

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технології вирощування цукрових буряків з
модернізацією агрегату для передпосівного обробітку ґрунту

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ
спеціальності _____

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Ковалик О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра _____ технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня _____ **бакалавр**
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ **208 Агроінженерія**
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ **Ковалику Олексію Михайловичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ **Удосконалення технології вирощування цукрових буряків з модернізацією агрегату для передпосівного обробітку ґрунту**

Керівник роботи _____ **Бабій Андрій Васильович, д.т.н., професор**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» 01 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026

3. Вихідні дані до роботи:

Ширина захвату машини 3,6м, що агрегується з тракторами класу 1,4; робоча швидкість 2...3м/с; основні конструктивні та технологічні параметри допоміжного обладнання агрегату та культивуєчого пристрою: культиваторні лапи розташовуються з кроком 0,1м у 4 ряди, віддаль між ними 0,25м пружинні блоки для отримування робочих органів на заданій глибині мають створювати зусилля 1,725Н; пружини виготовляють з дроту діаметром 5мм, довжиною 410мм, діаметром 32 та 52 мм.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологій вирощування цукрових буряків.

2. Рекомендації з покращення технології вирощування цукрових буряків.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Мета і завдання дослідження; огляд конструкцій машин-аналогів; агрегат комбінований;

агрегат комбінований (модерніз.); деталювання; розрахункові схеми; загальні висновки.

РЕФЕРАТ

Мета і завдання дослідження – підвищення ефективності технології вирощування цукрових буряків шляхом удосконалення передпосівного обробітку ґрунту та модернізації комбінованого агрегату.

Мета досягається шляхом удосконалення конструкції комбінованого ґрунтообробного агрегату, що дозволяє підвищити якість підготовки посівного шару, зменшити енерговитрати та скоротити кількість проходів техніки по полю.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

виконано аналіз сучасних технологій вирощування цукрових буряків;
проаналізовано агротехнічні та техніко-економічні вимоги до виробництва культури;

досліджено передові методи вирощування з використанням високопродуктивних машин;

обґрунтовано індустриальну технологію виробництва цукрових буряків;
сформовано комплекс машин для виконання всіх технологічних операцій;
проведено аналітичний огляд конструкцій комбінованих ґрунтообробних агрегатів;

розроблено та удосконалено конструкцію агрегату для передпосівного обробітку ґрунту;

виконано розрахунок основних параметрів культивацийного вузла та елементів конструкції;

визначено технологічні параметри роботи агрегату в польових умовах;
обґрунтовано заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єктом дослідження – технологічний процес вирощування цукрових буряків.

Предмет дослідження – удосконалення передпосівного обробітку ґрунту шляхом модернізації комбінованого агрегату.

Практичне значення – запропонована модернізація комбінованого агрегату дозволяє підвищити якість підготовки ґрунту, забезпечити формування вирівняного дрібногрудкуватого посівного шару, зменшити ущільнення ґрунту та витрати пального, а також підвищити продуктивність агрегату та ефективність вирощування цукрових буряків.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, переліку використаних джерел та додатків.

Ключові слова. Цукрові буряки, технологія вирощування, передпосівний обробіток ґрунту, комбінований агрегат, культиватор, коток, продуктивність, технологічний процес.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....	7
1.1 Агроекологічні умови вирощування цукрових буряків та особливості передпосівної підготовки ґрунту.....	7
1.2. Агротехнічні та техніко-економічні вимоги до технології вирощування цукрових буряків.....	10
1.3 Передові методи виробництва цукрових буряків із застосуванням високопродуктивних машин.....	13
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	16
2.1 Обґрунтування індустріальної технології виробництва цукрових буряків з використанням комбінованого агрегату для передпосівної підготовки ґрунту	16
2.2 Формування комплексу машин для виробництва цукрових буряків	20
2.3 Аналітичний огляд конструкцій комбінованих ґрунтообробних агрегатів	24
2.4 Обґрунтування конструкційного рішення	31
2.5. Загальна конструкція та принцип роботи комбінованого агрегату.....	32
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	35
3.1 Розрахунок основних параметрів культиваційного вузла.....	35
3.2 Розрахунок основних конструктивних параметрів паралелограмної навіски культиваційної секції	38
3.3 Розрахунок пружинного блоку паралелограмної навіски.....	42
3.4 Розрахунок технологічної операції передпосівного обробітку ґрунту	48
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	57
4.1 Небезпеки, що при виконанні передпосівного обробітку ґрунту.....	57
4.2 Заходи охорони праці при виконанні передпосівного обробітку ґрунту	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Сучасний розвиток аграрного виробництва України характеризується підвищеними вимогами до ефективності використання ресурсів, продуктивності праці та якості виконання польових робіт. Однією з важливих технічних культур, яка має значне економічне значення, є цукрові буряки. Їх вирощування потребує дотримання комплексу технологічних операцій, серед яких ключове місце займає передпосівний обробіток ґрунту.

Якість передпосівного обробітку безпосередньо впливає на формування посівного шару, рівномірність загортання насіння, схожість рослин та подальшу врожайність культури. Недостатньо якісне формування поверхневого шару призводить до нерівномірних сходів, підвищення забур'яненості, зростання втрат урожаю та збільшення енергетичних витрат на вирощування продукції.

Аналіз сучасних технологій вирощування цукрових буряків показує, що ефективність передпосівного обробітку залежить не лише від агротехнічних параметрів, але й від конструктивних особливостей застосовуваних ґрунтообробних агрегатів. Існуючі машини не завжди забезпечують необхідну якість підготовки ґрунту в умовах змінної вологості, щільності та засміченості рослинними рештками. Це зумовлює необхідність удосконалення як технологічних процесів, так і робочих органів машин.

Особливо актуальним є створення комбінованих агрегатів, які дозволяють виконувати декілька операцій за один прохід, що забезпечує зменшення ущільнення ґрунту, зниження витрат пального, підвищення продуктивності та покращення структури посівного шару.

Тому важливим напрямком є модернізація агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту шляхом удосконалення їх конструкції, оптимізації параметрів робочих органів та забезпечення більш ефективної взаємодії з ґрунтовим середовищем.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

1.1 Агроекологічні умови вирощування цукрових буряків та особливості передпосівної підготовки ґрунту

Розвиток буряківництва як однієї з провідних галузей рослинництва тісно пов'язаний із рівнем технічного, технологічного та наукового забезпечення сільськогосподарського виробництва. У сучасних умовах господарювання ефективність вирощування цукрових буряків визначається комплексом факторів, серед яких ключову роль відіграє стан матеріально-технічної бази, рівень механізації виробничих процесів, застосування ресурсозберігаючих технологій та дотримання агротехнічних вимог.

Матеріально-технічна база сільського господарства формується під впливом науково-технічного прогресу і є визначальним чинником підвищення продуктивності праці, конкурентоспроможності продукції та економічної стійкості господарств. Її рівень безпосередньо впливає на обсяги валового виробництва, собівартість сільськогосподарської продукції та ефективність використання виробничих ресурсів. Особливо важливе значення матеріально-технічне забезпечення має у технологічно складних галузях, до яких належить виробництво цукрових буряків.

Основу матеріально-технічної бази рослинництва становлять енергетичні засоби, передусім трактори різних тягових класів, а також широкий комплекс сільськогосподарських машин і знарядь. У сучасних господарствах трактори забезпечують виконання практично всіх мобільних технологічних операцій – від основного та передпосівного обробітку ґрунту до догляду за посівами, збирання врожаю, транспортних і вантажно-розвантажувальних робіт. Їх конструктивні параметри, потужність, маса та агрегатувальні можливості визначаються вимогами конкретної галузі, з урахуванням

грунтово-кліматичних умов, розмірів полів, технологій вирощування та структури посівних площ.

Сучасні вимоги сільськогосподарського виробництва до конструкції тракторів і машин передбачають підвищення експлуатаційної продуктивності та паливної економічності, високий рівень надійності й універсальності, зменшення експлуатаційних витрат і простоїв, а також мінімізацію негативного впливу на ґрунт і рослини. Важливим аспектом є зниження питомого тиску ходових систем на ґрунт задля запобігання його ущільненню, що особливо актуально при вирощуванні просапних культур, зокрема цукрових буряків. Окрему увагу приділяють створенню безпечних і комфортних умов праці для трактористів-машиністів, що позитивно впливає на якість виконання технологічних операцій.

Технологія виробництва цукрових буряків є багатоступеневим процесом і немислима без використання комплексу спеціалізованих машин. У господарствах повинен бути сформований раціональний машинно-тракторний парк, до якого входять ґрунтообробні машини (плуги, чизелі, культиватори, борони), агрегати для передпосівної підготовки ґрунту, посівні машини точного висіву, техніка для внесення органічних і мінеральних добрив, машини для міжрядного обробітку, захисту рослин та спеціалізовані бурякозбиральні комплекси.

Ефективність використання машинно-тракторного парку оцінюється системою техніко-економічних показників, до яких належать обсяг механізованих робіт, виробіток на один трактор, питомі витрати пального, собівартість одного умовного еталонного гектара, а також витрати на технічне обслуговування і ремонт. Раціональна організація використання техніки, своєчасне технічне обслуговування та оптимальне завантаження машин дозволяють суттєво знизити виробничі витрати і підвищити економічну ефективність вирощування цукрових буряків.

Виробництво цукрових буряків у господарствах повинно здійснюватися згідно з технологічними картами, які передбачають чітку послідовність

операцій, строки їх виконання та склад агрегатів. Дотримання встановлених агротехнічних строків є особливо важливим, оскільки порушення технології навіть на окремих етапах може призвести до значного зниження врожайності та цукристості коренеплодів. Досвід показує, що наявний парк машин доцільно використовувати на площах вирощування буряків не менших ніж 50 гектарів, що забезпечує економічно обґрунтоване завантаження техніки.

Особливе значення у технології вирощування цукрових буряків має передпосівний обробіток ґрунту. Його основне завдання – створення оптимальної дрібногрудочкуватої структури орного шару, вирівнювання поверхні поля, збереження вологи та знищення бур'янів. У багатьох господарствах передпосівний обробіток ґрунту досі здійснюють традиційними знаряддями – культиваторами та боронами, що потребує кількох проходів агрегатів і призводить до підвищеного ущільнення ґрунту.

Сучасні тенденції розвитку буряківництва передбачають широке застосування комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які за один прохід виконують кілька операцій: розпушування, кришіння, вирівнювання і часткове ущільнення посівного шару. Використання таких машин дозволяє скоротити кількість проходів техніки по полю, зменшити витрати пального, знизити ущільнення ґрунту та забезпечити більш рівномірні умови проростання насіння.

Догляд за посівами цукрових буряків здійснюється механічними та комбінованими способами. Основними знаряддями є просапні культиватори, у тому числі з активними робочими органами, які забезпечують ефективне знищення бур'янів, розпушування міжрядь і поліпшення повітряного режиму ґрунту. В сучасних технологіях дедалі більшого поширення набувають культиватори з елементами точного ведення рядка та автоматичного копіювання, що дозволяє зменшити пошкодження рослин і підвищити продуктивність агрегатів.

Збирання врожаю цукрових буряків є одним із найвідповідальніших і найбільш трудомістких етапів технологічного циклу. Воно здійснюється спеціалізованими гичкозбиральними та коренезбиральними машинами або

багатофункціональними комбайнами, які виконують комплекс операцій – зрізування гички, викопування коренеплодів, очищення від ґрунту та завантаження у транспортні засоби. Вибір способу та техніки збирання залежить від розмірів господарства, рівня забезпечення машинами та агрокліматичних умов.

Для підвищення економічної ефективності виробництва цукрових буряків у господарствах доцільно впроваджувати науково обґрунтовані індустріальні та елементи точного землеробства. Це передбачає створення оптимальних сівозмін із забезпеченням кращих попередників для бурякового поля, використання високопродуктивних і стійких до хвороб районованих гібридів, підвищення якості виконання всіх технологічних операцій, а також раціональне застосування органічних і мінеральних добрив відповідно до потреб культури та агрохімічного стану ґрунтів.

Таким чином, умови вирощування цукрових буряків і якість передпосівного обробітку ґрунту визначають рівень урожайності, цукристість коренеплодів та економічні результати галузі. Комплексний підхід до організації технологічного процесу, сучасне технічне забезпечення та дотримання агротехнічних вимог є запорукою стабільного і ефективного виробництва цукрових буряків.

1.2. Агротехнічні та техніко-економічні вимоги до технології вирощування цукрових буряків

Виробництво цукрових буряків є складним багатостадійним процесом, ефективність якого значною мірою залежить від дотримання агротехнічних і техніко-економічних вимог на всіх етапах технологічного циклу. Раціональне поєднання технологічних операцій, правильний добір машинно-тракторних агрегатів та оптимальні режими їх роботи забезпечують формування запланованого врожаю, високу якість коренеплодів і економічну доцільність

виробництва.

