціональна схема загорання насіння у борозні:

а - фрагмент полозкового сошника: 1 - ніж; 2 - борозноформуюча п'ятка; 3 - насінина; 4 - насіннеспрямуюча коробка; 5 - ущільнююча п'ятка; б - відкрита борозна після формуючої п'ятки; в - загорнена насінина в ущільненому ґрунті; h - глибина загорання насіння

Таким чином, радикальне вдосконалення агротехніки вирощування просапних культур шляхом оптимізації параметрів фінішної операції - прецизійного загорання насіння в ґрунтове ложе - є науково спроможним і надзвичайно актуальним інженерним завданням

4.1. Опис об'єкту розробки

4.1.1. Призначення бурякової сівалки ССТ-12В

Сівалка комплектується уніфікованою системою контролю (УСК) технологічних параметрів: обертання дисків висівних апаратів і рівня насіння і добрив в бункерах.

Сівалка марки ССТ-12В спроектована для прецизійної пунктирної розкладки відкаліброваного природного, а також інкрустованого (дражованого) насіння кормових і цукрових буряків звичайними або зменшеними нормами. Паралельно з розподілом насіннєвого матеріалу машина здійснює припосівне (локальне) закладання гранульованих мінеральних туків у безпосередній близькості від лінії рядка.

Завдяки високому потенціалу модернізації, базовий посівний комплекс може інтегруватися з додатковими технічними модулями:

- Хімізація (у зчипці з ПОМ-630): інтеграція з підживлювачем даної модифікації дозволяє одночасно із сівбою реалізувати стрічкове (смугове) внесення в ложе або захисну зону рядка рідких комплексних добрив (РКД), селективних гербіцидів та інсектицидів для захисту проростків від першої хвилі бур'янів і ґрунтових шкідників.

- Універсальність (додаткові пристосування): встановлення спеціальних змінних комплектів вузлів адаптує сівалку для якісного закладання інших культур, зокрема проса, сої, гречки та квасолі (за винятком великофракційних сортів), а також для реалізації загущеного висіву цукрового буряка з нормою понад 20 шт/м.

Машина орієнтована на експлуатацію в усіх географічних зонах промислового неполивного буряківництва з уніфікованою шириною міжрядь, яка становить 45 см.

4.1.2. Загальна будова сівалки ССТ-12В

Сівалка (рис. 4.3) належить до категорії навісних багаторядних машин. Базовим тримальним елементом є посилений брус рами, у лобовій частині якого по центру змонтовано трикутний замок для надійної фіксації рамки

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичної зчіпки трактора (типу СА-1). До рами кріпляться два пневматичних опорно-приводних колеса з механізмами передач, секції робочих органів (12 шт.), 6 туковисівних апаратів АТП-2.

Сівалка обладнана транспортним пристроєм і щілювачами.

