

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення експлуатаційних характеристик агрегату для
підживлення у садах з удосконаленням гідравлічного начіпного пристрою

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи МГм
спеціальності

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Івачевська С.Т.

(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 магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Івачевській Софії Тарасівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення експлуатаційних характеристик агрегату для підживлення у садах з удосконаленням гідравлічного начіпного пристрою

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

Затверджені наказом ректора від «14» 11 2025 року № 4/7-969

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

Продуктивність машини за годину основного часу 2-4 га/год;

робоча швидкість на основних операціях 2,5-5 км/год;

робоча ширина захвату 4-8 м; величина сили тягового опору 3500 Н;

максимальне зусилля на штоці гідроциліндра 78000 Н.

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

Вступ. 1. Загально-технічний розділ. 2. Аналітико-дослідницький розділ.

3. Прєктно-рекомендаційний розділ.

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Підживлювач садовий МГУС-2,5; Розрахункові схеми; Навіска. СК; Маточина. СК; Робоча секція. СК; Рама. СК; Голка; Деталювання; Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Загально-технічний розділ	21.11.25	
2.	Аналітико-дослідницький розділ	28.11.25	
3.	Проектно-рекомендаційний розділ	10.12.25	
4.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	14.12.25	
5.	Загальні висновки	15.12.25	
6.	Графічна частина	19.12.25	

Студент

_____ (підпис)

Івачевська С.Т.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабій А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Реферат

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності підкореневого підживлення плодових культур у садах Лісостепової зони України шляхом обґрунтування технологічних параметрів і вдосконалення роботи машин для глибокого внесення рідких мінеральних добрив. Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено аналіз природно-кліматичних умов ведення садівництва, узагальнення сучасних інтенсивних технологій вирощування плодових культур, дослідження існуючих засобів для ґрунтового внесення рідких добрив, аналіз конструкції підживлювача МГУС-2,5 та виконання інженерних розрахунків його основних вузлів у різних режимах експлуатації.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механізованого підкореневого внесення рідких мінеральних добрив у садах різного типу та віку насаджень.

Предметом дослідження є конструктивні, силові та експлуатаційні параметри робочих органів і вузлів підживлювача для глибокого внесення рідких добрив, зокрема голчастих коліс і зварних з'єднань, а також умови їх роботи в ґрунті.

Наукова цінність роботи полягає в уточненні закономірностей взаємодії робочих органів підживлювача з ґрунтом під час глибокого внесення рідких добрив, а також у визначенні навантажень, що виникають у нетипових режимах експлуатації. Отримані аналітичні залежності та розрахункові результати розширюють наукові уявлення про роботу машин для підкореневого живлення плодових культур.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення конструкції підживлювача МГУС-2,5, підвищення його надійності та довговічності в умовах реальної експлуатації. Запропоновані рекомендації можуть бути використані при проєктуванні, модернізації та технічному обслуговуванні машин для внесення рідких мінеральних добрив у садівництві, а також у навчальному процесі закладів вищої аграрної освіти.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, використаної літератури та додатків.

Ключові слова. Підкореневе підживлення, добрива, напруження ін'єкційне внесення.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Аналіз ефективності ведення садового господарства в зоні Лісостепу	11
1.2 Обґрунтування основних аспектів інтенсивних технологій вирощування плодових культур	23
1.3 Аналіз існуючих технологій та засобів для ґрунтового внесення рідких добрив	28
2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	33
2.1 Короткі відомості про базову конструкцію підживлювача	33
2.2 Аналіз можливості внесення добрив на максимальну глибину підживлення.....	36
2.3 Визначення необхідного вертикального навантаження на голчасте колесо	40
3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	47
3.1 Розрахунок зварного з’єднання кріплення голки до маточини	47
3.2 Дослідження нетипового режиму при експлуатації голчастих коліс при підживленні	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.1 Розробка заходів з охорони праці при прикореневому внесенні рідких добрив підживлювачами у садах	57
4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при прикореневому внесенні рідких добрив у садах	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

ВСТУП

Сучасне садівництво в Україні перебуває на етапі глибокої технологічної трансформації, що зумовлено зростанням вимог до ефективності виробництва, підвищенням вартості матеріально-технічних ресурсів та необхідністю забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світових ринках. Одним із ключових напрямів підвищення продуктивності та стабільності плодоношення є оптимізація мінерального живлення плодових культур. За умов інтенсифікації виробництва, збільшення навантаження на ґрунтові ресурси та зміни кліматичних параметрів саме підкореневе підживлення набуває особливої значущості, оскільки забезпечує точну доставку поживних речовин у зону активного функціонування кореневої системи.

З огляду на те, що традиційні ручні методи внесення добрив характеризуються низькою рівномірністю, значними втратами елементів живлення та високими затратами праці, у садівництві зростає потреба у переході до механізованого підживлення. Використання спеціалізованих машин і агрегатів дозволяє забезпечити контрольовану дозу внесення, дотримання необхідної глибини закладання добрив, рівномірний розподіл по площі саду та зменшення негативного впливу на довкілля. Таким чином, механізовані технології підкореневого внесення стають важливою складовою сучасних індустриальних систем вирощування плодово-ягідних культур.

Потреба в удосконаленні системи живлення садів зумовлена також біологічними особливостями плодових культур. Коренева система дерев характеризується складною конфігурацією та значною чутливістю до нестачі елементів живлення. Більшість коренів, що активно поглинають поживні речовини, розташовані на глибині до 40 см, де внесення гранульованих або рідких добрив має забезпечуватися з урахуванням мінімізації поверхневих втрат і рівномірного охоплення проєкції крони. Механізовані засоби внесення дозволяють не лише точно керувати глибиною та дозою, а й поєднувати процес живлення з іншими агротехнічними операціями, що суттєво підвищує загальну

ефективність виробничого процесу.

Економічні передумови також формують вимоги до впровадження механізованого підживлення. Збільшення площ інтенсивних садів, перехід до краплинного зрошення, впровадження систем точного землеробства вимагають відповідного технічного забезпечення, здатного працювати в умовах високої щільності посадки, вузьких міжрядь і різних ґрунтово-кліматичних умов. Машини для підкореневого внесення добрив стають ключовим елементом технологічного ланцюга, що дозволяє формувати стабільну урожайність, покращувати якість фруктів і водночас знижувати собівартість продукції. Механізоване підживлення сприяє зменшенню обсягів внесення мінеральних добрив без зниження ефективності живлення, оскільки важливим фактором є не кількість внесеного матеріалу, а точність його доставки в цільову зону.

Окрім економічних вигод, важливою складовою є екологічна безпека. Надмірне внесення добрив або їхній поверхневий розподіл призводить до забруднення ґрунтових вод нітратами, деградації структури ґрунту, зниження біологічної активності та погіршення загального стану агроєкосистеми. Механізовані технології підкореневого живлення, які передбачають локальне внесення добрив у ґрунт, дозволяють мінімізувати втрати азоту, фосфору та калію, знижуючи ризик їхнього вимивання та випаровування. Це відповідає сучасним вимогам до екологічно відповідального садівництва й сприяє впровадженню практик раціонального використання ресурсів.