Початковим етапом системи обробітку ґрунту під цукрові буряки є луцнення стерні, основним завданням якого є розпушування верхнього шару ґрунту з частковим обертанням пласта, перемішування рослинних решток і підрізання сходів бур'янів. Ця операція створює сприятливі умови для подальшої оранки, сприяє кращому загортанню стерні та активізує мікробіологічні процеси в ґрунті. Оптимальна глибина луцнення стерні становить 4–8 см, що забезпечує накопичення й збереження ґрунтової вологи, покращує кришення ґрунтового пласта та зменшує енергетичні витрати під час наступних обробіток. Луцнення, як правило, виконують човниковим способом руху агрегату з робочою швидкістю 7–8 км/год, що дозволяє досягти необхідної продуктивності при дотриманні агротехнічних вимог.

Однією з ключових умов отримання високих урожаїв цукрових буряків є забезпечення рослин поживними речовинами. Буряки характеризуються високою потребою в елементах живлення, особливо в органічній речовині, яка покращує агрофізичні властивості ґрунту, його водний і повітряний режими. Оптимальна норма внесення органічних добрив під цукрові буряки становить у середньому 30–40 т/га, що дозволяє не лише підвищити врожайність, а й забезпечити стабільну родючість ґрунту. При внесенні органіки важливо досягти рівномірності її розподілу: допустимі відхилення за шириною захвату не повинні перевищувати $\pm 25\%$, а вздовж напрямку руху агрегату – $\pm 10\%$. Недотримання цих вимог призводить до нерівномірного живлення рослин і зниження ефективності добрив.

Основним елементом основного обробітку ґрунту є глибока зяблева оранка, завданням якої є розпушування ґрунту на глибину 27–35 см з повним обертанням пласта. Такий обробіток сприяє накопиченню вологи, знищенню багаторічних бур'янів та створенню оптимальних умов для розвитку кореневої системи цукрових буряків. Якість оранки значною мірою визначається прямолінійністю руху агрегату: допустиме відхилення не повинно перевищувати ± 1 м на довжині гону. Висота поверхневих гребенів після оранки

обмежується 5 см, що забезпечує рівномірність наступних технологічних операцій. З метою підвищення ефективності боротьби з бур'янами в системі осіннього обробітку доцільним є застосування ґрунтових або післяжнивних гербіцидів.

Весняний обробіток ґрунту під цукрові буряки включає заходи зі збереження вологи та передпосівну підготовку. Основним завданням є створення вирівняного, дрібногрудочкуватого посівного шару з оптимальною щільністю. Під час передпосівного обробітку розпушується верхній шар ґрунту, знищуються сходи бур'янів і вирівнюється поверхня поля. Глибина розпушеного шару має перевищувати заплановану глибину загортання насіння на 5–10 мм, що забезпечує рівномірні сходи культури. При цьому якість підрізання бур'янів повинна досягати 96–98 %, що знижує конкурентний тиск на молоді рослини буряків у початковій фазі їх розвитку.

Сівбу цукрових буряків необхідно проводити у найкоротші строки після завершення передпосівного обробітку, щоб мінімізувати втрати вологи з верхнього шару ґрунту. Глибина загортання насіння залежить від ґрунтово-кліматичних умов і коливається в межах 2,5–6 см. За недостатнього зволоження поверхневого шару ґрунту глибину посіву доцільно збільшувати для забезпечення контакту насіння з вологішими горизонтами. Під час сівби одночасно вносять мінеральні добрива стартовою нормою близько 0,8 т/га, що сприяє інтенсивному росту сходів. Сівбу виконують човниковим способом з оптимальною робочою швидкістю агрегату 4,5–5 км/год, що забезпечує точність висіву та рівномірність розміщення рослин у рядку.

Подальший догляд за посівами передбачає систематичне міжрядне розпушування ґрунту. Метою цієї операції є запобігання утворенню ґрунтової кірки, знищення бур'янів і покращення водно-повітряного режиму кореневмісного шару. Глибина міжрядного обробітку змінюється залежно від фази розвитку рослин і становить 20–70 мм. Кількість міжрядних обробітків визначається станом посівів, засміченістю поля та погодними умовами впродовж вегетаційного періоду.

Збирання врожаю цукрових буряків включає дві основні операції – збирання гички та викопування коренеплодів. Гичку зрізують спеціалізованими гичкозбиральними машинами з одночасним завантаженням у транспортні засоби або укладанням у валки. При цьому необхідно забезпечити зрізування гички в межах встановлених нормативів. Загальні втрати зеленої маси допускаються на рівні 5–15 %, а залишок гички на коренях після доочищення не повинен перевищувати 1–1,5 %. Оптимальна швидкість руху агрегату при збиранні гички становить близько 7 км/год.

Коренеплоди збирають коренезбиральними машинами із забезпеченням повного їх викопування, очищення від ґрунту та рослинних домішок і навантаження у транспортні засоби. Допустимі втрати коренеплодів становлять не більше 1,5 %, пошкодженість – до 3 %, забрудненість зеленою масою – не більше 3 %. Робоча швидкість агрегатів при збиранні коренів залежить від типу машини та умов поля і перебуває в межах 5–9 км/год.

Дотримання агротехнічних і техніко-економічних вимог на всіх етапах технології вирощування цукрових буряків забезпечує високу врожайність, належну якість коренеплодів і підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку, що є важливим чинником рентабельності галузі.

1.3 Передові методи виробництва цукрових буряків із застосуванням високопродуктивних машин

У сучасних умовах інтенсифікації аграрного виробництва вирощування цукрових буряків дедалі більше орієнтується на впровадження передових агротехнологій і використання високопродуктивних машин, здатних забезпечити високу врожайність, зниження виробничих витрат та сталий розвиток агроecosystem. За оцінками ФАО (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН), рівень механізації та цифровізації технологічних процесів є одним із ключових чинників підвищення

ефективності буряківництва в країнах з розвиненим аграрним сектором.

Одним з основних напрямів удосконалення технології виробництва цукрових буряків є перехід до ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту, зокрема мінімального та смугового (strip-till) обробітку. Ці технології дозволяють скоротити кількість проходів машин по полю, зменшити ущільнення ґрунту та знизити витрати пального без істотного погіршення агрофізичних властивостей орного шару. Дослідження, проведені в країнах Європи та адаптовані до умов України, показують, що застосування strip-till у поєднанні з потужними комбінованими агрегатами сприяє підвищенню врожайності цукрових буряків на 8–12 % та покращенню якості коренеплодів за рахунок кращого розвитку кореневої системи.

Важливою складовою передових методів виробництва є використання сучасних машин для точного висіву. Пневматичні сівалки нового покоління забезпечують рівномірне розміщення насіння в рядку, стабільну глибину загортання та мінімальні втрати посівного матеріалу. Інтеграція GPS-навігації та автоматичних систем контролю норми висіву дозволяє зменшити перевитрати насіння та добрив, що безпосередньо впливає на техніко-економічні показники виробництва. Суттєвим кроком уперед у буряківництві є впровадження елементів точного землеробства та автоматизації польових робіт. Сучасні машини для міжрядного обробітку оснащуються камерами та сенсорами, які забезпечують автоматичне ведення агрегату по рядку, що дозволяє працювати з мінімальними захисними зонами та зменшувати пошкодження рослин. За даними наукових досліджень, використання прецизійних культиваторів з автоматичним керуванням підвищує продуктивність праці та ефективність механічного контролю бур'янів, знижуючи потребу у хімічних засобах захисту рослин.

Особливу роль у системі передових методів виробництва цукрових буряків відіграють високопродуктивні бурякозбиральні машини. Сучасні самохідні комбайни провідних європейських виробників характеризуються великою пропускнуою здатністю, високою якістю очищення коренеплодів від

ґрунту та незначним рівнем пошкоджень. Вони оснащуються автоматизованими системами регулювання глибини копання, адаптації до зміни умов ґрунту та моніторингу втрат у режимі реального часу. За результатами аналітичних оглядів DLG та AGRITECHNICA, застосування таких машин дозволяє скоротити втрати коренеплодів під час збирання на 30–40 % у порівнянні з технікою попередніх поколінь та зменшити затрати праці й пального на одиницю продукції.

Крім того, передові технології передбачають оптимізацію логістичних процесів – навантаження, транспортування та зберігання цукрових буряків. Використання спеціалізованих перевантажувальних машин і самоходних навантажувачів із системами очищення дозволяє зменшити забруднення коренеплодів і втрати цукру під час транспортування до переробних підприємств. Це особливо важливо в умовах коротких оптимальних строків збирання та нестабільних погодних умов.

Таким чином, передові методи виробництва цукрових буряків базуються на комплексному застосуванні високопродуктивних машин, інтеграції елементів точного землеробства та автоматизованих систем керування технологічними процесами. Їх впровадження дозволяє не лише підвищити врожайність і якість продукції, а й суттєво покращити техніко-економічні показники галузі, зменшити екологічне навантаження на ґрунти та забезпечити сталість буряківництва в довгостроковій перспективі.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

2.1 Обґрунтування індустріальної технології виробництва цукрових буряків з використанням комбінованого агрегату для передпосівної підготовки ґрунту

Для підвищення продуктивності галузі буряківництва та забезпечення стабільних економічних результатів у господарстві пропонується впровадження інтенсивної індустріальної технології вирощування цукрових буряків. Така технологія передбачає раціональне поєднання агротехнічних, організаційних і технічних заходів із широким використанням сучасних машин та комбінованих агрегатів, що дозволяє зменшити витрати ресурсів і водночас підвищити врожайність культури.

Сівозміна та основний обробіток ґрунту.

Найбільш доцільними попередниками для цукрових буряків є озима пшениця, однорічні й багаторічні трави, а також зернобобові культури. Такі попередники забезпечують добрий фітосанітарний стан поля, сприяють накопиченню вологи та поживних речовин у ґрунті.

Після збирання попередника проводять лушення стерні з метою знищення падалиці, проростаючих бур'янів та розпушування поверхневого шару ґрунту. Перше лушення виконують дисковими луцильниками типу ЛДГ-5 або ЛДГ-15 на глибину 6–8 см. Повторне лушення через 10–12 днів здійснюють лемішними луцильниками типу ППЛ-10-25 на глибину 12–14 см, що забезпечує ефективне підрізання бур'янів і підготовку ґрунту до основного обробітку.

Система удобрення.

Система удобрення цукрових буряків передбачає поєднання органічних і мінеральних добрив з урахуванням агрохімічних властивостей ґрунту. На

кислих ґрунтах додатково застосовують вапнування або гіпсування з метою оптимізації реакції ґрунтового середовища.

Органічні добрива вносять під зяблеву оранку у дозі 35 т/га розкидачами РОУ-6 або ПРТ-10. Мінеральні добрива (азотні, фосфорні та калійні) вносять диференційовано: близько 75 % загальної норми восени під зяблеву оранку, 10–15 % – локально в рядки під час сівби, решту – у вигляді підживлень у період вегетації. Для основного внесення використовують машини МВУ-8 або НРУ-0,5.

Зяблева оранка та весняний обробіток.

Глибоку зяблеву оранку виконують плугами типу ПЛН-5-35 або ПЛН-4-35 на глибину 27–35 см. За необхідності застосовують ярусні плуги ПНЯ-4-42 або оборотні плуги ПОН-5-40, які забезпечують якісне перевертання пласта та глибоке розпушування орного шару.

Ранньовесняне боронування проводять з метою закриття вологи та вирівнювання поверхні поля. Для цього використовують широкозахватні агрегати з важкими зубовими боронами БЗГС-1,0 у складі зчіпки СП-11.

Передпосівний обробіток ґрунту.

Передпосівна підготовка ґрунту є завершальним етапом системи обробітку і повинна здійснюватися безпосередньо перед сівбою, без розриву в часі. Порушення цієї вимоги призводить до підсихання розпушеного шару ґрунту, що негативно впливає на проростання насіння, одночасність появи сходів та енергію росту рослин, особливо за умов недостатнього зволоження весною.

Для передпосівного обробітку пропонується використання комбінованого агрегату типу РВК-3,6 в агрегаті з тракторами МТЗ-80 або ДТ-75М. Комбінований агрегат за один прохід виконує кілька операцій: розпушування, кришення ґрунту, вирівнювання поверхні та часткове ущільнення посівного шару. Напрямок обробітку рекомендовано здійснювати під кутом 2–4° до напрямку сівби, що покращує структуру ґрунту та умови для формування посівного ложа.

Сівба та догляд за посівами.

Сівбу цукрових буряків розпочинають за умови, коли температура ґрунту на глибині 8–10 см досягає 5–6 °С, а вологість становить 80–90 % від повної польової вологості. Ґрунт при цьому має бути добре розпушеним і вирівняним. Сівбу на одному полі необхідно завершити протягом 1,5–2 діб.

Для висіву звичайного або дражованого насіння з міжряддям 45 см використовують бурякову сівалку ССТ-12Б.

Догляд за посівами включає комплекс механічних заходів: суцільне розпушування ґрунту після появи сходів, шарування в зоні рядків, проріджування рослин і подальші міжрядні обробітки з одночасним підживленням. Для виконання цих операцій застосовують культиватори УСМК-5,4Б або КМ-2,7.

Захист рослин.