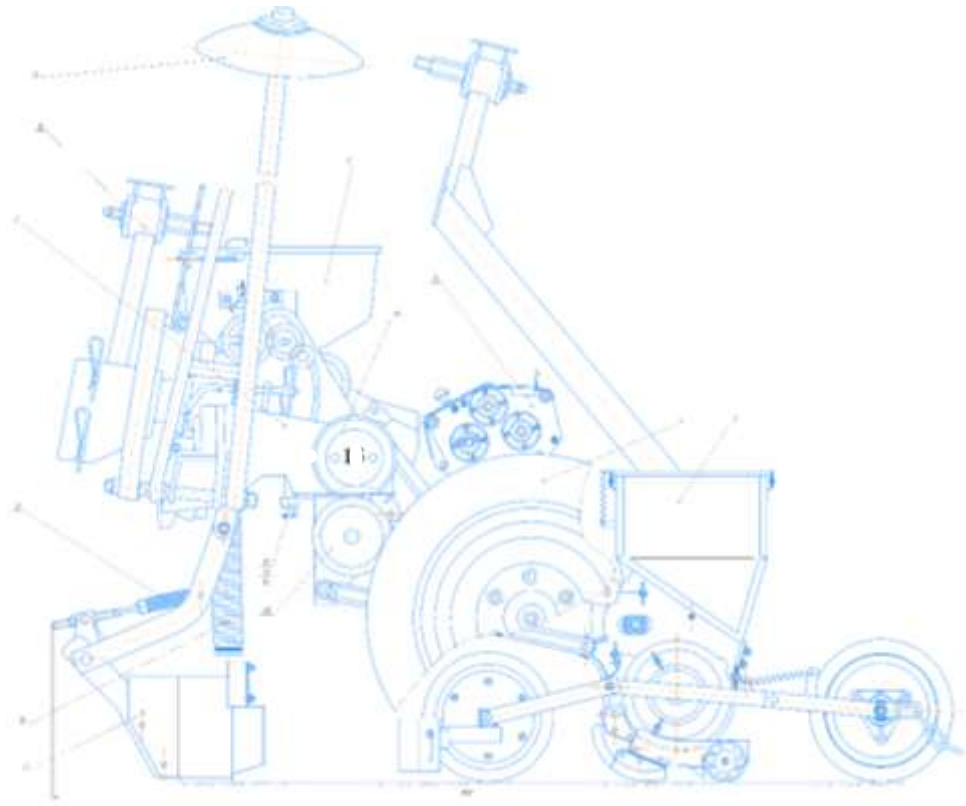


Рис. 4.3. Технологічна схема модернізованої сівалки ССТ-12В

Підвіска секції – паралелограмна, сошник для висіву насіння полазоподібний, для висіву мінеральних добрив – двохрядковий кільцевидний зі спеціальними грудковідводами на окремій підвісці, висівний апарат з вертикальним висівним диском.

Загортачі підпружинені, з регульованою активністю крил. Прикочуванні колеса обгумовані.

Туковисівні апарати – шнекові. Еластичні гумові гофровані тукопроводи, стійкі до агресивного хімічного впливу солей.

Бункери для насінневого фонду та мінерального підживлення з полімерного матеріалу.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Для оперативного контролю за ходом сівби та запобігання появі технологічних огріхів (пропусків, забивань) машина обладнана електронною уніфікованою системою контролю (УСК).

Для висіву насіння інших культур сівалка ССТ-12В обладнана спеціальним пристосуванням.

4.2. Технологічні розрахунки

4.2.1. Розрахунок параметрів сошника

Центральним робочим органом будь-якої посівної або туковисівної системи є сошник. На цей конструктивний елемент покладається послідовне виконання трьох фундаментальних технологічних функцій:

1) пошарове розрізання, руйнування зв'язності та механічне розсування верхнього шару ґрунтового профілю на задану агротехнічними вимогами глибину.

2) штучне утримання стінок утвореної порожнини у відкритому (стабільному) стані протягом часу, необхідного для безперешкодного падіння та фіксації насінини на її дні.

3) якісне загортання посівного матеріалу землею із формуванням заданого щільнісного режиму.

В інженерній практиці найбільш критичними для майбутньої схожості визнають саме перший (прорізання ложа) та третій (засипання вологим шаром) етапи роботи. Характер формування початкової геометрії борозни повністю лімітується просторовою конфігурацією та кутами атаки фронтальної (лобової) частини сошника.

Для стимулювання припливу підземної капілярної вологи до сухої оболонки насінини необхідно штучно ущільнити дно борозни, відновивши порушену систему пор. За механікою впливу на ґрунтовий профіль та кутом заглиблення робочі органи поділяють на три технологічні класи:

- Вдавлювальні системи (кільові, полозоподібні): забезпечують двовекторне розсування ґрунту (вбік та безпосередньо вниз). Цей компресійний метод призводить до вираженого пошарового ущільнення як дна, так і бокових

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стінок. Для інтенсифікації цього процесу в конструкціях полозків між щокowymi пластинами додатково інтегрують підпружинену ущільнювальну п'ятку або мініатюрний коток.

- Зсувні системи (дискові сошники): здійснюють розсування ґрунтової маси в боки з незначним підняттям і переміщенням часток вгору на фінальній стадії проходу диска.

- Розпушувальні системи (робочі органи з гострим кутом входження): переміщують деформований ґрунт за трьома векторами одночасно (вперед за ходом руху, вгору та вбік) практично без гідродинамічного ущільнення донної частини борозни.

Досліджуючи закономірності поведінки дисперсних середовищ під впливом динамічних навантажень, професор М.Х. Пігулевський встановив математичну модель поведінки ґрунту після проходу щокowych пластин сошника.

За умов помірних (малих) швидкостей переміщення посівного агрегату, ґрунтова маса, намагаючись відновити фізичну рівновагу, починає огинати задні зрізи щок і самопливом обривуватися у внутрішній вільний простір. Просторова траєкторія цього обсипання описується геометричною поверхнею, яка складається з двох взаємоперекриваних конусів (рис. 4.4). При цьому кут нахилу твірних цих конусів до горизонталі строго дорівнює куту природного укосу (відкосу) ґрунту.