Окрему увагу слід приділити технологічним аспектам організації механізованого підкореневого підживлення. Проектування, вибір та експлуатація машин для внесення мінеральних добрив потребують врахування ряду параметрів: густоти насадження, віку дерев, глибини залягання коренів, типу ґрунту та його механічного складу. Механізми має бути адаптовано до роботи як у молодих інтенсивних садах на карликових підщепах, так і у традиційних насадженнях зі значною площею міжрядь. Рівень технічної досконалості машин – точність дозування, стабільність роботи, зручність обслуговування – визначає ефективність усього процесу живлення.

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз ефективності ведення садового господарства в зоні Лісостепу

Вирощування плодових і ягідних культур у межах Лісостепової зони України ґрунтується на відповідності природних умов біологічним вимогам цих рослин. Визначальним критерієм для вибору територій під закладання садів і ягідників є зональне районування культур, яке дозволяє оцінити, наскільки конкретний регіон сприяє розкриттю їхнього потенціалу росту й плодоношення. Чим повніше культура реалізує свої фізіолого-біологічні можливості, тим вищими будуть показники урожайності, якості плодів та довговічності насаджень.

Кліматичні умови східної частини Лісостепу належать до помірно континентальних, що створює сприятливе середовище для розвитку більшості плодових порід. Середньорічна температура повітря утримується на рівні близько 7 °С. Зимові місяці характеризуються середніми температурами від –6,5 до –7,5 °С, а літні – приблизно +19...+20 °С. Екстремальні температури також демонструють широкий діапазон: узимку можливі зниження до –35 °С, тоді як у літній період максимуми можуть досягати +37 °С. Безморозний період триває в середньому 160–170 днів, що є важливим фактором для нормального проходження вегетації. Показник сумарної активної температури наближається до 2600 °С, а кількість днів із середньодобовою температурою понад 15 °С становить 110–120, що забезпечує достатню теплоенергію для формування врожаю.

Річна кількість опадів у цьому регіоні становить близько 500 мм, і значна їх частина – приблизно 300–325 мм – припадає на вегетаційний період. Проте характер зволоження території є нерівномірним: північно-західні райони мають стабільніше надходження вологи та належать до зони достатнього зволоження, тоді як південно-східні території характеризуються періодичними дефіцитами вологи та відносяться до районів нестійкого зволоження. Такі коливання у

водному режимі потребують врахування при виборі сортів і плануванні агротехнічних заходів.

Ґрунтовий покрив східного Лісостепу представлений переважно різновидами чорноземів, які відрізняються за ступенем гумусованості та механічним складом. Найчастіше трапляються малогумусні й слабогумусовані чорноземи, а також більш продуктивні середньогумусні ґрунти значної глибини. За гранулометричним складом територія характеризується різноманітністю – від легкосуглинкових до важкосуглинкових ґрунтів, у яких вміст гумусу становить у середньому близько 3,5 %. Поруч із чорноземами поширені й світло-сірі та сірі опідзолені ґрунти, де гумусний горизонт сягає приблизно 30 см, а вміст гумусу коливається в межах 1,2–2,0 %. Такі ґрунти є менш родючими, тому вимагають підвищеної уваги до систем удобрення та поліпшення структури.

Ґрунтово-кліматичні умови східної частини Лісостепу загалом добре відповідають біологічним потребам таких плодових культур, як яблуня, груша, слива, алича, смородина, агрус, малина та суниця. Ці рослини здатні повноцінно розвиватися за наявних показників теплового режиму, вологості й родючості ґрунтів. Разом з тим черешня у цій зоні має обмежені можливості для стабільного плодоношення. Лише ранньостиглі сорти можуть успішно рости в південних районах східного Лісостепу, де сума активних температур перевищує 26 °С, що забезпечує достатню кількість тепла для формування врожаю.

Західна частина Лісостепу характеризується також помірно континентальним кліматом, однак у порівнянні зі східною зоною тут відчутно тепліше та вологіше. Така комбінація кліматичних чинників створює значно сприятливіші умови для комерційного садівництва та ягідництва. Територія поділяється на дві підзони – правобережну та західну, для яких характерні свої особливості теплового та водного режиму.

У правобережній підзоні середньорічна температура повітря становить 6,6–8,0 °С, тоді як у західній коливається в межах 7,0–7,5 °С. Зимові

температури в обох підзонах подібні й сягають у середньому $-6...-6,5$ °C. Літній період дещо відрізняється: у правобережній частині середня температура липня становить $18-19$ °C, а в західній – на $1-1,5$ °C нижча. Мінімальні зимові температури тут також більш м'які: близько -25 °C у правобережній та $-23...-24$ °C у західній підзоні. Абсолютні температурні межі становлять $-33...-36$ °C мінімуму і $+35...+36$ °C максимуму. Сума активних температур сягає $2600-2800$ °C у правобережній частині й $2800-3000$ °C у західній, а кількість днів із температурою вище 15 °C становить відповідно $105-115$ та $110-120$.

Опади розподілені нерівномірно: у правобережній підзоні їх випадає $525-550$ мм за рік, з них $350-400$ мм – у період активної вегетації. У західній частині ці показники на $10-12$ % вищі, що свідчить про кращі умови зволоження, особливо важливі для ягідних культур.

Ґрунтовий покрив західного Лісостепу вирізняється значною різноманітністю. Найпоширеніші світло-сірі, сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти, які мають потужний гумусовий горизонт завтовшки $25-70$ см та вміст гумусу на рівні $1,2-2,4$ %. Значні площі займають і опідзолені або реградовані чорноземи середньо- та важкосуглинкового механічного складу, що вирізняються підвищеною родючістю й хорошими фізичними властивостями.

Гармонійне поєднання порівняно м'якого теплового режиму, достатнього зволоження та родючих ґрунтів роблять західний Лісостеп особливо перспективним для вирощування широкого набору плодових культур. Тут успішно розвиваються насадження яблуні, груші, сливи, вишні, волоського горіха, а в південній частині – й черешні. Саме ця зона вважається найкращою для промислового виробництва ягід – малини, смородини, суниці та інших дрібноплідних культур. Останнім часом здійснюється поглиблене дослідження потенціалу різних регіонів України для уточнення зон найвищої ефективності вирощування окремих порід і сортів.

Питання підбору порід та сортів для насаджень має принципове значення. Оскільки Лісостеп у цілому характеризується сприятливими умовами для розвитку плодових і ягідних культур, особливо важливим є правильний

розподіл культур у межах регіону та вибір високопродуктивних сортів, які здатні максимально адаптуватися до місцевих природних чинників. Грамотне зонування та сортооновлення дозволяють не лише підвищити врожайність, а й отримувати високоякісну, конкурентоспроможну продукцію, яка відповідає сучасним вимогам ринку.

Сучасна концепція розвитку садівництва в Україні визначає орієнтовну структуру насаджень плодових, горіхоплідних і ягідних культур, яка має забезпечити оптимальні пропорції між різними видами продукції. Згідно з цією моделлю, домінуючими залишаються плодові та горіхоплідні культури, частка яких передбачається на рівні понад 82%, тоді як ягідні насадження повинні становити близько 17,7%. У середині цієї структури найбільшу роль відіграють зерняткові породи – понад половину всіх площ (55,6%), причому провідною залишається яблуня, що охоплює майже дев'ять десятих усіх насаджень цієї групи. Значно менше місця займають груша та айва. Кісточкові породи становлять чверть загальної структури, серед яких першість належить вишні та сливі, тоді як черешня, абрикоса та персик мають скромніші площі. Горіхоплідні культури відіграють відносно невелику, але стабільну роль (2,2%). У групі ягідників провідне місце традиційно займає суниця – понад 70%, тоді як смородина, агрус і малина мають суттєво менші частки.