Цукрові буряки є надзвичайно чутливою культурою щодо дії бур'янів, шкідників і хвороб. За несприятливих умов втрати врожаю можуть досягати 30 % і більше. Сучасна інтенсивна технологія ґрунтується на поєднанні генетичної стійкості гібридів із системою агротехнічних і хімічних заходів захисту рослин.

Для внесення гербіцидів, інсектицидів і фунгіцидів використовують обприскувачі та аплікатори загального призначення з дотриманням регламентів застосування препаратів.

Збирання врожаю.

Для максимального використання осіннього приросту маси коренеплодів і накопичення цукру збирання доцільно розпочинати з 20 вересня і завершувати у другій половині жовтня.

Збирання здійснюють переважно шестирядним комплексом машин роздільного типу: причіпною гичкозбиральною машиною БМ-6Б з доочищувачем головок ОГД-6 та коренезбиральною машиною КС-6Б з укладанням коренів у валки і подальшим підбиранням. Гичку використовують на корм або для силосування, коренеплоди транспортують на цукровий завод чи бурякоприймальний пункт. Для полегшення роботи коренезбиральних

машин доцільним є попереднє рихлення міжрядь культиватором УСМК-5,4Б.

Програмування врожайності.

Програмування врожаю цукрових буряків здійснюють у два етапи:

перший – розробка науково обґрунтованої програми отримання врожайності заданого рівня;

другий – реалізація цієї програми безпосередньо в умовах поля з можливістю коригування залежно від погодних умов, стану рослин, забезпеченості вологою та поживними речовинами.

Планову врожайність визначаємо за формулою:

$$P_{\epsilon} = [B \cdot C_{\epsilon} \cdot K_m (D_m \cdot O_m + D_o \cdot O_o)] K_n \cdot K_{\phi}, \quad (2.1)$$

де: B – бонітет ґрунту, балів (60-80);

C_{ϵ} – ціна одного бала бонітету;

K_m – коефіцієнт несприятливих властивостей ґрунту;

D_m, D_o – дози мінеральних (кг/га) і органічних (т/га) добрив;

O_m, O_o – окупність одиниці мінеральних і органічних добрив;

K_n – поправочний коефіцієнт на виробничі умови;

K_{ϕ} – поправочний коефіцієнт на рівень агротехніки.

Для сучасних умов окупність мінеральних добрив зросла на 10–15% (завдяки КАС, точному внесенню);

коефіцієнт агротехніки збільшився (використання комбінованих агрегатів, мінімальний обробіток);

втрати врожаю зменшені;

покращилось вирівнювання ґрунту → підвищення рівномірності сходів.

Приймаємо узагальнено:

$$K_n=1,0; K_{\phi}=1,1.$$

У результаті розрахунків отримано планову врожайність:

$$P_g = 414 \text{ ц/га.}$$

Отримані результати свідчать, що ґрунтово-кліматичні умови господарства дозволяють формувати високі врожаї цукрових буряків. Оскільки розрахунок не враховує всі можливі обмежувальні фактори, для практичних умов виробництва приймається реалістична планова врожайність може бути нижчою, в межах 380 ц/га.

Технологія вирощування культури реалізується на основі технологічних і операційних карт. Технологічна карта відображає повний комплекс агротехнічних заходів у календарній послідовності з урахуванням рекомендацій науки та передового виробничого досвіду. Для кожної операції вказують агротехнічні вимоги, норму виробітку, витрати пального та матеріальних ресурсів.

Операційна карта деталізує виконання окремих технологічних операцій і включає обґрунтування режимів руху агрегатів, організацію роботи на загінках і розрахунок експлуатаційних витрат.

2.2 Формування комплексу машин для виробництва цукрових буряків

Ефективне виробництво цукрових буряків значною мірою залежить від правильно сформованого машинно-тракторного парку, який має забезпечувати своєчасне виконання всіх технологічних операцій із мінімальними витратами праці, пального та матеріальних ресурсів. Тому під час добору технічних засобів необхідно враховувати як обсяги запланованих робіт, так і виробничі умови господарства.

Раціональне комплектування машинно-тракторного парку полягає у

формуванні оптимального складу енергетичних засобів і сільськогосподарських машин за їх призначенням, технічною відповідністю та кількістю. При цьому важливим є узгодження параметрів тракторів і машин між собою, а також рівномірний розподіл техніки між виробничими підрозділами з урахуванням сезонного навантаження.

На практиці використовують два основні підходи до формування машинно-тракторного парку. Перший – аналітичний метод, який ґрунтується на нормативних показниках продуктивності агрегатів та планових строках виконання робіт. Цей метод є достатньо простим у застосуванні, не потребує складного технічного забезпечення й водночас забезпечує прийнятну точність розрахунків. Другий підхід передбачає використання електронно-обчислювальної техніки та спеціалізованих програм, що дозволяє швидко опрацьовувати великі масиви даних і моделювати різні варіанти комплектування, однак вимагає відповідного програмного і технічного забезпечення.

З огляду на умови виконання даної роботи та доступність вихідної інформації, для визначення складу комплексу машин доцільно застосувати аналітичний метод.

Кількість машинно-тракторних агрегатів для виконання конкретної технологічної операції визначають за формулою:

$$n_a = \frac{F}{W_g \cdot T_d \cdot D_n}, \quad (2.2)$$

де: F – загальний обсяг робіт (га, т, ткм);

W_g – годинна продуктивність агрегату за змінний час (га/год, т/год);

T_d – встановлений строк виконання роботи, діб.

Отримане значення показує необхідну кількість агрегатів для виконання відповідного виду робіт у встановлені агротехнічні строки. У разі отримання дробового результату кількість агрегатів округлюють у бік збільшення, що

забезпечує резерв часу та підвищує надійність виконання технологічного процесу.

Розрахунки потреби в технічних засобах для всіх основних і допоміжних операцій з виробництва цукрових буряків виконуються на основі даних технологічної карти. Наведемо узагальнені результати визначення кількості агрегатів, яка відображає склад комплексу машин для виконання всього обсягу робіт у господарстві.

Таким чином, сформований комплекс машин дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу вирощування цукрових буряків, оптимальне завантаження машинно-тракторного парку та дотримання агротехнічних строків виконання робіт.

Для забезпечення повного технологічного циклу виробництва цукрових буряків у господарстві сформовано спеціалізований комплекс машин, який охоплює всі етапи – від основного обробітку ґрунту до збирання врожаю та транспортування коренеплодів.

Енергетичну основу машинно-тракторного парку становлять колісні та гусеничні трактори різних тягових класів. Для виконання важких ґрунтообробних робіт та агрегатування з широкозахватними знаряддями передбачено використання тракторів типу Т-150 і Т-150К (дві одиниці). Для універсальних і допоміжних операцій застосовуються трактори МТЗ-80 у кількості трьох одиниць, а також трактори ЮМЗ-6Л (три одиниці) та малогабаритні трактори Т-25А (дві одиниці), які використовують для виконання робіт із невеликим тяговим опором.

Основний обробіток ґрунту забезпечується плугами типу ПЛН-5-35 у кількості однієї одиниці. Для післяжнивного обробітку ґрунту передбачено застосування дискового луцильника ЛДГ-15 та лемішного луцильника ППЛ-10-25, кожен з яких представлений однією машиною. Поверхневе розпушування та вирівнювання ґрунту виконують важкими боронами БЗТС-1,0 у кількості однієї одиниці.

Для міжрядного та передпосівного обробітку ґрунту використовується

культиватор КМ-2,7 (одна одиниця), а для прикочування ґрунту після обробітку – котки ЗКШ-6 (одна одиниця). Ключовою ланкою системи передпосівної підготовки є комбінований агрегат АНР-20, що поєднує кілька операцій за один прохід і використовується в кількості двох одиниць.

Процеси роботи з мінеральними добривами забезпечуються машинами для їх приготування та завантаження СЗУ-20 (одна одиниця), а також розкидачами мінеральних добрив типу МВУ-8 і МВУ-0,5 (одна одиниця). Для роботи з органічними добривами застосовуються завантажувач ПЕ-0,8Б та розкидач ПРТ-10 – по одній машині кожного типу.

Сівбу цукрових буряків здійснюють буряковою сівалкою ССТ-12Б у кількості однієї одиниці. Агрегаткування машин виконується за допомогою зчіпок СГ-21 і СП-16, які використовуються по одній одиниці кожної марки.

Для внесення рідких органічних добрив у господарстві передбачено використання машини ЗЖВ-3,2 (одна одиниця), а приготування робочих розчинів здійснюється агрегатом АПЖ-12 (одна одиниця). Захист посівів від бур'янів, шкідників і хвороб забезпечується обприскувачем ОН-400-3, який також представлений однією машиною.

Механічне проріджування сходів проводять за допомогою проріджувача УСМП-5,4 у кількості двох одиниць. Транспортні операції в межах поля та господарства виконуються тракторними причепами 2ПТС-4 (чотири одиниці).

Збирання врожаю здійснюється роздільним способом. Для зрізування та прибирання гички використовують гичкозбиральну машину БМ-6А (одна одиниця), а викопування коренеплодів виконується коренезбиральною машиною КС-6 (одна одиниця). Навантаження коренеплодів на транспортні засоби забезпечується навантажувачем СПС-4,2 (одна одиниця).

Завершальним елементом комплексу є автомобільний транспорт. Для перевезення цукрових буряків до бурякоприймального пункту або на цукровий завод передбачено використання шести автомобілів марки ЗІЛ-45021.

Сформований комплекс машин забезпечує повну механізацію основних і допоміжних процесів виробництва цукрових буряків, рівномірне завантаження

техніки та дотримання агротехнічних строків виконання робіт.

Аналіз даних свідчить про те, що запропонований комплекс машин повністю забезпечує виконання всіх основних і допоміжних технологічних операцій під час вирощування цукрових буряків за проєктованою інтенсивною технологією на площі 50 гектарів. Склад машинно-тракторного парку підібраний з урахуванням агротехнічних вимог культури, строків виконання робіт та виробничих можливостей господарства, що дає змогу раціонально використовувати технічні й енергетичні ресурси.

Особливої уваги заслуговує розробка та впровадження комбінованого агрегату для передпосівного обробітку ґрунту, запропонованого у кваліфікаційній роботі. Його застосування дозволяє об'єднати кілька операцій в одному технологічному проході, скоротити кількість заїздів агрегатів на поле, зменшити ущільнення ґрунту, втрати вологи та експлуатаційні витрати. Це є важливим чинником підвищення ефективності технології та стабільності отримання сходів цукрових буряків.

2.3 Аналітичний огляд конструкцій комбінованих ґрунтообробних агрегатів

Комбіновані ґрунтообробні машини та агрегати створені з метою одночасного виконання кількох технологічних операцій у межах одного робочого проходу. Їх застосування дає змогу більш ефективно використовувати потужність енергетичних засобів під час виконання операцій з невисоким питомим опором, а також у виробничих умовах, де експлуатація широкозахватних одноопераційних машин є недоцільною або ускладненою через конфігурацію та розміри полів.

Зменшення кількості проходів агрегату по поверхні поля забезпечує суттєве скорочення витрат часу на холості переїзди, знижує непродуктивні енергетичні витрати та істотно обмежує ступінь ущільнення ґрунту ходовими

системами тракторів і машин. Це, у свою чергу, позитивно впливає на агрофізичні властивості ґрунту та загальну ефективність підготовки поля до сівби.

Залежно від характеру використання комбіновані ґрунтообробні машини поділяють на спеціалізовані та універсальні. Спеціалізовані комбіновані машини являють собою єдиний конструктивний комплекс, окремі елементи якого не передбачають самостійної експлуатації. Універсальні комбіновані агрегати, навпаки, формуються з декількох одноопераційних знарядь або машин, які за потреби можуть використовуватися як у складі агрегату, так і автономно.

За характером одночасно виконуваних операцій комбіновані агрегати умовно поділяють на кілька основних груп. Однією з найбільш поширених є група машин, у яких поєднано основний обробіток ґрунту з допоміжними операціями. Таке поєднання забезпечує якісніше розпушування ґрунтового пласта, підвищує інтенсивність його кришення, сприяє вирівнюванню поверхні поля та формуванню оптимальної щільності посівного шару.

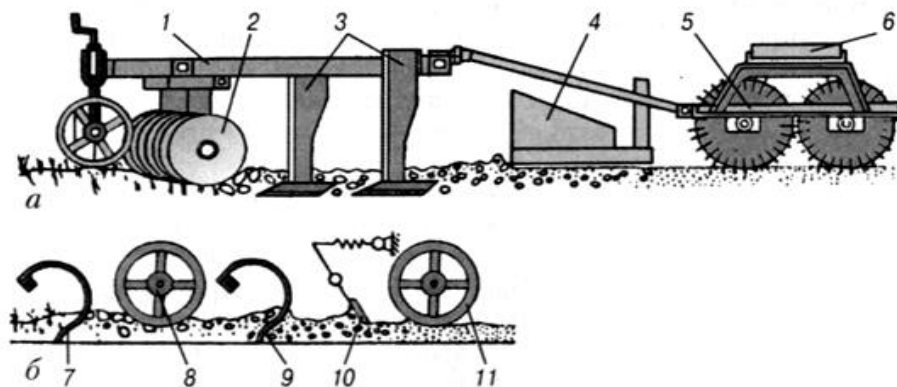
До цієї групи належать комбіновані агрегати, складені на базі лемішно-полицевих або чизельних плугів, а також плоскорізальних знарядь, які додатково оснащуються вирівнювальними пристроями, боронами чи котками. Особливо ефективними вважаються коткові пристосування типу ПВР-2,3, що агрегатуються з п'яти- та шестикорпусними плугами, а також ПВР-3,5, призначені для семи- та дев'ятикорпусних плужних агрегатів. Їх застосування дозволяє значною мірою покращити якість поверхневого шару ґрунту без додаткових проходів агрегатів.