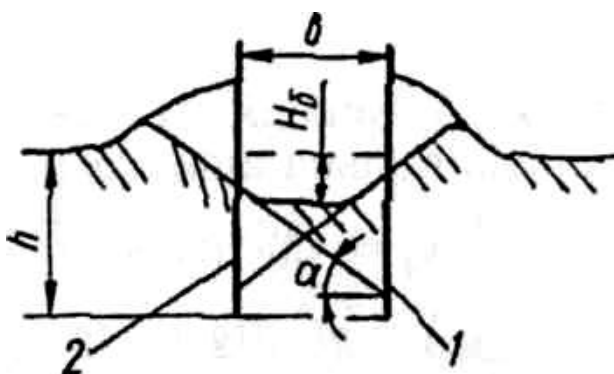


Рис. 4.4. Схема обсипання ґрунту при проході сошника:

1,2- щоки сошника

Внаслідок такого гравітаційного зсуву земля, що обсипалася, частково закриває щойно сформовану борозну. Проте відновлення профілю відбувається

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не на повну конструктивну глибину ходу сошника (h), а лише на деяку меншу величину, тобто на H_{δ} . Щодо самого процесу обсіпання ґрунту, то він тим ближче до процесу осипання піску, чим ясніше виражена структура ґрунту і чим менший діаметр структурних елементів. Якщо ґрунт складається з брил та пилу або вищої вологості, то картина його осипання значно ускладнюється.

Ступінь рівномірності покриття насінневого ложа ґрунтом повністю лімітується конструктивною специфікою та просторовими параметрами сошника. Через це точне визначення його модифікації та лінійних розмірів є базовим етапом інженерних розрахунків при проектуванні висівних систем під конкретну агротехнологію, зафіксовану в «Технічному завданні».

До головних конструктивних параметрів, що визначають динаміку борозноутворення, відносять:

- Геометричну конфігурацію та габарити елемента, який безпосередньо розкриває ґрунт (диска, наральника, долота або полозка).
- Лінійну відстань між внутрішніми площинами щок (ширину розхилу).
- Форму, радіус та кут заднього вертикального обрізу щоківих пластин.

У наральникових та полозоподібних сошникових системах щоківі елементи виконують функцію динамічного екрана. Вони являють собою дві паралельні вертикальні підпирні стінки, які рухаються у товщі орного шару і захищають утворені сошником бокові відкоси від передчасного гравітаційного руйнування та осипання землі (рис. 4.5).

Всередині обмеженого щоками внутрішнього простору (підсошникової порожнини) пухкий ґрунт, який намагається обрушитися, формує похилу площину. Цей внутрішній укіс спрямований у бік носка (фронтальної частини) сошника під кутом, що чітко відповідає куту природного відкосу ґрунту (α).

Ступінь поздовжнього розвитку (довжина) щоківих пластин є вирішальним фактором забезпечення стабільного горизонту закладання:

Конструкція із розвинутими (подовженими) щоками: захищена

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підсошникова порожнина має значну довжину. Процес самовільного обрушення землі охоплює виключно її далеку, задню частину. Це дозволяє проектувати насіннєпровід так, щоб траєкторія польоту насінини була спрямована у фронтальну (передню) зону сошника, ближче до наральника. Там насіння гарантовано лягає на очищене від осипу, щільне та абсолютно рівне капілярне дно борозни.

Конструкція із короткими (нерозвинутими) щоками: вільна внутрішня порожнина фактично відсутня. Уся зона під сошником перетворюється на нестабільну, пухку похилу поверхню з рухомого ґрунту. Насіння, падаючи на такий укіс, фіксується на різній висоті, що унеможливорює виконання суворих вимог агротехніки щодо рівномірності загортання та призводить до зрідженості сходів.

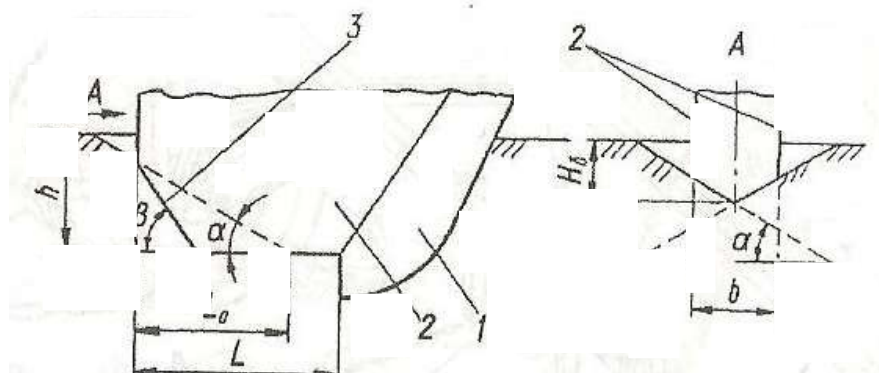


Рис. 4.5. Зона заповнення ґрунтом простору між щоками сошника:

1- наральник; 2- щоки сошника; 3- нижній похилий обріз щік

При проектуванні полозкового робочого органу ключовим параметром є поздовжня відстань L (рис. 4.5) від загального обрізу щок до крайньої задньої твірної наральника. Для запобігання передчасному засипанню насіннєвого ложа пухким ґрунтом ця величина має перевищувати динамічну глибину (довжину) обсіпання ґрунту L_0 всередину сошника за умов мінімальних швидкостей руху МТА.