Запропоноване співвідношення порід базується на поєднанні кількох ключових факторів: природної придатності регіонів до вирощування певних культур, економічних особливостей територій, транспортної доступності до промислових центрів, потреб переробних підприємств та призначення продукції. Також важливим чинником виступає наявність сортів, придатних для інтенсивного промислового садівництва.

Історичні рекомендації щодо породної структури підтверджують важливість адаптації насаджень до конкретних регіональних умов. Так, ще у 1960-х роках для Вінницької області – однієї з найсприятливіших територій для садівництва – пропонувалося відводити під плодові культури до 95% площ, залишаючи лише 5% під ягідники. При цьому яблуня мала займати понад

половину площ (56,5%), а груша, слива, вишня та черешня – значно менше, відповідно до їх біологічних вимог та економічної доцільності. У ягідних насадженнях наголошувалося на перевазі суниці та смородини, тоді як малина, агрус і порічки займали незначні площі.

Однак із часом структура насаджень зазнала суттєвих змін під впливом ринкової кон'юнктури, зміни споживчих вподобань і розвитку технологій вирощування та зберігання продукції. За даними перепису плодових насаджень 1998 року, у Вінницькій області частка плодових і горіхоплідних культур зросла до 97%, тоді як ягідники скоротилися до 3%. Водночас структура ягідних культур у регіоні стала більш різноманітною: суниця займає близько 23%, малина – понад третину площ, смородина й порічки – майже чверть, решта припадає на агрус та інші культури.

У Сумській області, природні умови якої особливо сприятливі для розвитку ягідництва, рекомендоване співвідношення порід суттєво відрізняється. Тут частка ягідних культур у структурі насаджень є вищою, що відповідає природному потенціалу регіону. Рекомендована структура включає 11% ягідників, у яких домінує суниця (50%) і смородина (35%). Реальний стан насаджень підтверджує цю тенденцію: на ягідники припадає близько 6% усіх площ, а найбільше – під суницею та смородиною. Малинники займають майже п'яту частину, тоді як агрус представлений мінімально.

Загалом Лісостеп залишається провідним регіоном України у сфері садівництва. Саме тут зосереджено приблизно 40% площ зерняткових насаджень країни, близько чверті насаджень кісточкових культур і майже 40% ягідників. Половина яблуневих садів України та майже половина промислових насаджень суниці також припадає на цю зону. Значні масштаби мають площі малини, смородини й агрусу, що свідчить про високу спеціалізацію Лісостепу в галузі плодово-ягідного виробництва.

Сучасні наукові напрацювання, присвячені визначенню оптимальних зон для вирощування плодових культур на території України, свідчать, що саме Лісостепова зона є найбільш придатною для формування потужної бази

товарного садівництва, зокрема для яблуневих насаджень. Аналіз результатів, отриманих М. Ю. Гуциним та О. М. Шестопалем, показує, що окремі підзони Лісостепу мають власну спеціалізацію: у Наддністрянському регіоні найкраще проявляють себе грушеві сади, черешневі насадження та плантації волоського горіха; західна частина Лісостепу вирізняється сприятливими умовами для вирощування сливи та більшості ягідних культур; східна ж частина характеризується найкращими показниками для промислового вирощування вишні. Результати досліджень М. О. Бублика підтверджують доцільність концентрації значної частки українських насаджень кісточкових культур саме в цій кліматичній зоні: близько 15% загальної площі черешневих садів, 30% – вишневих та майже 40% – сливових насаджень.

Реалізація державної політики відродження садівництва, що передбачена відповідною програмою, відбувається шляхом створення нових інтенсивних садів і ягідників у регіонах з найбільш оптимальними природними умовами. Для цього використовується сучасний сортовий матеріал, здатний забезпечити конкурентоспроможність продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Появі таких насаджень передувала тривала селекційна робота, під час якої було створено та всебічно випробувано широку гаму нових сортів – як вітчизняної, так і зарубіжної селекції. Значна частина цих сортів демонструє високий біологічний потенціал і відповідає вимогам сучасного інтенсивного садівництва.

У результаті багаторічних досліджень до сучасного «Реєстру сортів рослин України» включено сорти, що поєднують комплекс цінних господарських ознак: імунітет або підвищену стійкість до найпоширеніших грибних хвороб, толерантність до шкідників, високу морозо- і посухостійкість, скороплідність, стабільну врожайність та відмінні смакові й товарні характеристики плодів. Особливо динамічним було оновлення сортів, рекомендованих для Лісостепу, де кліматичні умови максимально сприяють повному розкриттю потенціалу інтенсивних плодових культур. Так, серед 22 сортів яблуні, занесених до Реєстру в 1992–2002 рр., понад половину

рекомендовано саме для Лісостепової зони. Подібна ситуація спостерігається й щодо інших культур: з 26 нових сортів груші 19 призначені для вирощування в цій зоні; зі списку сортів суниці оптимальними для Лісостепу визначено шість із восьми; аналогічні пропорції характерні для малини та смородини.

Поєднання районованих сортів та перспективних новинок, частка яких у загальній структурі насаджень становить 15–20%, забезпечує можливість безперебійного надходження на ринок широкого асортименту плодово-ягідної продукції протягом року. Таке різноманіття дозволяє рівномірно завантажувати переробні підприємства, підтримувати стабільність постачання продукції для свіжого споживання, консервування й промислової переробки. У підсумку сучасний сортовий склад садів Лісостепу здатний повною мірою задовольнити як потреби внутрішнього ринку, так і вимоги зовнішніх споживачів, що робить цю зону ключовою для подальшого розвитку українського садівництва.

Забезпечення українського ринку якісними та конкурентоспроможними плодами яблуні можливе лише за умови широкого впровадження в насадження центрального й західного Лісостепу сучасних сортів, як вітчизняної, так і зарубіжної селекції. Вони вирізняються не лише високими товарними характеристиками та привабливим смаком, а й значною адаптивністю до кліматичних умов цієї природної зони. Тривалі багаторічні дослідження селекціонерів і спеціалістів у галузі сортознавства дали змогу визначити групу сортів, що найефективніше реалізують свій потенціал у Лісостепу. До них належать Аскольда, Амулет, Гала Маст, Глостер, Джонаголд, Деліція, Катерина, Каразинське, Мавка, Мелроуз, Радогость, Теремок, Едера та інші. У молодих інтенсивних садах віком 4–8 років ці сорти демонструють урожайність на рівні 22–60 т/га, а дегустаційна оцінка їхньої продукції складає 4,4–4,9 бала. Такі дані підтверджені дослідженнями В. П. Копаня, О. П. Довбиша та Т. Є. Кондратенко.