Для поєднання основного безполицевого обробітку ґрунту з операціями вирівнювання і прикочування розроблені комбіновані агрегати типу АКП-2,7 та АКП-5. Конструктивно вони включають батареї сферичних дисків, плоскорізальні робочі органи, вирівнювач поверхні поля та дворядний кільчасто-шпоровий коток. Така компоновка робочих органів забезпечує одночасне розпушування, підрізання рослинних решток, вирівнювання ґрунту

та формування ущільненого посівного шару, що є важливою передумовою якісної передпосівної підготовки (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика комбінованих агрегатів АКП–2,7 і АКП–5

Показники	АКП–2,7	АКП–5
Ширина захвату, м	2,7	5,0
Продуктивність за 1 год. основного часу, га	1,4	3,5...5,0
Робоча швидкість, км/год	9	7...10
Глибина обробітку, см	8...14	8...14
Маса, кг	2340	4900
Агрегатується з тракторами класу	3	5



а – агрегат АКП-2,5А; б – агрегат РВК-3,6А

1– рама; 2 – дискова батарея; 3 – плоскорізальні лапи; 4– вирівнювач; 5, 8, 11 – котки; 6 ящик для вантажу; 7, 9 – пружинні розпушувачі

Рисунок 2.1 – Комбіновані ґрунтообробні агрегати

Поєднання кількох операцій передпосівної підготовки ґрунту в межах одного робочого проходу дає змогу забезпечити комплексний і якісний обробіток поля. За один прохід комбінований агрегат виконує розпушування верхнього шару ґрунту, ефективне знищення проростаючих бур'янів, вирівнювання мікрорельєфу поверхні та формування оптимального посівного ложа. Такий підхід сприяє скороченню загального часу проведення польових робіт, зменшенню кількості проходів техніки по полю та зниженню ущільнення ґрунту.

Залежно від складу та принципу роботи робочих органів комбіновані

машини й агрегати, призначені для передпосівного обробітку ґрунту, умовно поділяють на дві основні групи. До першої належать машини з непривідними робочими органами, до яких відносять культиваторні лапи, сферичні або плоскі диски, котки різних конструкцій, шлейфи, гребенерівнювачі та інші пасивні елементи. Ці агрегати відзначаються конструктивною простотою, меншою металоємністю та нижчими енергетичними витратами під час роботи.

Другу групу становлять комбіновані машини, у конструкції яких поєднано привідні й непривідні робочі органи. Привідні елементи (фрези, роторні борони, активні вирівнювачі) забезпечують інтенсивніше подрібнення ґрунтових грудок, що особливо важливо за важких ґрунтових умов або при недостатній кількості вологи. Поєднання активних і пасивних робочих органів дозволяє значно підвищити якість передпосівної підготовки, однак такі агрегати потребують більшої потужності тягового засобу та характеризуються складнішою конструкцією.

Для передпосівного обробітку ґрунту під цукрові буряки широкого практичного застосування набули комбіновані агрегати типу РВК, які оптимально поєднують у своїй будові культиваторні робочі органи, вирівнювальні пристрої та котки. Вони забезпечують формування рівномірно розпушеного й ущільненого посівного шару, що є необхідною умовою для одержання дружних сходів цієї культури. Основні техніко-експлуатаційні характеристики комбінованих агрегатів типу РВК наведені в таблиці 2.2 і на рис. 2.1.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика комбінованих машин типу РВК

Показники	РВК-3,6	РВК-5,4	РВК-7,2
Ширина захвату, м	3,6	5,4	7,2
Продуктивність за 1 год. основного часу, га	2,92	5,4	6,8
Робоча швидкість, км/год.	до 7	до 11	8...11
Глибина обробки, см	4...12	4...12	4...12
Діаметр дисків, мм	450,0	450,0	450,0
Маса, кг	2500	4880	5950
Агрегатується з трактором класу,	1,4...3	3	5

На важких ґрунтах, зокрема в умовах зрошуваного землеробства, високою ефективністю відзначається фрезерний культиватор КФГ-3,6, рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Культиватор фрезерний КФГ-3,6

Цей агрегат забезпечує інтенсивне глибоке розпушування ґрунту на глибину до 18 см, одночасно виконуючи фрезерування верхнього шару на глибину до 8 см та вирівнювання поверхні поля. Завдяки активній дії робочих органів досягається якісне подрібнення ґрунтових грудок і формування рівномірного посівного шару, що є особливо важливим за підвищеної щільності ґрунту.

В умовах степової зони під час підготовки ґрунту під озимі культури після високостеблевих попередників доцільно застосовувати комбінований агрегат АКР-3,6.

Його конструкція поєднує фрезерний ротор і культиваторні лапи, що дозволяє ефективно поєднувати декілька операцій. Культиваторні лапи виконують розпушування ґрунту на глибину до 12 см, а фрезерні ножі здійснюють подрібнення рослинних решток та рівномірне перемішування їх із верхнім шаром ґрунту, покращуючи структурний стан орного горизонту.

До групи комбінованих машин і агрегатів, призначених для передпосівного обробітку ґрунту та одночасного висіву зернових культур, відносять сівалки-культиватори. Ці машини забезпечують виконання комплексу

технологічних операцій на стерньових фонах: культивацію, внесення мінеральних добрив, сівбу зернових і зернобобових культур, а також прикочування ґрунту безпосередньо в зоні висіяних рядків. Таке поєднання дозволяє значно скоротити строки посіву та зменшити кількість проходів техніки по полю.

Для роботи на важких ґрунтах застосовується комбінований фрезерно-посівний агрегат КА-3,6, який складається з фрези КФГ-3,6 та зернотукової сівалки СЗ-3,6. Особливістю цього агрегату є можливість використання його складових частин як у спільній роботі, так і окремо, що підвищує універсальність комплексу машин у господарстві.

Поєднання обробітку ґрунту з внесенням мінеральних добрив – як сухих, так і рідких – може здійснюватися практично одночасно з більшістю технологічних операцій. Внутрішньогрунтове внесення сухих добрив на стерньових фонах є ефективним прийомом поповнення запасів поживних речовин у ґрунті. З цією метою використовують спеціалізовані культиватори-підживлювачі КПП-2,2 та ГУН-4.

Під час міжрядного обробітку просапних культур застосовують культиватори-рослинопідживлювачі, які одночасно з розпушуванням міжрядь здійснюють локальне внесення мінеральних добрив на глибину 10–15 см. Для внесення рідких добрив під час культивації ефективно використовують агрегат АБА-0,5, що забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин у зоні кореневої системи рослин.

Слід зазначити, що більшість робочих органів комбінованих машин за конструкцією та принципом дії аналогічні робочим органам одноопераційних ґрунтообробних знарядь. Водночас раціональне їх поєднання в одному агрегаті суттєво підвищує технологічну ефективність обробітку. Прикладом такого високопродуктивного рішення є комбінований агрегат АКП-2,5 (рис. 2.1), який забезпечує основний обробіток ґрунту без обертання скиби у поєднанні з допоміжними операціями за рахунок оптимально підібраного комплексу робочих органів.

Дискові батареї 1, 2 і 3 (рис. 2.1) призначені для розпушування поверхневого шару ґрунту на глибину 6–8 см та подрібнення післяжнивних рослинних решток. Плоскорізальні робочі органи 5, 6 і 10 здійснюють підрізання бур'янів і додаткове розпушування ґрунту на глибину до 16 см, що забезпечує ефективне знищення небажаної рослинності.

Волокуша-вирівнювач 9 формує рівну поверхню поля, усуваючи мікронерівності, тоді як кільчасто-шпорові котки 8, встановлені на маточині 7, подрібнюють грудки та брили ґрунту, одночасно ущільнюючи нижні шари і залишаючи верхній шар розпушеним. У результаті ґрунт повністю підготовлюється до сівби за один прохід агрегату, що суттєво скорочує тривалість польових робіт.

Вибір технологічної схеми комбінованого агрегату АКП–2,5 ґрунтується на аналізі фізико-механічних властивостей ґрунту, зокрема його щільності, вологості та гранулометричного складу, що дозволяє забезпечити оптимальну якість передпосівної підготовки.

Комбіновані машини та агрегати, призначені для одночасного виконання кількох операцій передпосівного обробітку ґрунту, характеризуються широким набором робочих органів, що підвищує їх універсальність і технологічну гнучкість.

У машинах з непривідними робочими органами застосовують культиваторні лапи, змонтовані на жорстких, пружних або підпружинених стійках, а також зубові чи дискові борони, різні конструкції котків та допоміжні вирівнювальні елементи.

Найбільш раціональним вважається суміщення трьох–чотирьох операцій передпосівного обробітку ґрунту, а саме: подрібнення ґрунтових грудок, механічне знищення бур'янів, вирівнювання поверхні поля та регульоване ущільнення посівного шару. Конструктивно-технологічна схема таких машин зазвичай включає два або три ряди розпушувальних культиваторних лап, вирівнювальний орган і систему котків, що забезпечує високу якість підготовки ґрунту до сівби.

2.4 Обґрунтування конструкційного рішення

З метою забезпечення високоякісної передпосівної підготовки ґрунту під вирощування буряків доцільно розробити універсальний комбінований агрегат, який може ефективно працювати у складі машинно-тракторного агрегату з тракторами тягового класу 1,4. Застосування такого технічного рішення сприятиме істотному зниженню енерговитрат, підвищенню продуктивності праці та скороченню технологічних проходів по полю.

До складу агрегату пропонується включити культиваторну секцію, призначену для інтенсивного розпушування ґрунту на задану глибину обробітку. Для підвищення ефективності руйнування грудок і вирівнювання обробленого шару доцільно передбачити шарнірно-пружинне з'єднання робочої рами культиватора з базовою рамою агрегату. Така конструкція забезпечить кращу адаптацію робочих органів до мікрорельєфу поверхні поля, підвищить стабільність глибини обробітку та сприятиме інтенсивнішому подрібненню ґрунтових брил, що утворюються після основного обробітку.

Для формування оптимальної структури посівного шару необхідно доповнити агрегат котковою секцією. Її доцільно виконати у вигляді системи грудкоподрібнюючих і прикочувальних котків у поєднанні зі шлейфами (вирівнювальними елементами). Таке поєднання забезпечує одночасне ущільнення ґрунту, вирівнювання поверхні поля та створення дрібногрудкуватої структури, що є критично важливим для забезпечення дружних сходів буряків. Важливою умовою ефективної роботи є можливість регулювання кута атаки та навантаження робочих органів під час виконання технологічного процесу.

Ширину захвату комбінованого агрегату доцільно обмежити значенням до 3,6 м. Це дозволить забезпечити оптимальне узгодження з тяговими можливостями тракторів класу 1,4, а також дотримання агротехнічно обґрунтованих швидкісних режимів (8–12 км/год), що позитивно впливає на якість передпосівного обробітку та рівномірність структури ґрунту.

Конструкція агрегату повинна також включати допоміжні механізми, які забезпечують зручність експлуатації. Зокрема, необхідно передбачити:

механізм переведення робочих органів у транспортне положення без значних витрат часу та фізичних зусиль оператора;

систему регулювання глибини обробітку, яка дозволяє оперативного налаштувати агрегат залежно від ґрунтово-кліматичних умов і вимог технології вирощування;

елементи стабілізації руху, що підвищують рівномірність обробітку по всій ширині захвату.

Загалом запропонована конструкція комбінованого агрегату відповідає сучасним тенденціям розвитку ґрунтообробної техніки, що передбачають інтеграцію кількох технологічних операцій за один прохід. Це дозволяє не лише підвищити енергоефективність виробництва, але й зменшити ущільнення ґрунту за рахунок скорочення кількості проходів техніки.

Далі розглянемо будову та принцип дії розроблюваного комбінованого агрегату більш детально.

2.5. Загальна конструкція та принцип роботи комбінованого агрегату

Розроблений комбінований агрегат призначений для роботи в складі машинно-тракторного агрегату з трактором типу МТЗ-80 і характеризується робочою шириною захвату 3,6 м, що відповідає вимогам ефективного використання енергетичних засобів даного тягового класу.

Основою конструкції є несуча рама, яка за допомогою центральної тяги та спеціалізованого зчіпного пристрою приєднується до трактора. Для забезпечення стійкості в транспортному режимі та полегшення переміщення агрегату рама спирається на два опорні колеса, що також виконують функцію регулювання положення агрегату відносно поверхні поля.