Глибину мимовільного обрушення орного шару обчислюють:

$$L_0 = \frac{(h - ab^n)}{\operatorname{tg} \alpha + 0,5b},$$

де h - технологічна глибина ходу сошника, мм ($h=60$ мм);

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

b - відстань між внутрішніми площинами щок сошника, мм ($b=21$ мм);

α – кут природного відкосу ґрунтового масиву ($\alpha = 35^\circ$).

a та n – експериментальні коефіцієнти (для сухого піску $a=7,245$; $n=0,367$).

Підставивши вихідні у розрахункову модель, отримуємо:

$$L_0 = \frac{(60 - 7,245 \cdot 21^{0,367})}{0,7002 + 0,5 \cdot 21} = 64,58 \text{ мм}$$

Контур нижнього заднього обрізу наральника безпосередньо впливає на послойну структуру ґрунтового покриву над насіниною. Щоб первинний контакт

зародка відбувався з найбільш вологим шаром, цей обріз проектують за лінією твірної конуса обрушення з нахилом під кутом, який точно дорівнює куту природного відкосу.

За такої геометричної схеми під дією сили тяжіння спочатку на дно борозни осипаються нижні, дрібногрудкуваті зволожені фракції. Верхній, пересушений шар орного горизонту, який тривалий час утримувався високими боковими стінками щок, покриває насінневе ложе в останню чергу, виконуючи роль природного мульчувального прошарку для запобігання випаровуванню капілярної вологи.

Величини зон деформації ґрунту у повздовжньому напрямі визначаємо за формулою:

$$L_x = (h / \operatorname{tg} \varphi + 0,5b) \cdot \sin(\eta / 2 + \varphi),$$

де b - повна конструктивна ширина сошника. мм ($b=26$ мм);

η – кут розхилу робочих щок полозкового сошника, град (величину L_x відкладають від вершини розхилу щок сошника без урахування довжини полоза) ($\eta = 65^\circ$).

Тоді:

$$L_x = (60 / \operatorname{tg} 30^\circ + 0,5 \cdot 26) \cdot \sin(65^\circ / 2 + 30^\circ) = 103,77 \text{ мм.}$$

Величини зон деформації ґрунту у поперечному напрямі для полозоподібних сошників визначаємо за формулою:

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_x = (h / \operatorname{tg} \varphi + b) \cdot \cos(\eta / 2 + \varphi),$$

Тоді:

$$b_x = (60 / \operatorname{tg} 30^\circ + 26) \cdot \cos(65^\circ / 2 + 30^\circ) = 60 \text{ мм.}$$

4.2.2. Дослідження траєкторії руху насінини в області сошника

Рух посівного матеріалу від дозувального диска до дна борозни є складним кінематичним процесом. Реальна траєкторія падіння насіння супроводжується серією послідовних випадкових зіткнень (ударів) об внутрішню металеву або полімерну поверхню насіннеспрямувальної коробки (напрячника), а на фінальній стадії - об ущільнене ґрунтове ложе.

Теоретичні дослідження цього процесу спрямовані на виявлення базових аналітичних залежностей між геометричними параметрами сошника, масою насінини, її швидкістю та імпульсною силою удару. Особливу роль відіграє обґрунтування форми напрямної кривої, яка безпосередньо впливає на залишкову кінетичну енергію зерна перед контактом із ґрунтом.

Процес механічної взаємодії насінини з нахиленою стінкою розглядають через теорію частково пружного удару шорстких тіл (рис. 4.6). Кінематичний стан об'єкта на початку та в кінці імпульсного зіткнення лімітується коефіцієнтом відновлення швидкості K_ϵ . Швидкість поодинокі насінини безпосередньо в момент початку первинного контакту визначають:

$$V_n = V \cdot \cos \alpha, \quad (4.1)$$

$$V_c = V \cdot \sin \alpha. \quad (4.2)$$

Швидкість руху насінини в кінці частково пружного удару:

$$U_n = -K_\epsilon \cdot V \cdot \cos \alpha, \quad (4.3)$$

$$U_c = V \cdot \sin \alpha. \quad (4.4)$$

Кут відбиття β визначаємо із відношення проекцій швидкостей:

$$X_g \beta = \left| \frac{U_\tau}{U_n} \right| = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{K_\epsilon}. \quad (4.5)$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