Окреме місце серед перспективних для Лісостепу сортів займають імунні форми яблуні, стійкі до ураження паршею. Випробування, проведені в умовах України, показали, що ці сорти не поступаються традиційним районованим

формам за скороплідністю, врожайністю, регулярністю плодоношення та здатністю витримувати несприятливі чинники зовнішнього середовища. Однією з їхніх ключових переваг є значне скорочення потреби в обробках фунгіцидами, що дозволяє отримувати екологічно чистішу продукцію та зменшувати витрати на захист рослин у 1,6–1,7 рази. До групи найперспективніших сортів цього напрямку віднесено інтродуковані Флоріна, Ліберті, Пріам, Фрідом, Імрус, Редфрі, а також українські Амулет, Перлина Києва, Едера.

За висновками Т. Є. Кондратенка, при закладанні нових інтенсивних яблуневих садів у Лісостеповій зоні доцільно використовувати обмежений набір – не більше 15 найбільш цінних сортів, здатних забезпечити високу рентабельність промислового садівництва.

Щодо груші, то більшість старих насаджень у Лісостепу представлена відомими закордонними сортами, такими як Улюблена Клаппа, Вільямс літній, Бере Боск, Кюре, Бере Арданпон, Парижанка, Пас–Крассан. Попри їхню популярність у минулому, ці сорти мають низку істотних недоліків – недостатню зимостійкість, високу вибагливість до умов вирощування та певні складнощі під час збирання, транспортування й зберігання плодів. Успіхи української селекції останніх років суттєво покращили ситуацію. Нові сорти, серед яких Вижниця, Бере київська, Золотоворітська, Стрийська, Яблунівська, Малевчанка, Артемівська зимова та Етюд, за більшістю господарсько цінних ознак не поступаються кращим світовим аналогам, що дозволило значно оновити структуру сучасних інтенсивних грушевих садів Лісостепу.

Нові насадження формують переважно з літніх сортів Вільямс, Улюблена Клаппа, Корсунська, Старкримсон; осінніх – Вижниця, Таврійська, Крупноплідна, Конференція, Улюблена осіння, Крапчаста, Десертна; зимових – Бере київська, Деканка краснокутська, Вітчизняна, Золотоворітська, Кюре, Артемівська зимова. Для всіх цих сортів характерні скороплідність, висока врожайність, стійкість до важливих хвороб, зимостійкість і добра придатність до вирощування в інтенсивних садах.

Промислові насадження сливи у Лісостепу зосереджені переважно у Вінницькій, Хмельницькій, Чернівецькій, Київській, Черкаській та Харківській областях. Традиційно в цих регіонах вирощують сорти Угорка звичайна, Угорка італійська, Ганна Шпет, Ренклод Альтана. У господарствах із сучасними технологіями вирощування урожайність цих сортів досягає 13–15 т/га. За останні 15 років сортимент сливи в Лісостепу суттєво збільшився за рахунок інтродукованих сортів Валор, Чачакська найкраща, Стенлі.

Помітне місце посідають і українські сорти – Волошка, Ода, Ренклод Карбишева, Ренклод ранній. У найближчі роки очікується включення до промислового сортименту нових форм, створених у Мліївському інституті садівництва: Лагідна, Ненька, Окраска саду, Чарівниця осені. Плоди цих сортів вирізняються чудовими смаковими та товарними властивостями, універсальністю використання, а також високою придатністю для виготовлення чорносливу, джемів, варення, соків та компотів.

У невеликих масштабах у ряді областей Лісостепу вирощується й алича – культура, відома високою скороплідністю та здатністю стабільно формувати значні врожаї. Найбільш поширені інтродуковані сорти Кубанська комета, Обільні, Жемчужина, Путешественіца, Кремінь, Гек, а також вітчизняні сорти Артемівської дослідної станції – Дончанка рання, Найдьониш, Пламенна. У сприятливих умовах врожайність аличі може досягати 27–41 т/га.

Районований асортимент вишні, придатний для вирощування у Лісостепу, нині є досить обмеженим і включає всього шість сортів, сформованих ще понад п'ятнадцять років тому. У промисловому садівництві найчастіше зустрічаються Гуртівка, Гріот Подбільського, Тургенєвка та Норд Стар, які за умови якісного агротехнічного догляду дають урожайність на рівні 10–15 т/га. Проте такий асортимент уже не відповідає сучасним виробничим вимогам, адже більшість старих сортів відзначаються низкою недоліків, пов'язаних зі слабкою стійкістю до збудників хвороб, нестабільністю плодоношення та недостатньо високими споживчими властивостями плодів.

Ситуацію суттєво покращують новітні селекційні розробки Мліївського

інституту садівництва, які пропонуються до включення в оновлений «Реєстр сортів України». Серед перспективних розглядають ранні сорти Гномик і Жадана, середньостиглі – Мрія та Чудова, а також пізній сорт Вдача. Ці різновиди вигідно вирізняються високою зимостійкістю, підвищеною толерантністю до грибних інфекцій і стабільною врожайністю, а їхні плоди мають високі дегустаційні показники.

На відміну від вишні, сортимент черешні, рекомендований для Лісостепової зони, є значно ширшим – нині він налічує 31 сорт, що забезпечує потреби різних напрямів промислового садівництва. Переважна частина сортів належить до середнього строку досягання, однак у діючих насадженнях найпоширенішими залишаються Присадибна, Валерій Чкалов, Рання Дуки, а також Дончанка, Нектарна, Китаївська чорна, Францис і пізня Дрогана жовта.

Водночас у нових закладках частка ранньостиглих сортів невпинно зростає, адже саме рання продукція є економічно найбільш цінною та реалізується за найвищими ринковими цінами. Серед сортів, рекомендованих до включення в державний реєстр, особливу увагу привертають українські Валерія, Дарунок Млієва, Джерело, Жовта мліївська та Зразкова мліївська. Також високі результати демонструють інтродуковані ранні сорти Бурлат, Самміт, Санбурст, Кордія та Регіна, що характеризуються великоплідністю, гарним забарвленням, відмінним смаком і стійкістю до розтріскування.

Абрикос, культура теплолюбна та дуже чутлива до температурних контрастів у кінці зими, може стабільно плодоносити в умовах Лісостепу лише за наявності сортів зі стійкою реакцією на відлиги та добре вираженим періодом спокою. Найбільш адаптованими тут вважають сорти Ботсадівський, Колгоспний, Краснощокій, Пам'ять Кащенко, Поліський крупноплідний, Райдужний, Ветеран Севастополя та Київський Красень. У плодоносних насадженнях регіону переважають Поліський крупноплідний, Червонощокій, Присадибний та Колгоспний, але при створенні нових садів виробники частіше віддають перевагу Поліському крупноплідному, Київському Красеню, Ветерану Севастополя та Мелітопольському пізньому.

Персик, який до недавнього часу мав промислове значення лише в Наддністрянській частині Лісостепу, завдяки сучасній селекції сьогодні демонструє значно ширші адаптивні можливості. Нові сорти, створені фахівцями Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка, успішно витримують кліматичні коливання регіону та формують урожай високої якості. Саме ці селекційні форми – Оксамитовий, Славутич, Улюбленець 2, Пам'ять Гришка – стали основою оновлених промислових насаджень персика у західних частинах Лісостепу.