До базової рами шарнірно приєднуються бічні секції (піврами), які

з'єднані між собою гідравлічним циліндром. Його призначення полягає у складанні конструкції в транспортне положення шляхом підняття піврам. Така схема забезпечує компактність агрегату при транспортуванні та підвищує його маневреність.

На основній рамі та піврамах змонтовані функціональні робочі органи – культиваційні секції та коткові модулі зі шлейфами. Культиваційний вузол включає окрему раму, на якій встановлені робочі органи у вигляді пружинних лап, що кріпляться через спеціальні стояки або тримачі. Їх еластичність дозволяє ефективно працювати при змінних ґрунтових умовах, зменшуючи ризик забивання та перевантаження.

Розташування культиваторних лап реалізоване у чотири ряди з шаховим зміщенням по поперечних балках. Така схема забезпечує рівномірний розподіл навантаження і гарантує, що кожен робочий орган переміщується по власній траєкторії. При цьому зони розпушування сусідніх лап частково перекриваються, що сприяє суцільному обробітку ґрунту без пропусків. Водночас інтервали між лапами обрані таким чином, щоб запобігти накопиченню рослинних решток, що особливо актуально при роботі на полях після попередників із великою кількістю стерні.

Для підвищення ефективності роботи лап у ґрунті культиваційна секція підвішується до основної рами за допомогою паралелограмного механізму. Це дозволяє зберігати сталий кут атаки робочих органів незалежно від мікронерівностей поля. Стійке заглиблення лап забезпечується системою пружинних блоків, які виконують функцію копіювання рельєфу та амортизації динамічних навантажень.

Регулювання глибини обробітку, яка знаходиться в межах 0,07...0,10 м, здійснюється за допомогою гвинтових механізмів, встановлених у вузлах пружинних блоків. Це дає можливість точно налаштувати агрегат відповідно до агротехнічних вимог та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Коткові секції, розміщені позаду культиваційних лап, виконують функцію додаткового подрібнення грудок, вирівнювання поверхні та часткового

ущільнення верхнього шару ґрунту. Шлейфи, встановлені перед або після котків, забезпечують остаточне планування поля, створюючи вирівняну поверхню, придатну для якісного висіву.

Перед початком роботи агрегат переводиться в робоче положення шляхом опускання рами за допомогою гідросистеми трактора. У процесі руху агрегату робочий процес відбувається послідовно: спочатку культиваційні лапи здійснюють розпушування та підрізання верхнього шару ґрунту, далі шлейфи вирівнюють оброблену поверхню, після чого котки ущільнюють ґрунт, формуючи дрібногрудкувату структуру.

Завдяки комбінуванню декількох технологічних операцій в одному проході забезпечується формування оптимального посівного ложа, що є важливою передумовою для рівномірного проростання насіння цукрових буряків та отримання високих врожаїв.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок основних параметрів культивацийного вузла

Культивацийний вузол являє собою просторову раму, конструктивно подібну до робочого поля зубової борони, на якій закріплені пружинні лапи. Робочі органи розміщені у шаховому порядку таким чином, щоб кожна лапа функціонувала по індивідуальній траєкторії руху, що забезпечує рівномірний обробіток ґрунту без утворення необроблених ділянок.

Основним завданням розрахунку є визначення раціональної відстані між поперечними брусами рами, а також кроку встановлення лап, що гарантує необхідне перекриття зон розпушування.

За ефективну ширину захвату однієї лапи приймають ширину зони деформації ґрунту у напрямку, перпендикулярному до руху агрегату. Цей параметр залежить від геометричних характеристик робочого органа, глибини обробітку та фізико-механічних властивостей ґрунту. Відповідно до розрахункової схеми (рис. 3.1), ширина зони деформації визначається за залежністю

$$b_p = d + \frac{2 \cdot a \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\cos(\alpha + \varphi)}, \quad (3.1)$$

де d – конструктивна ширина лапи, м;

a – глибина обробітку, м;

θ – кут між площинами, які обмежують область деформації залежно від типу і стану ґрунту, град;

α – кут входження лапи в ґрунт, град;

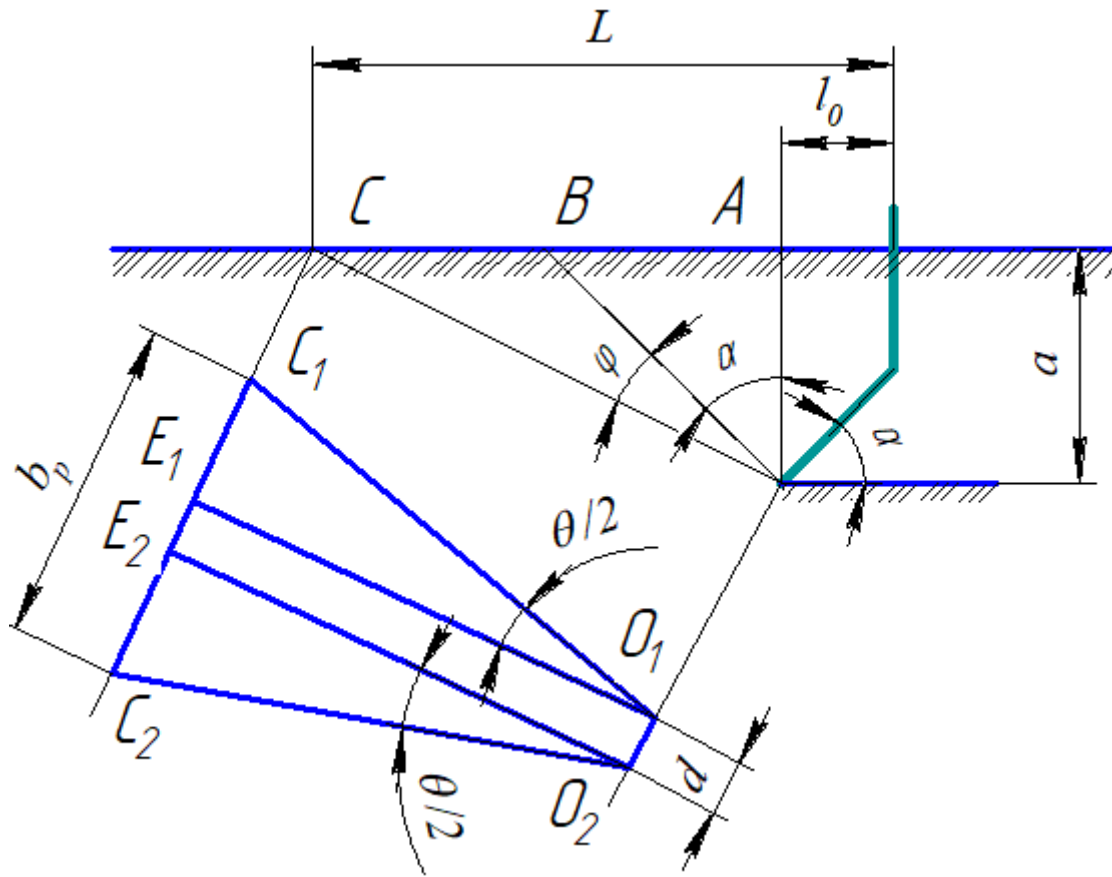


Рисунок 3.1 – Схема визначення зони деформації

Для умов виконання даної технологічної операції приймаємо: глибину обробітку $a=0,05\dots 0,10$ м; $\theta=40\dots 50^\circ$; кут тертя $\varphi = 20\dots 30^\circ$.

Тоді мінімальне значення ширини зони деформації становить:

$$b_{p \min} = 0,03 + \frac{2 \cdot 0,05 \cdot \operatorname{tg} \frac{40}{2}}{\cos(35 + 20)} = 0,093 \text{ м},$$

а максимальне значення:

$$b_{p \max} = 0,03 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot \operatorname{tg} \frac{50}{2}}{\cos(35 + 30)} = 0,25 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо усереднені значення глибини обробітку та ширини деформаційної зони. Крок встановлення лап на поперечних балках обираємо рівним

$$b = 0,1 \text{ м.}$$

Робоча ширина однієї лапи (з урахуванням деформації ґрунту)

$$b_p = 0,150 \text{ м.}$$

Тоді величина перекриття зон розпушування визначається як

$$\Delta b = b_p - b, \quad (3.2)$$

тоді

$$\Delta b = 0,15 - 0,1 = 0,05 \text{ м.}$$

Отримане значення перекриття забезпечує суцільний обробіток ґрунту та запобігає утворенню необроблених смуг.

З метою недопущення забивання робочих органів рослинними рештками лапи розміщують у чотири ряди з шаховим зміщенням. Відстань між рядами визначається з умови повного використання зони деформації ґрунту і розраховується за формулою

$$l \geq l_o + a \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (3.3)$$

l_o – виліт носка лапи відносно точки її кріплення до рами.

Підставляючи граничні значення параметрів, отримаємо:

максимально допустиму відстань:

$$l_{max} \geq 0,05 + 0,1 \cdot \operatorname{tg}(35 + 30) = 0,264 \text{ м},$$

мінімально допустиму

$$l_{min} \geq 0,05 + 0,05 \cdot \operatorname{tg}(35 + 30) = 0,157 \text{ м}.$$

З урахуванням отриманих результатів та конструктивних обмежень приймаємо відстань між рядами лап

$$l = 0,25 \text{ м}.$$

Обране значення забезпечує надійну роботу агрегату навіть за зменшення глибини обробітку до $a = 0,05$ м і збільшення кута тертя до $\varphi = 30^\circ$, оскільки можливе зменшення ширини зони деформації компенсується збільшеним перекриттям між суміжними лапами.

Таким чином, обґрунтовані параметри розміщення робочих органів гарантують стабільну якість обробітку, відсутність забивання та ефективне формування посівного шару, що особливо важливо для сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

3.2 Розрахунок основних конструктивних параметрів паралелограмної навіски культивацийної секції

Паралелограмна навіска, що застосовується для приєднання рами культивацийного вузла, забезпечує стабільність положення робочих органів

відносно поверхні поля, зменшує тяговий опір і покращує якість обробітку за рахунок точного копіювання мікрорельєфу (рис. 3.2).

На першому етапі розрахунку необхідно визначити початкову довжину відрізка O і O_1 , тобто відстань між точками кріплення пружини до основної рами і до рами культиваторної секції у початковому положенні, а також при вертикальному переміщенні секції на величину $\Delta h=0,1$ м.

Згідно з геометричною схемою (рис. 3.2), використовуючи теорему Піфагора, отримаємо

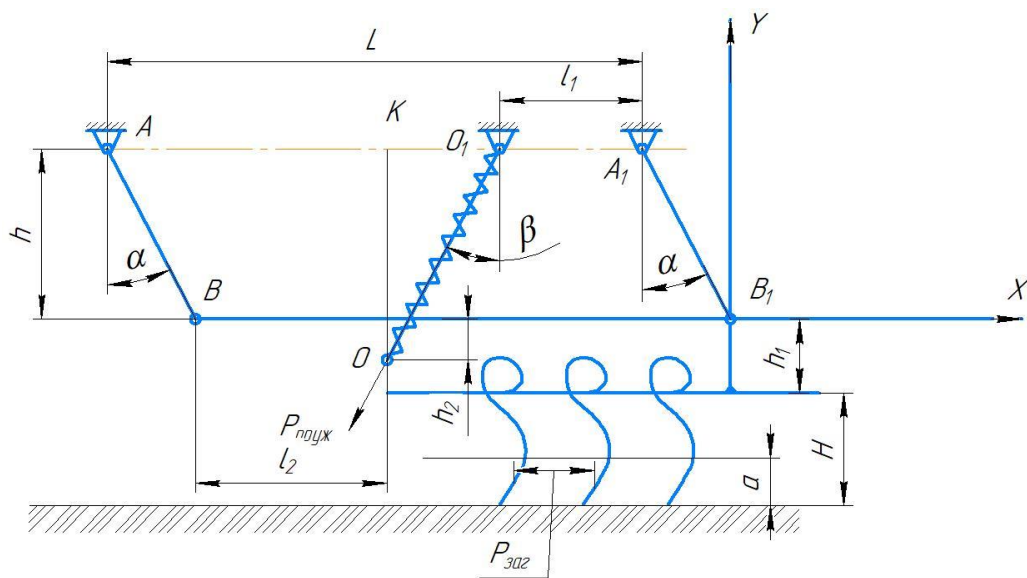


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема паралелограмної навіски

$$l_{O_1 O} = \sqrt{l_{KO_1}^2 + l_{OK}^2} \quad (3.4)$$

де: l_{KO_1} – горизонтальна проекція відстані від точки O_1 до вертикальної осі, що проходить через точку O ;

l_{OK} – вертикальна проекція відстані від точки O до горизонтальної осі, що проходить через O_1 .

Відповідно до схеми:

$$l_{KO_1} = L - l_1 - l_{AB} \cdot \sin \alpha - l_2;$$

$$l_{ok} = l_{AB} \cdot \cos \alpha + h_2; \quad (3.5)$$

де L – довжина ланок паралелограмної навіски (відстань між точками A і A_1 або B і B_1);

l_1 – відстань від точки A_1 до точки O_1 ;

l_2 – горизонтальна відстань від точки O до осі, що проходить через шарнір B ;

h_2 – вертикальна відстань від точки O до осі через точку B_1 .