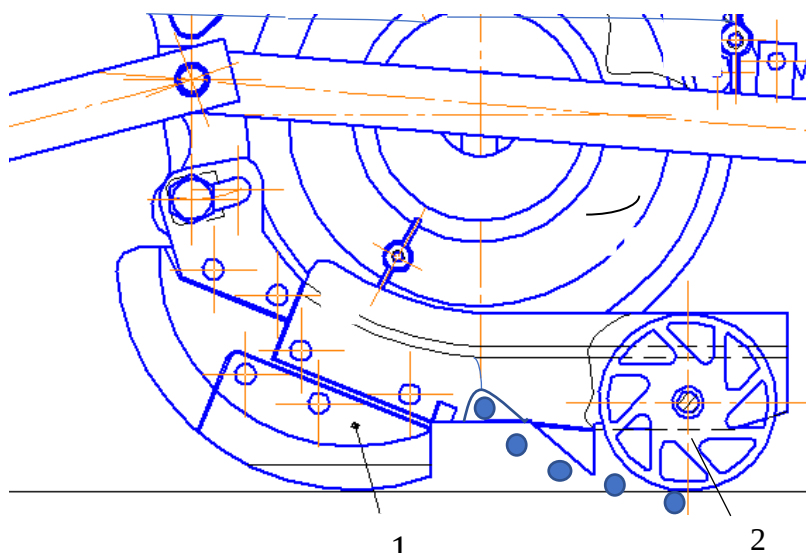


Рис. 4.6. Схема руху насінини по насіннеспрямуючій коробці

1 - сошник; 2 - прикочуючий ролик

Звідси:

$$K_{\epsilon} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (4.6)$$

Коефіцієнт відновлення K_{ϵ} при частково пружному ударі легко визначити експериментальним шляхом через вираз:

$$K_{\epsilon} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}, \quad (4.7)$$

де h_2 - висота підйому насінини після удару;

h_1 - висота вільного падіння насінини.

Розглянемо кінематику фінішного удару насінини об нижній ґрунтовий обрій після її сходження з похилого напрямника. Динаміка плоскопаралельного переміщення насінини з урахуванням її кочення та проковзування описується системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} - m \cdot g \cdot \sin \alpha + F_m &= 0; \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} - m \cdot g \cdot \cos \alpha - N &= 0; \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = F_m \cdot r,$$

де F_m - сила тертя кочення;

I - момент інерції насінини відносно її осі обертання;

N - нормальна реакція дна сформованої борозни.

Вирішуючи рівняння (4.8) з врахуванням початкових умов ($V = V_1$; $x = 0$; $K_g = 0,715$), одержимо:

швидкість:

$$V_\tau = (0,715 \cdot g \cdot t + \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}) \sin \alpha; \quad (4.9)$$

шлях:

$$x = (0,357 \cdot g \cdot t^2 + t \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}) \sin \alpha. \quad (4.10)$$

Інтегрування наведеної системи диференціальних рівнянь з урахуванням нульових або фіксованих початкових умов доводить, що у вільних просторових проміжках між ударами траєкторія польоту насінини у вертикальній площині являє собою математичну параболу.

При знаходженні залежності сили удару насінини по дну борозни від швидкості кут α нахилу площини напрямника приймався постійним і рівним 15° . Висота вільного падіння змінювалась від 5 до 10 см.

Головною передумовою проведення теоретичних досліджень було встановлення наскрізних математичних закономірностей руху насіння на етапі переходу «сошник - борозна». Це дозволяє обґрунтувати деякі параметри удосконаленого сошника, які потім будуть уточнені експериментальними дослідженнями. Запропонований сошник подовжений та конструктивно доповнений прикочуючим роликом.

4.3. Енергетичні розрахунки

4.3.1. Розрахунки механізму підвіски на міцність

Конструкції підвісок посівних робочих органів є критично важливими елементами тримальної системи сівалки. Саме через ці шарнірні пристрої

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окремі посівні секції та сошники інтегруються з головною рамою ходової частини машини. Від обґрунтованого вибору кінематичної схеми підвіски та її лінійних розмірів безпосередньо залежить динамічна стійкість ходу сошників у ґрунтовому середовищі, копіювання мікрорельєфу поля та стабільність глибини закладання насіннєвого ложа.

Аналітичний розрахунок параметрів підвіски полягає у визначенні оптимального співвідношення між її геометричними ланками (довжиною повідців) та векторами зовнішніх сил, які діють на секцію під час руху МТА. Кінцевою метою проектування є досягнення динамічної рівноваги системи сил для забезпечення рівномірного ходу без автоколивань.