У вирощуванні смородини переважають уже відомі районовані сорти: Білоруська солодка, Верность, Загадка, Минай Шмирьов, Сюїта київська, Зелена димка та Тітанія. Проте останніми роками акцент зміщується на сорти інтенсивного типу. Особливо популярними стали українські розробки: Говтва, Дочка Ворскли, Краса Львова, Либідь, Софіївська, Софія, Ювілейна Копаня та Черешнева. Перспективними вважаються також Райдужна, Казкова, Голосіївська 2, Пам'ятна та Прем'єра.

Наприклад, сорту Голосіївська 2 властиві пізній строк досягання, висока стійкість до грибних інфекцій, невибагливість до умов вирощування та стабільно висока врожайність – до 10–16 т/га вже в перші роки плодоношення. Його ягоди великі, чорні, блискучі, з тонкою щільною шкірочкою і сухим відривом, мають приємний кисло-солодкий смак і високий вміст вітаміну С (до 230 мг/100 г). Плоди досягають дружно, не обсипаються та придатні як для свіжого споживання, так і для переробки.

У Лісостеповій зоні основу промислових насаджень порічок формують такі високопродуктивні сорти, як Голландська червона, Джонкер Ван Тетс та Рондом. Вони вирізняються раннім вступом у плодоношення, стабільно високою урожайністю на рівні 20–25 т/га, добрим самозапиленням та придатністю до механізованого збирання завдяки середньому й великому розміру ягід. Під час створення нових промислових насаджень поряд із цими широко відомими формами дедалі частіше застосовують сорти українського походження, районовані наприкінці 1990-х – на початку 2000-х років.

Найбільшим попитом серед них користуються Троїцька, Святомихайлівська, Ярославна, а також більш нові селекційні розробки – Самбурська, Дарниця та Сніжана.

Агрус у Лісостепу займає значно меншу частку у структурі ягідних насаджень порівняно з іншими культурами й переважно вирощується у приватному секторі. Із наявних районованих сортів у плодоносних посадках найчастіше зустрічаються Донецький первенець, Неслухівський, Красень і Консервний. При закладці нових плантацій виробники активно звертають увагу й на перспективні форми – Кий, Ліхтарик, Краснослов'янський та Тикич, які демонструють підвищену адаптивність і стабільність плодоношення.

Асортимент малини в Лісостеповій зоні формується переважно у приватних господарствах, що займають близько 90% площі під цією культурою. У таких насадженнях домінують районовані сорти – Новость Кузьміна, Новокитаївська, Награда, Одарка, Метеор, Бальзам, Бабине літо, а також новіші перспективні форми: Гусар, Вольниця та Солнишко. За належного догляду ці сорти забезпечують урожайність у межах 10–25 т/га, формуючи плоди високої товарності. Останніми роками значний інтерес привертають нові сорти, створені селекціонерами кафедри садівництва НАУ, зокрема Благородна, Вересневі зорі, Козачка, Сонце Києва та Промінь. Вони відзначаються підвищеною стійкістю до екстремальних погодних умов, помірною шипуватістю, потужною врожайністю та крупноплідністю – маса ягід у середньому сягає 3–4 г. Плоди цих сортів мають приємний кислувато-солодкий смак, яскравий аромат і універсальне використання. Характерним прикладом є сорт Благородна, що має середні строки досягання, сильнорослі прямостоячі пагони, добру зимостійкість та підвищену стійкість до таких поширених хвороб, як дидимела й антракноз. Її ягоди великі, масою 4,5–7 г, яскраво-червоного забарвлення та відмінного десертного смаку (4,8 бала), придатні як для споживання у свіжому вигляді, так і для заморожування чи промислової переробки.

У «Реєстрі сортів рослин України» значиться дванадцять сортів суниці,

рекомендованих для Лісостепу, проте на практиці основні площі – близько 80% – займають такі популярні сорти, як Десна, Русанівка, Зенга Зенгана, Ольвія, Покахонтас, Ред Гонтлет та Фестивальна ромашка. Під час створення нових плантацій виробники дедалі частіше віддають перевагу більш сучасним і перспективним сортам, серед яких Октава, Ромашка, Ельсанта, Кент і Полка. Вони поєднують високу врожайність, добру морозостійкість та стійкість до сірої гнилі, що є однією з найнебезпечніших хвороб суниці. Ягоди цих сортів мають привабливий товарний вигляд, насичене червоне забарвлення, приємний солодкий або кислувато-солодкий смак, виражений аромат і добре витримують транспортування, що відповідає вимогам сучасного ринку свіжої продукції.

1.2 Обґрунтування основних аспектів інтенсивних технологій вирощування плодових культур

У плодових насадженнях Лісостепової зони України найбільше поширення отримали яблуневі, грушеві, сливові, вишневі та черешневі сади. Значно менші площі займають абрикоси й персики, хоча їх плоди вирізняються високою харчовою та ринковою цінністю. Проте, попри потенціал цих культур, рівень їх урожайності у регіоні все ще далекий від бажаного. Це вимагає впровадження сучасних технологічних рішень, спрямованих на отримання якісної та конкурентоспроможної продукції. Інноваційні системи вирощування мають забезпечувати не лише високу врожайність, а й швидке повернення інвестицій, зменшення виробничих витрат і рентабельність галузі в умовах зростаючої конкуренції з боку імпоротної продукції.

В основі формування вискоєфективних садів лежить правильно підібрана конструкція насаджень – від типу підщепи до форми крони. Підщепа та сорт визначають силу росту дерева і його пристосованість до певних умов, а форма крони та схема садіння впливають на рівномірність освітлення, здатність

до механізації догляду та інтенсивність плодоношення. Тому, обираючи модель майбутнього саду, необхідно перш за все врахувати біологічні особливості культур, їх сумісність із підщепами та відповідність конкретній ґрунтово-кліматичній зоні. Не менш важливо визначити і цільове призначення врожаю – чи буде він використовуватися у свіжому вигляді, чи перероблятиметься.

Конструкція саду значною мірою залежить і від того, наскільки господарство забезпечене робочою силою та технікою. Адже сучасні технології вирощування плодів включають десятки різних операцій, більшу частину з яких бажано механізувати. Оптимальні умови для використання садової техніки створюються за ширини міжрядь у межах 1,5–2,5 м та штамба висотою не нижче 0,5–0,8 м, що дозволяє безперешкодно виконувати обробіток ґрунту, догляд за деревами та збирання плодів.

Окремою важливою ланкою технології є грамотна передпосадкова підготовка ділянки. Перед садінням необхідно повністю очистити поле від бур'янів – як традиційними агротехнічними прийомами, так і гербіцидами, що не накопичуються у ґрунті та не є небезпечними для молодих саджанців. Високі результати створення продуктивних насаджень забезпечує використання сидеральних культур протягом одного-двох років або закладання чорного пару з внесенням значної кількості органічних добрив (40–50 т/га).

На землях, відведених під сад, обов'язково застосовують органічні та мінеральні добрива, особливо фосфорні й калійні. На сірих лісових ґрунтах їх закладають на глибину 30–32 см, тоді як на більш родючих темно-сірих опідзолених та різних типах чорноземів – на 40–45 см. Норми внесення мінеральних добрив встановлюють залежно від забезпеченості ґрунту рухомими формами елементів живлення: на кожну одиницю дефіциту фосфору чи калію розраховують відповідну кількість добрив згідно з нормативами.