Підставляючи (3.5) у рівняння (3.4), отримаємо:

$$l_{001} = \sqrt{(L - l_1 - l_{AB} \cdot \sin \alpha - l_2)^2 + (l_{AB} \cdot \cos \alpha + h_2)^2}. \quad (3.6)$$

З урахуванням конструктивних обмежень приймаємо такі значення параметрів:

$$L = 1075 \text{ мм}; \quad l_1 = 260 \text{ мм}; \quad l_2 = 325 \text{ мм}; \quad l_{AB} = 350 \text{ мм}; \quad h_2 = 85 \text{ мм}.$$

Початковий кут нахилу ланки приймається $\alpha = 30^\circ$.

Це значення забезпечує оптимальні кінематичні умови переміщення механізму.

Після підстановки отримуємо початкову довжину пружинного елемента:

$$l_{001n} = \sqrt{(1075 - 260 - 350 \cdot \sin 30^\circ - 325)^2 + (350 \cdot \cos 30^\circ + 85)^2} = 500 \text{ мм}.$$

Кут нахилу осі гвинта пружинного блоку в початковому положенні визначається:

$$\beta_n = \arcsin \frac{l_{окп}}{l_{олкп}} = \arcsin \frac{L - l_1 - l_{AB} \cdot \sin \alpha - l_2}{l_{AB} \cdot \cos \alpha + h_2}; \quad (3.7)$$

Після обчислень:

$$\beta_n = 54,25.$$

Далі визначаємо параметри при вертикальному переміщенні рами на величину $\Delta h = 0,1$ м.

Отже,

$$h_k = h_n - \Delta h; \quad (3.8)$$

Висота між рамами у верхньому положенні:

$$h_n = l_{AB} \cdot \cos \alpha_n = 0,350 \cdot \cos 30^\circ = 0,303 \text{ м};$$

У нижньому положенні

$$h_k = 0,303 - 0,1 = 0,203 \text{ м}.$$

Тоді матимемо:

Кут нахилу ланки в кінцевому положенні

$$\alpha_k = \arccos \frac{h_k}{l_{AB}} = \arccos \frac{0,203}{0,35} = 54,55^\circ;$$

Відповідно нова довжина пружини

$$\begin{aligned} l_{001n} &= \sqrt{(1075 - 260 - 350 \cdot \sin 54,55 - 325)^2 + (350 \cdot \cos 54,55 + 85)^2} = \\ &= 353,4 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Кінцевий кут нахилу осі гвинта

$$\beta_k = \arcsin \frac{1075 - 260 - 350 \cdot \sin 54,55 - 325}{350 \cdot \sin 54,55 + 85} = 45,3^\circ;$$

Отже, загальна деформація пружинного елемента визначається як

$$\Delta l_{\text{пруж}} = l_{\text{оо1н}} - l_{\text{оо1к}} = 500 - 353,4 = 146,56 \text{ мм.}$$

Отримане значення деформації свідчить про достатній робочий хід пружини, що забезпечує ефективне демпфування коливань та стабільну роботу культиваторної секції навіть при змінних навантаженнях. Застосування такої навіски відповідає сучасним вимогам до сільськогосподарських машин, оскільки дозволяє підвищити рівномірність обробітку ґрунту та зменшити енергетичні витрати агрегату.

3.3 Розрахунок пружинного блоку паралелограмної навіски

На даному етапі необхідно визначити сумарне зусилля, яке повинні створювати пружинні елементи навіски для забезпечення стабільного заглиблення робочих органів культиватора.

Момент, що виникає від дії сил опору ґрунту, визначається за залежністю

$$M_p = H_p \cdot P_{\text{заг}} \quad (3.9)$$

де $P_{\text{заг}}$ – результуюче тягове зусилля, необхідне для переміщення культиваторної секції.

Загальне зусилля визначається за формулою

$$P_{\text{заг}} = k \cdot a \cdot b \quad (3.10)$$

де $k=5,5$ кПа – питомий опір ґрунту;

$a=0,1$ м – глибина обробітку;

$b=1,2$ м – ширина захвату секції.

Після підстановки значень

$$P_{\text{заг}}=5500 \cdot 0,1 \cdot 1,2=660 \text{ Н}$$

Плече прикладання сили P_p визначається залежно від положення механізму

$$P_p = H - \frac{a}{2} + h_1 + l_{AB} \cdot \cos \alpha, \quad (3.11)$$

де H – відстань від носка лапи до осі рами;

h_1 – конструктивна висота;

l_{AB} – довжина ланки механізму.

Для початкового положення ($\alpha_n=30^\circ$):

$$P_{pн} = 0,405 - \frac{0,1}{2} + 0,175 + 0,35 \cdot \cos 30^\circ = 0,833 \text{ м};$$

Для кінцевого положення ($\alpha_k=54,55^\circ$):

$$P_{pk} = 0,405 - \frac{0,1}{2} + 0,175 + 0,35 \cdot \cos 54,55^\circ = 0,733 \text{ м}.$$

Відповідно моменти:

$$M_{pн} = 0,833 \cdot 660 = 550 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{pk} = 0,733 \cdot 660 = 484 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для визначення сили пружини використаємо рівняння моментів у вибраній системі координат

$$P_x \cdot l_{AB} \cdot \cos \alpha + P_y \cdot l_{AB} \cdot \sin \alpha = M_p;$$

$$\text{де: } P_x = P_{\text{пруж}} \cdot \cos \beta, \quad P_y = P_{\text{пруж}} \cdot \sin \beta;$$

Після перетворень отримуємо:

$$P_{\text{пруж}} \cdot \cos \beta \cdot l_{AB} \cdot \cos \alpha + P_{\text{пруж}} \cdot \sin \beta \cdot l_{AB} \cdot \sin \alpha = M_p;$$

$$P_{\text{пруж}} \cdot l_{AB} \cdot (\cos \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot \sin \alpha) = M_p;$$

$$P_{\text{пруж}} \cdot l_{AB} \cdot \cos(\beta - \alpha) = M_p$$

Звідси

$$P_{\text{пруж}} = \frac{M_p}{l_{AB} \cdot \cos(\beta - \alpha)} \quad (3.12)$$

Після обчислень:

$$P_{\text{пруж.п}} = \frac{550}{0,35 \cdot \cos(54,25 - 30)} = 1723,5 \text{ Н};$$

$$P_{\text{пруж.к}} = \frac{484}{0,35 \cdot \cos(45,3 - 54,55)} = 1401,07 \text{ Н};$$

Таким чином, при переміщенні рами вгору необхідне зусилля зменшується, тому для розрахунку приймаємо $P_{\text{пруж}} = 1725 \text{ Н}$.

У відповідності з [34, 37, 38], необхідно спроектувати блок пружини, які при початковій деформації створювали б зусилля 1725 Н.

Початкову деформацію приймаємо рівною 100 мм, а повна деформація - 150 мм.

Довжина пружини у стиснутому стані має становити 335мм, що відповідає вимогам компоновки паралелограмного механізму кріплення культиваторної секції.

Задаємося матеріалом пружини і вибираємо величину допустимих напружень.

Матеріал - сталевий вуглецевий пружинний дріт марки 50ХФА І класу за ДСТ 9389–75 для якої $[\tau]=450\text{Н/мм}^2$.

Діаметр дроту визначаємо з умови міцності.

$$\tau = k \frac{8p_{\text{пруж}} \cdot C}{\pi \cdot d} \leq [\tau] \quad (3.13)$$

де τ – розрахункове напруження в поперечному сеченні витка пружини, Н/мм^2 ;

k – коефіцієнт, що враховує вплив кривизни витків і поперечної сили

$$k \approx \frac{4C + 2}{4C - 2}, \quad (3.14)$$

де C – індекс пружини:

$$C = \frac{D_0}{d}, \quad (3.15)$$

де d – діаметр дроту пружини, мм;

D_0 – середній діаметр пружини, мм.

Оскільки ми використовуємо два пружинних блоки в кожному з яких буде передбачено дві пружини, які мають створювати однакове зусилля рівне

$$P_{\text{пружн2}} = P_{\text{пружн1}} = 431,25\text{Н}.$$

Для першої пружини $C_1=5,4$, а для другої $C_2=9,4$;

Тоді:

$$k_1 = \frac{4 \cdot 5,4 + 2}{4 \cdot 5,4 - 3} = 1,27;$$

$$k_2 = \frac{4 \cdot 9,4 + 2}{4 \cdot 9,4 - 3} = 1,14.$$

Звідси знайдемо діаметр дроту

$$d \geq \sqrt{\frac{k \cdot 8P_{\text{пружин}} \cdot C}{\pi \cdot [\tau]}} \quad (3.16)$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{127 \cdot 8 \cdot 431,25 \cdot 5,4}{3,14 \cdot 450}} = 4,09 \text{ мм};$$

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{1,14 \cdot 8 \cdot 431,25 \cdot 9,4}{3,14 \cdot 450}} = 4,95 \text{ мм}.$$

Приймаємо діаметр дроту для пружини рівним $d=5$ мм, однаковим для обох пружин.

$$\text{Тоді: } D_{01} = C_1 \cdot d = 5,4 \cdot 5 = 27 \text{ мм}; \quad D_{02} = 9,4 \cdot 5 = 47 \text{ мм}.$$

Визначаємо число робочих витків пружини

$$n = \frac{Gd^4 \cdot \Delta}{8 \cdot P_{\text{пружин}} \cdot D_0^3}; \quad (3.17)$$

де n – число робочих витків пружини.

G – модуль зсуву (для сталі даної марки $G=8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$)

Δ – робоча деформація пружини,

$$n_2 = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 5^4 \cdot 150}{8 \cdot 431,25 \cdot 47^3} = 31,3 \text{ витків};$$

$$n_1 = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 5^4 \cdot 150}{8 \cdot 431,25 \cdot 27^3} = 45,2 \text{ витків}.$$

Приймаємо для першої пружини $n_1=46$ витків, для другої $n_2=32$ витки, відповідно повне число витків, $n_{1\text{пов}}=48$, та $n_{2\text{пов}}=34$.

Визначаємо крок пружини

$$t_1 = d + \frac{\Delta}{n_1} + 0,1d = 5 + \frac{150}{46} + 0,1 \cdot 5 = 8,78 \text{ мм};$$

$$t_2 = d + \frac{\Delta}{n_2} + 0,1d = 5 + \frac{150}{32} + 0,1 \cdot 5 = 10,18 \text{ мм}.$$

Висота пружини за їх повного стиску, витків:

$$H_{31} = (n_1 - 0,5) \cdot d = (48 - 0,5) \cdot 5 = 237,5 \text{ мм};$$

$$H_{32} = (n_2 - 0,5) \cdot d = (34 - 0,5) \cdot 5 = 167,5 \text{ мм}.$$

Висновок.

Отримані параметри пружинного блоку забезпечують необхідне зусилля для стабільного заглиблення культиваторних лап у межах заданої глибини обробітку. Запропонована конструкція гарантує надійну роботу агрегату, ефективно демпфування навантажень і відповідає сучасним вимогам до ґрунтообробної техніки.

3.4 Розрахунок технологічної операції передпосівного обробітку ґрунту

Вихідними параметрами для виконання розрахунку процесу передпосівного обробітку є геометричні характеристики поля, рельєф місцевості, а також склад машинно-тракторного агрегату. Для розрахунків приймається ділянка розмірами 500 м у довжину та 400 м у ширину з ухилом місцевості $i=2\%$. Як базовий агрегат використовується трактор МТЗ-80 у поєднанні з удосконаленим комбінованим агрегатом типу РВК-3,6.

З огляду на те, що модернізований агрегат за основними експлуатаційними характеристиками близький до серійного аналога, базові розрахункові залежності залишаються незмінними.

Згідно з агротехнічними вимогами, робоча швидкість передпосівного обробітку повинна знаходитися в межах 6...10 км/год. Відповідно до тягової характеристики трактора МТЗ-80 вибираємо передачі:

З тягової характеристики трактора МТЗ-80 вибираємо передачі, які входять в даний інтервал швидкостей:

3 передача, $V_{p.н3} = 7,24 \text{ км/год} = 2,01 \text{ м/с}$;

4 передача, $V_{p.н4} = 8,9 \text{ км/год} = 2,47 \text{ м/с}$;

5 передача, $V_{p.н5} = 10,5 \text{ км/год} = 2,91 \text{ м/с}$.

Виберемо деякі характеристики трактора до розрахунку:

$P_{н.гак.3} = 14 \text{ кН}$;

$P_{н.гак.4} = 14 \text{ кН}$;

$P_{н.гак.5} = 11,5 \text{ кН}$.