Розглянемо умови статичної рівноваги посівної секції, що оснащена чотириланковою паралелограмною підвіскою. На відміну від радіального привода, паралелограм забезпечує плоскопаралельне переміщення секції, зберігаючи незмінним конструктивний кут атаки сошника.

Стабільне положення робочого органу на заданому обрії сівби гарантується за умови, що сума моментів усіх діючих сил відносно миттєвого центра обертання (або сума проекцій сил на вертикальну вісь) дорівнює нулю. Для спрощеного вертикального балансу сил у робочому стані справедлива така залежність:

$$Qh_1 + Rh_4 = R_x h_2 + R_z h_1$$

де Q - сила ваги (власна сила тяжіння) посівної секції сошника в зборі, Н;

R_H , - зусилля (сила тиску), що генерується пружиною натискної штанги, Н;

R_x - сила опору сошника (для полозоподібних сошників при глибині їх ходу 6-10 см відповідно дорівнює 300-500Н);

R_z - вертикальна реакція ґрунту, що діє на сошник, Н; $R_z = R_x / \operatorname{tg} \lambda$; $\lambda = 30^\circ$.

Тоді: $R_z = 400 / \operatorname{tg} 30^\circ = 692,8 \text{ } 230,9 \text{ Н}$

Для вибору параметрів пружини натискної штанги сошника визначають необхідний тиск її на повідки паралелограмної підвіски:

$$R_{\text{п}} = K(R_x h_2 + (R_z - Q) h_1) / h_4$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K - коефіцієнт, що враховує динамічні навантаження.

$$R_{n1} = 1,3(400 \cdot 120 + (692,8 - 70)330) / 350 = 941,66$$

$$R_{n2} = 1,3(400 \cdot 140 + (692,8 - 70) \cdot 700) / 640 = 999,29$$

4.3.2. Енергетичний розрахунок механізму передач

Проведення силового аналізу трансмісії сівалки базується на забезпеченні міцності насіннєвого матеріалу буряка та запобіганні його механічному травмуванню в дозувальних органах. Розрахунок ведеться для умов максимальної технологічної норми висіву, коли навантаження на елементи привода досягає пікових значень.

Вихідним даними для енергетичного розрахунку є: граничне зусилля механічного руйнування (роздавлювання) для насіння буряка $P_{\max}$ дорівнює 80Н; діаметр висівного диска $d = 0,22\text{м}$.

Передавальні відношення ланцюгових контурів, шестеренних циліндричних пар, а також специфікація підшипникових вузлів валів прийняті згідно з кінематичною схемою трансмісії. При цьому енергетичний розрахунок проводимо при максимальній нормі висіву.

Обертовий момент на VII валу механізму привода (вал секційних дозаторів)

можна визначити з умови, щоб колове зусилля не перевищувало максимальне руйнівне навантаження для посівного матеріалу, тобто:

$$M_{\text{руйн}} = P_{\max} \cdot \frac{d}{2} = 80 \cdot \frac{0,22}{2} = 8,8 \text{ Нм.}$$

Величини обертових моментів на кожному попередньому валу механізму привода визначаємо за формулою:

$$M_{n-1} = M_n \cdot \frac{i_{n-1}}{\eta_{\text{заг}}} \quad (4.4)$$

де i_{n-1} - передавальне відношення між двома суміжними валами передачі;

$\eta_{\text{заг}}$ - загальний коефіцієнт корисної дії (ККД), що дорівнює добутку ККД окремих кінематичних пар та опор підшипників;

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи це: $M_7 = M_8 \cdot i_7 / \eta_1 \cdot \eta_2$,

де η_1 - ККД зубчастої передачі ($\eta_3 = 0,93 \dots 0,95$).

η_2 - ККД підшипників ковзання ($\eta_{\text{плд}} = 0,98$).

Тоді: $M_7 = 8,8 \cdot 0,44 / 0,94 \cdot 0,98 = 4,2 \text{ Нм}$.

Аналогічно: $M_6 = M_8 \cdot i_6 / \eta_1 \cdot \eta_2 = 4,2 \cdot 0,325 / 0,94 \cdot 0,98 = 1,48 \text{ Нм}$.

$$M_5 = M_6 \cdot i_5 / \eta_{\text{л}}' \cdot \eta_2,$$

де $\eta_{\text{л}}'$ - ККД ланцюгової передачі ($\eta_{\text{л}}' = 0,97$)

Тоді: $M_5 = 1,48 \cdot 1,4 / 0,97 \cdot 0,98 = 2,18 \text{ Нм}$.

$$M_4 = M_5 \cdot i_4 / \eta_{\text{л}}' \cdot \eta_2 = 2,18 \cdot 1,4 / 0,97 \cdot 0,98 = 3,21 \text{ Нм}$$

Оскільки IV вал забезпечує передачу обертових моментів до 6 висівних апаратів, то :

$$M_4' = 6 \cdot M_4 = 3,21 \cdot 6 = 19,26 \text{ Нм}.$$

$$M_3 = M_4' \cdot i_3 / \eta_1 \cdot \eta_2',$$

де η_2' - ККД підшипників кочення, ($\eta_2' = 0,99$)

Тоді: $M_3 = 19,26 \cdot 1,125 = 21,67 \text{ Нм}$.