Таблиця 1.1 – Оптимальні норми внесення мінеральних добрив у ґрунт

Ґрунт	Метод визначення	Оптимальний рівень, мг на 100 г ґрунту		Норма добрив, кг/га діючої речовини	
		P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сірі лісові суглинки	За Кірсановим	15-20	9-12	60	90
Темно-сірі опідзолені, чорноземи опідзолені та вилугувані суглинкові	За Чириковим	12-16	15-20	90	90

Кислі ґрунти з рН менше 5,0 підлягають вапнуванню. Для розрахунку норми вапна використовують гідролітичну кислотність ґрунту. На кожен міліграм–еквівалент кислотності для шару 0–20 см вноситься в середньому 1,5 т/га вапна. Якщо обробляють глибший шар до 40 см, кількість вапна подвоюють і закладають його пошарово разом із мінеральними добривами.

Система утримання ґрунту в саду підбирається з урахуванням середньорічної кількості опадів, їх розподілу в період вегетації, глибини залягання ґрунтових вод, рельєфу ділянки та наявності зрошення. У районах з опадами 500–600 мм на рік міжряддя і пристовбурні смуги молодих і плодоносних дерев зазвичай утримують у чистому та розпушеному стані – так званий чорний пар.

У північному та західному Лісостепу, а також у районах з 600–700 мм опадів та на півдні, протягом першої половини вегетації молоді і плодоносні сади також підтримують у стані чорного пару. Починаючи з липня, висівають сидеральні культури: ярові (люпин, гірчиця, фацелія) або озимі (жито, вика, горох–пелюшки), причому озимі висівають у вересні. Така практика, відома як «сидеральний пар», дозволяє щорічно отримувати 15–30 т/га зеленої маси, що збагачує ґрунт органічними речовинами.

За умов достатнього зволоження або в регіонах із опадами понад 600–700 мм ефективнішою вважається дерево–перегнійна система. Тут міжряддя

засівають багаторічними злаковими травами, які скошують 5–6 разів протягом сезону. Найкращими є райграс пасовищний (13–15 кг/га), грястиця (15–20 кг/га), вівсяниця червона (12–16 кг/га), вівсяниця лучна (15 кг/га) та польовиця біла (9 кг/га). Ці трави зберігають вологу, стійкі до морозів і не приваблюють бджіл, що дозволяє безпечно застосовувати засоби захисту рослин.

Дерево–перегнійна система покращує структуру ґрунту, знижує витрати на його обробіток, захищає від ерозії та сприяє підвищенню якості плодів. З часом, із накопиченням мульчуючого шару, вологість ґрунту вирівнюється і стає порівнянною з показниками чорного пару. Для підтримання травостою у належному стані необхідно враховувати додаткове внесення добрив. Пристовбурні смуги у всіх випадках утримують під чорним паром, застосовуючи механічний обробіток або гербіциди.

Підживлення саду починають з другого року після висаджування дерев. Вносять мінеральні добрива, переважно азотні, а на третій–четвертий рік додають органічні, згідно з рекомендованими нормами (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Дози органічних і азотних добрив для підживлення молодих і плодоносних садів

Зона, ґрунт	Гній або еквівалентна кількість компосту, раз на 3 роки, т/га	Азот, кг/га діючої речовини	
		Молоді сади	Плодоносні сади
Сірі лісові суглинкові при утриманні міжрядь під чорним паром	35	90	90-120
під задернінням	—	120	120-150
Темно-сірі опідзолені, чорноземи опідзолені, типові суглинкові при утриманні міжрядь:			
під чорним паром на богарі	30	90	90-120
при зрошенні	30	120	120-150
при утриманні міжрядь під задернінням на богарі	—	120	120-150
при зрошенні	—	150	150-180

Норми внесення мінеральних добрив у конкретних насадженнях уточнюють приблизно раз на 4–5 років на основі результатів ґрунтових та рослинних аналізів. Для молодих дерев оптимальний вміст валового азоту в листках становить: яблуні та груші – 2,2–2,6 %, сливи – 2,5–3,2 %, вишні – 2,5–3,0 %, абрикоса – 3,2–3,6 % від сухої маси листя. Щодо плодоносних дерев, при визначенні потреби в підживленні враховують рівень азоту та калію в листках відповідно до чинних рекомендацій (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Оптимальна кількість азоту і калію в листках плодоносних дерев, % від сухої маси

Порода	N	K
Яблуня	1,8-2,4	0,9-1,6
Груша	2,0-2,6	1,4-2,3
Слива	2,4-3,2	2,3-2,6
Вишня	2,0 -2,5	1,3-1,5
Черешня	2,5-3,0	1,7-2,0
Абрикос	2,8-3,2	1,7-2,3

Якщо вміст поживних елементів у листках дерев або одного з них виявляється нижчим за оптимальний, дозу відповідного добрива підвищують на 20–30 %. Найбільш ефективним вважається дворазове внесення азотних підживлень: перше (близько 40 %) здійснюють приблизно через тиждень після цвітіння, друге (60 %) – після природного опадання надлишкових зав'язей, зазвичай наприкінці червня. Дози фосфорних і калійних добрив визначають диференційовано з урахуванням забезпеченості ґрунту рухомими формами P_2O_5 та K_2O , і вони відповідають розрахунковим нормам, що використовуються при передпосадковому внесенні. При цьому кількість калійних добрив може коригуватися за результатами рослинної діагностики.

У плодоносних садах, де ґрунт утримується під чорним паром, найбільш доцільним є застосування орґано-мінеральної системи удобрення. Дерново-перегнійна система передбачає використання виключно мінеральних добрив. Кислі ґрунти підлягають вапнуванню, якщо насиченість ґрунтового поглинального комплексу основами знижується нижче 60 %, а гіпсування

застосовують на солонцюватих ґрунтах, де насиченість натрієм перевищує 10 % від загальної ємності поглинання.

Проведений аналіз показує, що зона Лісостепу цілком придатна для ведення садівництва. Для підвищення ефективності господарства однією з ключових операцій є підживлення насаджень. У цьому контексті особливу увагу слід приділити механізації процесу. В Україні єдина машина, здатна здійснювати глибоке внесення добрив у садах, – МГУС-2.5 [39–41]. Саме питання ефективності та надійності роботи цієї машини і стало предметом дослідження у кваліфікаційній роботі.

1.3 Аналіз існуючих технологій та засобів для ґрунтового внесення рідких добрив

Розглянемо конструкції машин-підживлювачів, які випускаються сучасною промисловістю близького зарубіжжя [39].

Агрегат для внесення аміачної води АВА – 8, рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Агрегат для внесення аміачної води АВА - 8

Агрегат АВА-8, призначений для внесення рідких мінеральних та органічних добрив із одночасним їх заробленням у ґрунт. Використання рідких

добрив дозволяє зменшити витрати на їх придбання та підвищити ефективність засвоєння азоту рослинами, порівняно з твердими добривами, на 10–20 %.

Агрегат АВА-8 агрегується з тракторами третього класу потужністю 130–180 к.с. Робоча швидкість машини становить 6–12 км/год, що забезпечує продуктивність 7–10 га/год. Норма внесення добрив регулюється в межах 150–800 л/га, а ширина захоплення робочого органу складає 8 м. Глибина зароблення добрив у ґрунт коливається від 6 до 12 см, що дозволяє ефективно доставляти поживні речовини до кореневої системи рослин.