Тоді сумарний опір агрегату становите

$$R_{аг} = R_{м} + G_{м} \cdot \frac{i}{100}, \quad (3.18)$$

де $R_{м}$ – опір машини, кН;

G_M – вага машини, кН;

i – нахил місцевості, %;

$$R_M = k_0(1 + (V_p - V_0) \frac{\Delta C}{100}) \cdot B_p; \quad (3.19)$$

де k_0 – питомий опір комбінованого агрегату при врахуванні швидкості $V_0 = 5 \text{ км/год} = 1,4 \text{ м/с}$, $k_0 = 1,5 \text{ кН/м}$;

V_p – робоча швидкість агрегату на вибраній передачі, м/с;

V_0 – значення швидкості руху, при якій визначаємо k_0 , $V_0 = 1,4 \text{ м/с}$;

ΔC – темп наростання тягового опору, $\Delta C = 3,5\%$;

B_p – робоча ширина захвату агрегату, м,

$$B_p = B_k \cdot \beta, \quad (3.20)$$

де B_k – конструктивна ширина захвату, $B_k = 3,6 \text{ м}$;

β – коефіцієнт використання ширини захвату, для комбінованих агрегатів та культиваторів для суцільного обробітку ґрунту, $\beta = 0,95$:

$$B_p = 3,6 \cdot 0,95 = 3,42 \text{ м.}$$

Розрахуємо опір агрегату для кожної з вибраних передач:

- на 3 – передачі:

$$R_{M3} = 1,5(1 + (2,01 - 1,4) \cdot \frac{3,5}{100}) \cdot 3,42 = 5,13 \text{ кН};$$

на 4 – передачі:

$$R_{M4} = 1,5(1 + (2,47 - 1,4) \cdot \frac{3,5}{100}) \cdot 3,42 = 5,32 \text{ кН};$$

на 5 – передачі;

$$R_{M5} = 1,5(1 + (2,91 - 1,4) \cdot \frac{3,5}{100}) \cdot 3,42 = 5,40 \text{ кН.}$$

Тоді загальний опір агрегату на вибраних передачах

$$R_{ар3} = 5,13 + 2,5 \cdot \frac{2}{100} = 5,18 \text{ кН};$$

$$R_{ар4} = 5,32 + 2,5 \cdot \frac{2}{100} = 5,32 \text{ кН};$$

$$R_{ар5} = 5,40 + 2,5 \cdot \frac{2}{100} = 5,45 \text{ кН}.$$

Аналіз тягової характеристики трактора МТЗ-80 свідчить про те, що на всіх робочих передачах величина тягового зусилля перевищує сумарний опір машинно-тракторного агрегату, тобто дотримується співвідношення $P_T > R_{ар}$. Це підтверджує можливість стабільної роботи агрегату в заданих умовах експлуатації.

Вибір оптимальної робочої передачі здійснюється з урахуванням двох основних критеріїв. По-перше, агрегат повинен забезпечувати якомога вищу робочу швидкість руху. По-друге, значення коефіцієнта використання тягового зусилля трактора має бути не меншим за 0,55, що характеризує раціональне завантаження енергетичного засобу.

Для обраних передач проводимо розрахунок коефіцієнта використання тягового зусилля трактора.

$$\xi_p = \frac{R}{P_{гак.н} - G \cdot \frac{i}{100}}, \quad (3.21)$$

де G – вага трактора, кН,

$$\xi_3 = \frac{5,18}{14 - 31,6 \cdot \frac{2}{100}} = 0,38;$$

$$\xi_4 = \frac{5,37}{14 - 31,6 \cdot \frac{2}{100}} = 0,40;$$

$$\xi_5 = \frac{5,45}{11,5 - 31,6 \cdot \frac{2}{100}} = 0,54.$$

Виходячи з даних розрахунків для трактора МТЗ-80 вибираємо п'яту передачу для якої $V_p=10,5$ км/год, ($V_p=2,91$ м/сек.); $P_{н.гак}=11,5$ кН; $N_{\xi.н} = 26,2$ кВт, а витрата палива на вибраній передачі $G=14,5$ кг/год.

Визначимо коефіцієнт використання номінальної потужності двигуна

$$\eta_{ед} = \frac{N_{гак}}{N_{ен}}, \quad (3.22)$$

де $N_{гак}$ – гакова потужність трактора кВт.

$$N_{гак} = \frac{R_{аз} \cdot V_p}{3,6} = \frac{5,45 \cdot 10,5}{3,6} = 15,89 \text{ кВт},$$

тоді

$$\eta_{ед} = \frac{15,89}{26,2} = 0,60.$$

Потужність двигуна використовується на 60%.

Визначимо показники роботи агрегату в полі.

Радіус повороту агрегату

$$R = R_0 \cdot k_k, \quad (3.23)$$

де R_0 – радіус повороту при швидкості руху 5 км/год; для причіпних і півначіпних машин $R_0 = 1,5V_p$;

k_k – коефіцієнт пропорційності, який враховує збільшення швидкості, для наших умов $k_k = 1,25$.

Тоді

$$R_0 = 3,42 \cdot 1,5 = 5,13 \text{ м};$$

$$R = 5,13 \cdot 1,25 = 6,41 \text{ м}.$$

Кінематична довжина агрегату l_k ;

$$l_k = l_{mp} + l_m, \quad (3.24)$$

де l_{mp} – кінематична довжина трактора, м;

l_m – кінематична довжина комбінованого агрегату м, $l_m = 3,95$ м; $l_{mp} = 3,81$ м;

$$l_k = 3,81 + 3,95 = 7,76 \text{ м}.$$

Кінематична ширина агрегату, м:

$$B_k = \frac{B_{az}}{2} = \frac{3,6}{2} = 1,8 \text{ м}. \quad (3.25)$$

Довжина виїзду агрегату, м:

$$l = 0,1 \cdot l_k = 0,1 \cdot 7,76 = 0,77 \text{ м}.$$

Приймаємо спосіб руху агрегату – човниковий, а тип повороту – грушоподібний.

Визначаємо мінімальну ширину поворотної смуги

$$E_{\text{мін}} = 1,1 \cdot R + l + d_k; \quad (3.26)$$

$$E_{\text{мін}} = 1,1 \cdot 6,41 + 0,77 + 1,8 = 9,62 \text{ м}.$$

З урахуванням конструктивних та технологічних особливостей функціонування агрегату приймаємо фактичне значення ширини поворотної смуги $E_\phi = 10$ м.

Визначимо робочу довжину поля.

$$l_p = l - 2 \cdot E_\phi, \quad (3.27)$$

де l – довжина поля, м.; $l = 500$ м;

$$l_p = 500 - 2 \cdot 10 = 480 \text{ м.}$$

Довжина холостого повороту

$$l_x = 5,5 \cdot R + 2 \cdot l = 5,5 \cdot 6,41 + 2 \cdot 0,77 = 36,79 \text{ м.}$$

Кількість робочих ходів n_p і холостих – n_x визначається з відношень:

$$n_p = \frac{C}{B_{az}}; \quad n_x = \frac{C}{B_{az}} - 1; \quad (3.28)$$

де C – ширина поля, м,

$$n_p = \frac{400}{3,42} = 116,95; \quad n_x = \frac{400}{3,42} - 1 = 115,95.$$

Приймаємо $n_p = 117$, а $n_x = 116$.

Коефіцієнт робочих ходів визначаємо за формулою:

$$\varphi = \frac{l_p \cdot n_p}{l_p \cdot n_p + l_x \cdot n_x} \cdot ; \quad (3.29)$$

$$\varphi = \frac{480 \cdot 117}{480 \cdot 117 + 36,79 \cdot 116} = 0,92.$$

Тривалість робочого циклу машинно-тракторного агрегату в межах

загінки визначається сукупністю часу виконання основних і допоміжних операцій:

$$t_u = t_{p,u} + t_{x,u} = \frac{2l_p}{V_p \cdot 60} + \frac{2l_x}{V_x \cdot 60}; \quad (3.30)$$

де $t_{p,u}$, $t_{x,u}$ – затрати часу за цикл відповідно на робочий хід та повороти, хв;

V_p – робоча швидкість руху агрегату, м/с;

V_x – швидкість руху агрегату на поворотах, м/с.

Приймаємо $V_x = 5 \text{ км/год} = 1,38 \text{ м/с}$,

$$t_u = \frac{2 \cdot 480}{2,91 \cdot 60} + \frac{2 \cdot 36,79}{1,38 \cdot 60} = 6,37 \text{ хв.}$$

Кількість робочих циклів, які виконує агрегат протягом однієї зміни, визначається співвідношенням тривалості зміни до часу одного повного циклу роботи.

$$n_u = \frac{T_{зм} - T_{nz} - T_{відп}}{t_u}, \quad (3.31)$$

де $T_{зм}$ – тривалість часу зміни, хв;

T_{nz} – підготовчо-заклучний час, хв;

$$T_{nz} = T_{cto} + T_{nn} + T_{nnk} + T_{нк}, \quad (3.32)$$

де T_{cto} – час на технічне обслуговування трактора і машини,
 $T_{cto} = 31 \text{ хв}$;

T_{nn} – час на підготовку агрегату до переїзду; $T_{nn} = 3 \text{ хв}$;

T_{nnk} – час на переїзди на початку і в кінці загінки, $T_{nnk} = 35 \text{ хв}$;

$T_{нк}$ – час на отримання завдання і здачі роботи, $T_{нк} = 10 \text{ хв}$.

$T_{відп}$ – час регламентованих внутрішньо-змінних перерв на відпочинок, $T_{відп} = 40 \text{ хв}$;

тоді

$$T_{nz} = 31 + 3 + 35 + 10 = 79 \text{ хв};$$

$$n_{\text{ц}} = \frac{420 - 79 - 40}{6,37} = 47,25 = 48.$$

Враховавши, що $T_{з,м} = 7 \text{ год} = 420 \text{ хв}$;

Чистий робочий час зміни характеризує тривалість безпосереднього виконання технологічного процесу агрегатом без урахування підготовчо-завершальних операцій, простоїв і часу на обслуговування.

$$T_p = t_{p\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} = 6,37 \cdot 48 = 305,8 \text{ хв}.$$

Дійсний час зміни:

$$T_{\text{сд}} = t_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} + T_{nz} + T_{\text{відн}} = 6,37 \cdot 48 + 79 + 40 = 424,76 \text{ хв}, = 7,07 \text{ год}.$$

Коефіцієнт використання часу зміни характеризує ефективність використання тривалості робочої зміни та визначається відношенням чистого робочого часу до загальної тривалості зміни.

$$\tau = \frac{T_p}{T_{\text{сд}}} = \frac{305,8}{424,7} = 0,720 \quad (3.33)$$

Змінна продуктивність агрегату визначається обсягом виконаної роботи за одну робочу зміну та залежить від робочої ширини захвату, швидкості руху агрегату і коефіцієнта використання часу зміни.

$$W_{з,м} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_p, \quad (3.34)$$

де B_p – робоча ширина захвату, м,

$$B_p = 3,42 \text{ м};$$

V_p – робоча швидкість, км/год,

$$V_p = 10,5 \text{ км/год};$$

T_p – робочий час зміни, год;

$$T_p = T_{зм} \cdot \tau, \text{ год.} \quad (3.35)$$

Отже:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot 3,42 \cdot 10,5 \cdot 7 \cdot 0,720 = 18,09 \text{ га/зм.}$$

Продуктивність агрегату за годину чистого часу характеризує обсяг роботи, виконаний агрегатом протягом однієї години безпосереднього виконання технологічного процесу без урахування втрат часу на допоміжні операції та простої.

$$W_{\text{год.ч}} = \frac{W_{зм}}{T_p} = \frac{18,09}{5,09} = 3,55 \text{ га/год.}$$

Продуктивність за годину змінного часу

$$W_{\text{год.з}} = \frac{W_{зм}}{T_{зм}} = \frac{18,09}{7} = 2,58 \text{ га/год.}$$

За результатами виконаних розрахунків формується операційна карта виконання передпосівного обробітку ґрунту під цукрові буряки. Відповідні технологічна та операційна карти наведені на аркушах графічної частини проекту.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Небезпеки, що при виконанні передпосівного обробітку ґрунту

Передпосівний обробіток ґрунту є важливим етапом агротехнологічного процесу, який передбачає використання машинно-тракторних агрегатів, роботу в польових умовах і взаємодію людини з потенційно небезпечними виробничими факторами. В Україні питання безпеки праці під час виконання таких робіт регламентуються Законом України «Про охорону праці», Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві, ДСТУ та іншими нормативно-правовими актами, які визначають вимоги до організації безпечних умов праці.

Під час виконання передпосівного обробітку ґрунту на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори різної природи – механічні, фізичні, хімічні, психофізіологічні та інші. Найбільш поширеними є небезпеки, пов'язані з експлуатацією сільськогосподарської техніки.

Передусім, значну загрозу становлять механічні фактори. До них належать рухомі частини машин і агрегатів (культиваторів, борін, фрез, котків), робочі органи яких можуть спричинити травмування при безпосередньому контакті. Згідно з вимогами нормативних документів, обслуговування, ремонт та регулювання машин дозволяється проводити лише після їх повної зупинки та відключення двигуна. Особливу небезпеку становлять обертові елементи приводу, карданні вали, ланцюгові передачі, які можуть захопити одяг або частини тіла працівника. Крім того, під час роботи агрегатів можливе відлітання каміння та грудок ґрунту, що створює ризик травмування очей та відкритих частин тіла.