Визначаємо обертовий момент на входному валу коробки зміни передач (КЗП) від опору на привід насінневих апаратів:

$$M_2' = M_3 \cdot i_2 / \eta_1 \cdot \eta_2' = 21,67 \cdot 1,263 = 27,37 \text{ Нм}.$$

Враховуючи, що ведучий вал коробки змінних передач також передає приведений крутний момент M_2'' на привід трьох туковисівних апаратів, то повний крутний момент на II валу формується як:

$$M_2 = M_2' + M_2'',$$

За даними тензометрування $M_2'' \approx 9,6 \text{ Нм}$.

Тоді: $M_2 = 27,37 + 9,6 = 36,96 \text{ Нм}$.

І нарешті, обертовий момент на I валу механізму привода (вал опорно-приводного колеса сівалки) дорівнює повному енергетичному зусиллю для активації усієї робочої групи агрегатів (6 насінневих і 3 туковисівних апаратів):

$$M_1 = M_2 \cdot i_1 / \eta_1 \cdot \eta_2' = 36,96 \cdot 0,913 / 0,97 \cdot 0,98 = 35,5 \text{ Нм}.$$

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Регламент підготовки та обслуговування МТА перед виїздом

Безпека механізатора та експлуатаційна надійність посівного агрегату закладаються на етапі щодобового технічного огляду. До запуску двигуна трактора обов'язково виконують комплекс таких превентивних маніпуляцій:

- Оцінюють повноту комплектації та цілісність усіх несучих металоконструкцій і рухомих вузлів.
- Проводять контрольну затяжку нарізних (різьбових) з'єднань, що зазнають постійної вібрації.
- Відновлюють рівень мастила на фрикційних поверхнях та в зонах тертя згідно з картою змащування.
- Перевіряють наявність, жорсткість фіксації та справність захисних кожухів (огорожень) на ланцюгових і карданних передачах.
- Проводять візуальний огляд внутрішніх порожнин тукових та насінневих бункерів для виключення наявності там сторонніх предметів, механічного сміття чи затверділих грудок добрив.

Особливу увагу приділяють редукторам, автоматам зчеплення та сошниковим групам. Вимірюють величину провисання холостих (неробочих) віток привода. Під час завантаження насінневого фонду або туків кришки ємностей мають фіксуватися спеціальними відкидними запобіжниками, а у закритому стані - забезпечувати повну герметичність для захисту матеріалу від вологи.

5.2. Безпека під час виконання технологічного процесу

Протягом робочої зміни виникає необхідність періодичного сервісу робочих органів. Очищення сошників, гофрованих насіннєпроводів та загортачів від налиплого шару вологої землі та рослинних залишків дозволено виконувати виключно після повної зупинки МТА, глушіння двигуна трактора та активації стоянкового гальма.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Спеціальні скребки або чистики, які застосовуються для видалення бруду з сошників, повинні мати сухі дерев'яні ручки, що ізолюють руку працівника від контакту з гострими металевими кромками.

Перед початком виконання повороту трактора сошники сівалки примусово переводять у верхнє (транспортне) положення за допомогою гідросистеми. Сама траєкторія розвороту має долатися на мінімальних (знижених) швидкостях.

Якщо сошникова група знаходиться в опущеному (робочому) стані, будь-який рух трактора заднім ходом суворо заборонений, оскільки це спричинить миттєву деформацію повідців та забивання тукопроводів ґрунтом. Підйом і опускання секцій здійснюють лише під час прямолінійного руху вперед.

За натягом ланцюгів стежать за допомогою підпружинених зірочок або роликів. Регулювання має виключати як надмірне провисання, так і перетягування ланцюга, яке прискорює знос зірочок і загрожує обривом.

Стан пневматичних шин безпосередньо впливає на точність норми висіву. Тиск у камерах коліс безперервно контролюють манометром відповідно до заводського паспорта машини. За умови виявлення підвищеного осьового люфту (зазору) маточини колеса, виконують його регулювання за такою процедурою:

Для проведення посівних робіт у темний час доби (у дві зміни) інженерна служба заздалегідь перевіряє та налаштовує систему електричного освітлення трактора та виносні сигнальні ліхтарі сівалки. Усі маніпуляції з очищення отворів дисків виконують виключно штатними гачками, а вирівнювання або проштовхування насіння всередині бункера дозволено робити лише спеціальними дерев'яними чи пластиковими лопатками. Ручний контакт із протруєним насінням заборонений.