Для переміщення транспортувальними шляхами агрегат розвиває швидкість до 20 км/год, а насос забезпечує продуктивність 80 л/хв. Об'єм цистерни складає 4 м³, а маса агрегату – 3940 кг. Завдяки цим характеристикам АВА-8 ефективно застосовується для підживлення плодових та ягідних насаджень, підвищуючи врожайність і економію ресурсів при проведенні агротехнічних робіт.

Аплікатор для внесення рідких мінеральних добрив ПРД-3500, рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Аплікатор для внесення рідких мінеральних добрив ПРД-3500

Аплікатор ПРД-3500, призначений для внесення рідких мінеральних добрив у ґрунт. Пристрій агрегується з трактором третього тягового класу та використовує напівпричіпний спосіб приєднання.

На аплікаторі встановлений міцний металевий бак зі стінками товщиною 10 мм, що забезпечує надійність і довговічність конструкції. Норма внесення

рідини задається через регулятор, який точно контролює подачу робочої рідини на всі секції аплікатора.

Подача рідини здійснюється плунжерним насосом американської фірми «CDS John Blue», привод якого відбувається через колесо аплікатора. Така схема забезпечує стабільну норму внесення незалежно від зміни швидкості руху агрегату. Розподіл рідини по робочих органах відбувається через спеціальний розподільник «девайдер», який гарантує рівномірне внесення добрив по всій ширині захоплення і запобігає витіканню рідини при падінні тиску до 0,5 атм.

Внесення добрив у ґрунт відбувається за допомогою дискового робочого органу, що складається з диска та фігурного ножа, встановленого за диском. Через металеву трубку, кріплену до ножа, рідина подається під тиском 4–6 атм безпосередньо в ґрунт, що мінімізує можливість забивання робочих органів і забезпечує ефективне живлення рослин.

Такий аплікатор дозволяє підвищити точність і ефективність внесення рідких добрив, зменшити витрати на їх використання та поліпшити засвоєння поживних речовин рослинами.



Рисунок 1.3– Підживлювач причіпної серії 5000 для внесення рідких мінеральних добрив

Підживлювач причіпної серії 5000 призначений для внесення рідких мінеральних добрив та може агрегатуватися з різними типами культиваторів. Завдяки цьому обладнанню культиватор можна переобладнати для одночасної обробки ґрунту та внесення рідких добрив, що дозволяє значно підвищити

ефективність агротехнічних операцій.

Підживлювач оснащений міцним поліетиленовим баком товщиною стінки 10 мм та об'ємом 5000 літрів, що забезпечує достатній запас робочої рідини для обробки великих площ. Для покращення маневреності на полі передбачена керована передня вісь, а балансуєча вісь забезпечує рівномірний розподіл навантаження по всьому агрегату.

Підживлювач може використовуватися у різних варіантах агрегування: як напівпричіп між трактором і культиватором, так і у причіпному виконанні за культиватором. Така універсальність дозволяє адаптувати пристрій до різних типів техніки та специфіки ґрунтово-кліматичних умов, оптимізуючи процес внесення добрив і підвищуючи продуктивність роботи.

Система розподілу і подачі рідких добрив.



Рисунок 1.4 – Розподільник



Рисунок 1.5 – Відцентровий насос

На підживлювальному агрегаті змонтовано розподільний вузол виробництва італійської компанії Arag, який відповідає за подачу добрив до робочих секцій культиватора (рис. 1.4).

Подача рідини здійснюється за допомогою відцентрового насоса американської фірми, рис. 1.5.

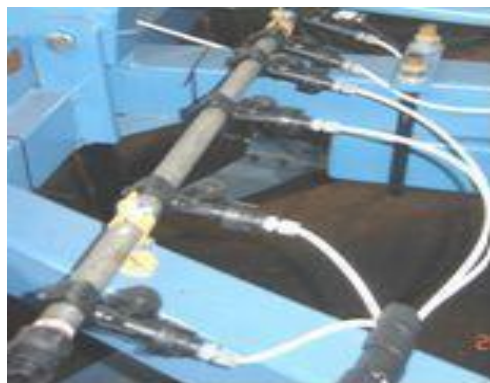


Рисунок 1.6 – Комунікація подачі рідини

Подача робочої рідини здійснюється через калібровані шайби з отворами, встановлені на кожній форсунці. Така конструкція гарантує рівномірне внесення по всій ширині захвату та запобігає витіканню добрив у разі зниження тиску в системі до 0,5 атм.



Рисунок 1.7 – Робочі органи

Для кожного робочого органу культиватора разом із підживлювачем передбачена металева трубка, яка закріплюється на зворотному боці стійки та подає добриво безпосередньо в ґрунт. Внесення добрив здійснюється під тиском 4–6 атм, що запобігає забиванню робочих елементів. Крім того, трубка оснащена двома вихідними отворами, що значно зменшує ризик її закупорювання землею.

Додатково на підживлювачі встановлено електромагнітний клапан, який автоматично блокує подачу добрив у робочі органи під час зупинки культиватора або при розворотах. Це дозволяє запобігти потраплянню аміачної води на відкриту поверхню та підвищує рівень безпеки при внесенні рідких мінеральних добрив.

2 АНАЛІТИКО–ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Короткі відомості про базову конструкцію підживлювача

Підживлювач садовий МГУС-2,5 є спеціалізованою машиною, призначеною для цілеспрямованого внесення у ґрунт рідких дво- та трьохкомпонентних мінеральних добрив у садах різного віку та типу утримання міжрядь. Машина працює в агрегаті з тракторами МТЗ-80/82 або Т-70В, що забезпечує їй необхідну тягову потужність та маневровість у вузьких і середніх за шириною міжряддях. Конструкція підживлювача адаптована до умов садових насаджень і дає змогу виконувати підживлення на заданій глибині з високою точністю та стабільністю подачі робочої рідини.

Машина характеризується достатньо широким діапазоном продуктивності — від 2 до 4 гектарів на годину основного часу. Це дає можливість ефективно обробляти значні площі садів протягом робочої зміни. Робоча швидкість під час внесення добрив становить 2,5–5 км/год, що оптимально для забезпечення рівномірного розподілу рідини в ґрунті. Залежно від конфігурації робочих органів, ширина захвату змінюється від 4 до 8 метрів, а місткість бака об'ємом не менше 2000 літрів дозволяє працювати тривалий час без частих дозаправок. Норма витрати робочої рідини регулюється в широкому діапазоні — від 300 до 1500 л/га, що дає змогу адаптувати процес до різних технологічних вимог та агрохімічних завдань. При цьому транспортна швидкість під час перевезення агрегату не перевищує 15 км/год.

Обслуговування машини потребує присутності лише одного кваліфікованого оператора, а коефіцієнт використання експлуатаційного часу становить щонайменше 0,5, що свідчить про достатню технологічну гнучкість і зручність у роботі. Якість виконання технологічного процесу визначається стабільністю глибини внесення добрив: у садах з обробленими міжряддями — від 15 до 40 см, а в залужених — від 15 до 30 см. Це дозволяє ефективно

доставляти добрива в активну кореневу зону дерев залежно від типу саду та умов утримання.