Суттєвим джерелом небезпеки є також транспортні ризики. Робота в полі передбачає постійне переміщення тракторів і агрегатів, що створює небезпеку наїзду на працівників, зіткнень між машинами або їх перекидання. Відповідно до вимог безпеки, особливу увагу необхідно приділяти роботі на схилах і

нерівних поверхнях, де існує підвищена ймовірність втрати стійкості техніки. Рух заднім ходом повинен виконуватися з дотриманням підвищених заходів обережності, а при необхідності – із залученням сигнальника.

Окрему групу становлять фізичні фактори виробничого середовища. Під час роботи машинно-тракторних агрегатів оператор піддається впливу підвищеного рівня шуму та вібрації, що може призводити до розвитку професійних захворювань, зокрема порушень слуху та захворювань опорно-рухового апарату. Вібрація передається через сидіння та органи керування трактора, що при тривалому впливі негативно позначається на здоров'ї працівника. Крім того, під час обробітку ґрунту утворюється значна кількість пилу, який може містити мінеральні частинки, органічні залишки та мікроорганізми. Вдихання такого пилу спричиняє подразнення органів дихання та може бути причиною алергічних реакцій і професійних захворювань.

Не менш важливими є кліматичні умови, в яких виконуються роботи. Передпосівний обробіток ґрунту часто проводиться у весняний або літній період, коли можливий вплив підвищених температур, сонячної радіації, вітру або опадів. Перегрів організму, зневоднення або переохолодження можуть негативно впливати на стан працівника, знижувати його працездатність і підвищувати ризик виникнення аварійних ситуацій.

Необхідно також враховувати пожежну небезпеку. Використання паливно-мастильних матеріалів, нагрівання двигунів, іскроутворення можуть стати причиною загоряння, особливо в умовах сухої погоди та наявності рослинних залишків. Тому техніка повинна бути оснащена справними засобами пожежогасіння, а працівники – навчені правилам їх використання.

Психофізіологічні фактори також відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки праці. Тривала робота в полі, монотонність виконуваних операцій, підвищена відповідальність за керування технікою призводять до втоми, зниження уваги та реакції оператора. Це, у свою чергу, підвищує ймовірність помилок та травматизму. Відповідно до вимог охорони праці, необхідно забезпечувати раціональний режим праці та відпочинку, а також проходження

працівниками інструктажів і медичних оглядів.

Таким чином, передпосівний обробіток ґрунту є процесом, що супроводжується комплексом небезпечних і шкідливих факторів. Їх наявність зумовлює необхідність суворого дотримання вимог нормативно-правових актів України з охорони праці, застосування засобів індивідуального та колективного захисту, а також належної організації виробничого процесу. Лише системний підхід до управління безпекою дозволяє знизити ризик травматизму та забезпечити безпечні умови праці для працівників сільськогосподарського виробництва.

4.2 Заходи охорони праці при виконанні передпосівного обробітку ґрунту

Безпечне виконання передпосівного обробітку ґрунту забезпечується комплексом організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, передбачених Законом України «Про охорону праці», Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві та іншими нормативно-правовими актами. Дотримання цих вимог є обов'язковим для всіх працівників, які залучені до виконання польових робіт.

Першочерговим заходом є належна організація робіт. До виконання передпосівного обробітку допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці, стажування та перевірку знань. Працівники повинні мати відповідну кваліфікацію та медичний допуск до виконання робіт. Перед початком роботи проводиться цільовий інструктаж з урахуванням конкретних умов виконання завдання, рельєфу місцевості та технічного стану машинно-тракторного агрегату.

Важливе значення має технічний стан машин і обладнання. Усі трактори, ґрунтообробні агрегати (культиватори, борони, котки тощо) повинні бути справними, укомплектованими захисними кожухами і огороженнями

небезпечних рухомих частин. Забороняється експлуатація техніки з несправними гальмами, рульовим керуванням, освітленням або сигналізацією. Перед початком роботи необхідно перевірити надійність з'єднання причіпних і навісних знарядь, справність гідросистеми та відсутність витоків пально-мастильних матеріалів.

Під час виконання робіт оператор зобов'язаний суворо дотримуватися правил безпечної експлуатації техніки. Запуск двигуна здійснюється лише з робочого місця тракториста при вимкненій передачі. Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи агрегату. Під час руху техніки необхідно дотримуватися безпечної швидкості, особливо на поворотах, схилах і нерівностях. Робота на схилах повинна виконуватися відповідно до допустимих кутів нахилу, визначених технічною документацією. При русі заднім ходом необхідно переконатися у відсутності людей та перешкод, а за потреби залучати сигнальника.

Особлива увага приділяється безпеці при обслуговуванні та ремонті машин. Усі регулювальні, ремонтні та очищувальні роботи дозволяється виконувати лише після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна і відключення приводу. Підняті робочі органи повинні бути надійно зафіксовані, щоб запобігти їх самовільному опусканню. Забороняється використовувати несправний інструмент або працювати без належного освітлення.

Для зменшення впливу фізичних факторів необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям, захисними окулярами, рукавицями, а в умовах підвищеної запиленості – респіраторами. Для зниження впливу шуму та вібрації рекомендується використовувати протишумові навушники або вкладки, а також техніку з амортизованими сидіннями та сучасними системами гасіння вібрації.

З метою запобігання впливу шкідливих речовин слід уникати контакту з ґрунтом, забрудненим агрохімікатами, а також із паливно-мастильними матеріалами. Робота з такими речовинами повинна проводитися із

дотриманням санітарно-гігієнічних вимог. Після завершення роботи працівники повинні ретельно мити руки та обличчя, а при необхідності – приймати душ. Забороняється приймати їжу або курити під час роботи в запиленій зоні або при контакті з хімічними речовинами.

Для забезпечення пожежної безпеки всі машини повинні бути обладнані справними вогнегасниками. Не допускається заправка техніки паливом при працюючому двигуні або поблизу джерел відкритого вогню. У польових умовах слід уникати накопичення сухих рослинних залишків на елементах машин, особливо поблизу двигуна і вихлопної системи. У разі виникнення пожежі працівники повинні діяти відповідно до інструкцій та негайно повідомити пожежну службу.

Організація режиму праці та відпочинку також є важливим заходом охорони праці. Тривала безперервна робота за кермом техніки призводить до втоми та зниження уваги, тому необхідно передбачати перерви для відпочинку. Робоче місце тракториста повинно бути ергономічно організованим, а кабіна – обладнана системами вентиляції або кондиціонування.

Таким чином, дотримання комплексу заходів охорони праці під час передпосівного обробітку ґрунту дозволяє мінімізувати ризики виробничого травматизму та забезпечити безпечні умови праці. Важливу роль при цьому відіграє не лише технічне оснащення, але й дисципліна працівників, їх обізнаність з вимогами безпеки та відповідальне ставлення до виконання своїх обов'язків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі встановлено, що застосування інтенсивної технології вирощування цукрових буряків із використанням сучасного машинно-тракторного парку забезпечує можливість отримання врожайності на рівні до 380 ц/га, що відповідає реальним виробничим умовам господарства.

Доведено, що використання комбінованого агрегату для передпосівного обробітку ґрунту дозволяє виконувати кілька технологічних операцій за один прохід, зменшуючи кількість проходів техніки по полю щонайменше у 1,5–2 рази, що сприяє зниженню ущільнення ґрунту та економії пального.

У результаті модернізації агрегату встановлено його оптимальні технологічні параметри: робоча ширина захвату становить 3,42 м, номінальна конструктивна – 3,6 м, при коефіцієнті використання ширини 0,95.

Обґрунтовано, що раціональний режим роботи агрегату досягається на 5-й передачі трактора МТЗ-80 при робочій швидкості 10,5 км/год (2,91 м/с), за якої забезпечується стабільність технологічного процесу та оптимальне використання потужності двигуна (близько 60 %).

Визначено, що сумарний тяговий опір агрегату становить до 5,45 кН, що не перевищує тягові можливості трактора МТЗ-80, отже агрегат працює в раціональному тяговому режимі без перевантаження енергетичного засобу.

Розрахунки показали, що продуктивність агрегату становить 18,09 га за зміну, при цьому коефіцієнт використання часу зміни дорівнює 0,72, а тривалість ефективної роботи за зміну – близько 7,07 год.

Конструктивне вдосконалення культиваційного вузла забезпечує стабільну глибину обробітку в межах 0,07–0,10 м, що відповідає агротехнічним вимогам підготовки посівного шару для цукрових буряків.

Встановлено, що використання модернізованого агрегату забезпечує формування дрібногрудкуватої структури ґрунту, покращення вирівнювання поверхні поля та підвищення рівномірності сходів, що в комплексі сприяє зростанню врожайності культури.

Запропонований комплекс машин (трактори Т-150, МТЗ-80, ЮМЗ-6Л, Т-25А та спеціалізовані агрегати) повністю забезпечує виконання технологічних операцій на площі близько 50 га у встановлені агротехнічні строки.

Розроблені заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності дозволяють зменшити виробничі ризики, пов'язані з механічними, транспортними та хімічними факторами, забезпечуючи безпечні умови експлуатації техніки.

Отже, впровадження удосконаленої технології та модернізованого комбінованого агрегату дозволяє підвищити техніко-економічну ефективність виробництва цукрових буряків, знизити енерговитрати та покращити якість передпосівного обробітку ґрунту.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreikiv O.E., Babii A.V., Dolinska I.Ya., and Matviiv Yu.Ya. Determination of the Residual Life of the Spraying Boom of a Field Sprinkler in the Maneuvering Loading Mode. *Materials Science*. Vol. 56. No. 1, July, 2020. P. 112–118.
2. Andreikiv, O.Y., Dolinska, I.Y., Babii, A.V. et al. Residual life of the folded bimetal plate taking into account degradation of materials at high temperature and under long-term loading. *Mater Sci* 60, 650–656 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11003-025-00932-9>.
3. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I.,Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, P. 36-42. (ISSN 24523216, DOI 10.1016/j.prostr.2021.12.080).
4. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity*. No 36, 2022. 203-210.
5. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
6. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
7. Babii A., Babii M. Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
8. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
9. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 118, no 2, 2025. Pp.

117–127. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.02.117.

10. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer application during potato planting. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 120, no 4, 2025. Pp. 10–20. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010.

11. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. Vol. 10(41)_I, 2024. P. 200-212. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.200-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.200-212).

12. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 116, no 4, 2024. Pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.

13. Babii A., Levytskyi B. Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 115. no 3, 2024. Pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.

14. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.

15. Babii A., Vovk I. Mathematical model of contact interaction between a rotating working body and plant stems for their shredding. *Engineering, Energy, Transport AIC. Scientific journals of Vinnitsa national agrarian university*. Vol. 103, № 3. 2025. P. 99-106. DOI: 10.37128/2520-6168-2025-3-11 .

16. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, 2022. Pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.

17. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ihor Tkachenko, Mykola Stashkiv, Andrii Babii, Maria Pankiv, Zhanna Babiak, Alexander Marunych, Oleg Lakh, Artur Starikh.

Investigation of the bulk material movement kinematics in conical screw conveyor. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 74, 2024. No. 3. pp. 732-744.

18. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. Materials Science, 2021, 56(4), P. 466–471.

19. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористуванн*, 2019. №3 (13) С. 87–91.

20. Бабій А., Вовк І., Гладь Ю. Багатофункціональний ротаційний робочий орган. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С.6-8.

21. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.

22. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

23. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проектування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

24. Бабій А.В., Вовк І.В. Дослідження енергетичних показників при подрібненні рослин бильними робочими органами. Центральнуукраїнський

науковий вісник. Технічні науки. Вип. 14 (45), 2026. С.77-86.
[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).77-86](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).77-86)

25. Бабій А.В., Вовк І.В., Гладь Ю.Б., Валяшек В.Б. Ротаційний робочий орган. Патент на корисну модель 160845, Україна. МПК (2025.01) А01В 33/00. u 2025 00186; заявл. 16.01.2025; опубл. 5.10.2025, Бюл.№ 42.

26. Бабій А.В., Вовк І.В., Бабій В.А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 9-10.

27. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

28. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54.

29. Вовк І., Бабій В., Бубняк Р. Переваги використання багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С.28-29.

30. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих

учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

31. Вовк І.В., Бабій А.В., Малевич Н.Ю., Новацький П.І. Обґрунтування частоти обертання вала ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.80-81.

32. Вовк І.В., Бойко В.В., Бабій А.В., Дем'янчук А.В. Критерії руйнування стебел рослин билом мульчувача при підготовці поля до збирання. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.61-63.

33. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні : монографія / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Р. М. Рогатинський, С. В. Синій та ін. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2020. 216 с.

34. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

35. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

36. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

37. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

38. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин.

К.: Вища шк., 1993. 556 с.

39. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

40. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

41. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

42. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.

43. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Сташків М.Я., Бабій А.В., Довбуш Т.А. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н. І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.