Повне заземлення металевої конструкції сівалки через її сошники на землю під час негоди мінімізує ризик ураження МТА лінійним розрядом блискавки.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після завершення повної зміни або при переведенні машини у транспортне положення, виносні слідоуказувачі (маркери) піднімають вертикально і жорстко іммобілізують за допомогою штатних механічних засувок, фіксаторів та гаків. Рукоятку гідророзподільника в кабіні трактора обов'язково переводять в нейтральне положення для скидання тиску в магістралях.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ВИСНОВКИ

Розроблено проект комплексної механізації по вирощуванню буряка комплексом машин з використанням сівалки ССТ-12В. Проаналізовані технології вирощування буряка. Буряк є важливою продовольчою, технічною культурою для аграрного сектору України.

В роботі розроблені технологічна карта по вирощуванню буряка та операційна по виконанню посіву, обґрунтовано вибір технічного засобу для виконання операції, описано підготовку агрегату та поля до роботи; приведено методику проведення контролю якості виконання операції.

Аналітично доведено, що для запобігання передчасному завалу дна борозни пухким ґрунтом поздовжня довжина щоківних пластин L має перевищувати динамічну глибину обсіпання.

Проведені теоретичні розрахунки взаємозв'язку «геометрія сошника - кінематика насіння» створюють цілісну математичну модель модернізованого посівного агрегату. Крім того, запропонований сошник подовжений та конструктивно доповнений прикочуючим роликом. Це дозволяє оптимізувати норми висіву, виключити перевитрату насіннєвого матеріалу та гарантує формування вирівняного за висотою стеблостою завдяки стабілізації глибини закладання.

В інженерній частині були проведені технологічні розрахунки сошникової групи з модернізацією, а також були зроблені енергетичні розрахунки.

Приведені заходи з охорони праці.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адамчук В В., Кравчук М.П. Стан та тенденції розвитку конструкцій зернозбиральних та посівних машин. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2012. Вип. 16. С. 13–24.
2. Басанець О. Чи буде солодко від цукрових буряків агроному залежить від технології вирощування. *SuperAgronom*, 2024 <https://superagronom.com/articles/718-chi-bude-solodko-vid-tsukrovih-buryakiv-agronomu-zalejtit-vid-tehnologiyi-viroschuvannya>
3. Бендера І.М. Проектування сільськогосподарських машин : навч.-метод. посіб. для викон. курс. проектів з розробки с.-г. техніки при підготов. фахівців напряму "Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва" / І.М. Бендера, А.В. Рудь, Я.В. Козій, Д.Г. Войтюк, П.В. Сисолін; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т, Борщів. аграр. коледж. Кам'янець Поділ. : Сисин О.В. : Абетка, 2011. 639 с.
4. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
5. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1; Ч.2: Машини для сівби та садіння. Харків: ОКО, 2002. 452 с.
6. Інноваційні технології в рослинництві: веб сайт. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/34879/1/MV_Innovatsiyyini%20tekhnohohiyi_2023.pdf
7. Різновид сівалок та їх конструктивні особливості. *Журнал «VELES EURO TRADE»*. URL: <https://veles-euro.trade/sevalki-osnovnyye-vidy-funktsii-i-konstruktivnyye-osobennosti/>
8. Сисоліна І., Манохин Я., Осадчий В. Напрями удосконалення сошника просапної сівалки. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2026. С.32-33.

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Сисоліна І., Пластун С., Смиженко М. Проблеми та перспективи посівної техніки *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2026. С.35.

10. Сисоліна Н.П., Савеленко Г.В., Сисоліна І.П. Проблемні аспекти та перспективи інноваційного розвитку сільськогосподарського машинобудування. *Центральноукраїнський науковий вісник : Економічні науки*, вип. 1 (34). Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С. 280-287.

<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8898>

11. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. 382с.

12. Сисолін П.В. Теорія, проектування та розрахунки посівних машин: Навч. посібник. Київ : ІСДО, 1994. 148 с.

13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

14. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування [Текст] : підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладнання с.-г. виробництва". Кн. 2: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М.Сало; За ред. М.І. Черновола. Київ : Урожай, 2002. 364 с.

15. https://evgivanov.github.io/expl_html_book/addons/addon_11.html

16. <https://kruchkov.com.ua/stati/tehnologiya-vyrashchivaniya-svekly>

17. <https://www.lnz.com.ua/agro>

18. superagronom.com

					МВБ 00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		