Суха маса підживлювача з повним комплектом робочих органів становить 2350 кг, а експлуатаційна маса з урахуванням робочої рідини — близько 5150 кг. У робочому положенні агрегат має габарити $7200 \times 6500 \times 1900$ мм, що дозволяє легко маневрувати між деревами. Споживана потужність не перевищує 33 кВт, а монтаж на місці роботи займає не більше 2,5 години. Показники надійності свідчать про п'ятирічний гарантований строк служби, низьку трудомісткість технічного обслуговування та поточних ремонтів, а також високий коефіцієнт готовності (0,95 і вище).

У транспортному положенні підживлювач зменшує ширину до 4000 мм, що спрощує його переміщення між ділянками. Конструкція відповідає вимогам безпеки, зокрема забезпечує поперечний кут статичної стійкості не менше 33° . До складу обладнання входить відцентровий насос із напором $0,6 \pm 0,05$ МПа та подачею не менше 400 л/хв, а передача здійснюється через циліндричний редуктор, що забезпечує надійну роботу насосно-розподільної системи.

У комплексі ці характеристики визначають МГУС-2,5 як надійну, продуктивну та технологічну машину для високоякісного внесення рідких мінеральних добрив у садових насадженнях.

Підживлювач садовий МГУС-2,5 (рис. 2.1) конструктивно виконаний як одноосьовий напівпричіп, який може агрегатуватися з трактором через гідроак або стандартну причіпну вилку. Така компоновка забезпечує стійкість машини в роботі, зручність маневрування в садових міжряддях та надійність агрегування з тракторами різних модифікацій.



Рисунок 2.1 – Підживлювач садовий МГУС-2,5

У своїй конструкції підживлювач поєднує кілька основних функціональних вузлів. До його складу входять шасі, бак для робочої рідини, насосний агрегат, регулятор тиску, систему шарових кранів, а також спеціальний робочий орган для глибокого внесення рідких мінеральних добрив. Заправочний рукав забезпечує можливість власної заправки або підключення до зовнішніх заправних засобів. Більшість складальних одиниць, за винятком робочого органа, уніфіковані з компонентами інших марок підживлювачів, що полегшує технічне обслуговування та ремонт.

Привід відцентрового насоса здійснюється від вала відбору потужності трактора. Оберти передаються через карданні вали, зубчасті колеса, шестерні та редуктор насосного вузла. Під час роботи насоса рідина з бака через відкритий кран К1 надходить у насос, після чого подається до регулятора тиску. Далі частина потоку через відкритий кран К2 спрямовується до робочих органів, а надлишок повертається назад у бак у режимі переливу.

У разі зупинки ВВП подача рідини до робочих органів автоматично блокується за допомогою індивідуальної відсічки, що встановлена на кожному голчастому колесі, що унеможливило небажане витікання добрив.

Заправлення підживлювача може здійснюватися двома способами. За допомогою спеціального заправного пристрою в кришці горловини бака

машина легко наповнюється зовнішніми заправними засобами без відкривання кришки. Для самозаправки використовується власний насос: заправочний рукав під'єднують до всмоктувальної лінії через кран К3 при закритому К1.

Гідравлічна система високого тиску забезпечує дистанційне керування подачею робочої рідини, а також підйом і опускання обладнання, встановленого на навісній системі машини. Керування здійснюється з кабіни трактора, забезпечуючи оператору комфортні умови роботи.

Регулювання параметрів внесення добрив виконується комплексом технічних засобів. Передача крутного моменту на насос контролюється з кабіни шляхом вмикання чи вимикання ВВП. Норму внесення регулюють шляхом зміни положення втулки торцевого ущільнення та встановленням необхідного тиску в системі. Робочий тиск задається регулятором тиску, а гідроциліндри навішування та регулятора тиску управляються за допомогою важелів гідророзподільника.

У цілому конструкція МГУС-2,5 забезпечує точне дозування, стабільну роботу та зручне керування технологічним процесом внесення рідких мінеральних добрив у садах.

2.2 Аналіз можливості внесення добрив на максимальну глибину підживлення

Під час державних приймальних випробувань машини МГУС-2,5, призначеної для глибокого внесення рідких мінеральних добрив у садових насадженнях, було з'ясовано, що фактичні можливості робочих органів істотно відрізняються від вимог технічного завдання. Зокрема, в садах із міжрядною обробкою максимальне занурення голок голчастих коліс у ґрунт становило лише близько 211 мм за умов твердості ґрунту 2,85 МПа. У залужених міжряддях цей показник виявився ще меншим – приблизно 117 мм при

твердості 3,9 МПа. Водночас технічна документація передбачає, що машина має забезпечувати внесення добрив на глибину до 400 мм навіть за твердості ґрунту близько 4,0 МПа, тобто на рівні фактичного робочого ходу органів.

Виявлене розходження між заданими та досягнутими параметрами зумовило необхідність провести низку інженерних розрахунків, спрямованих на визначення причин недостатньої глибини проникнення й можливостей її підвищення в межах конструкції машини. Насамперед потрібно з'ясувати, якої максимальної глибини занурення можуть досягти робочі органи з урахуванням існуючих геометричних характеристик голчастих коліс. Далі постає завдання оцінити, яке вертикальне навантаження повинно діяти на ці колеса, щоб забезпечити занурення на розрахункову глибину за ґрунтів із твердістю 4,0 МПа. Окремо необхідно визначити, яке максимальне притискне зусилля взагалі може бути реалізоване в рамках наявної конструктивної схеми машини, та чи достатньо цього потенціалу для досягнення нормативних параметрів роботи.

Тут наведено основні вихідні дані, що використовуються під час подальших інженерних розрахунків. Голчасте колесо машини має діаметр 976 мм, тоді як діаметр його маточини становить 210 мм. Важливим параметром є маса самої машини: у сухому стані, тобто без робочого розчину в баку, вона дорівнює 2160 кг, а при заповненому баку її експлуатаційна маса зростає до 5060 кг. Інші величини, необхідні для виконання окремих розрахункових операцій, подаються в тексті одразу під відповідними формулами, що забезпечує їх коректне використання та підвищує наочність подальших обчислень.

У процесі виконання розрахунків було прийнято низку припущень, що дозволяють спростити математичну частину задачі та зосередитися на ключових параметрах конструкції. Під час визначення площ перерізів за розрізами I–I та II–II (рис. 2.2) вплив поперечних перерізів трубок подачі добрив не береться до уваги, оскільки їхній внесок порівняно малий і практично не впливає на загальний результат. Для оцінки потрібного вертикального зусилля, яке має діяти на одне голчасте колесо, передбачається,

що твердість ґрунту залишається сталою на всій глибині занурення робочих органів – від поверхні до максимальної робочої позначки. Крім того, під час визначення того, яке максимальне навантаження може бути передане на колесо в межах конструктивних можливостей машини, передбачено рівномірний розподіл маси агрегату між чотирма голчастими колесами.

Для наочності та подальших обчислень подано графічні матеріали. На рисунку 2.2 зображено елементну будову голчастого колеса машини МГУС-2,5, що є об'єктом аналізу. Розрахункові контури поперечних перерізів, позначені на схемі як I–I та II–II, подано окремо на рисунку 2.2, що дозволяє точніше відтворити їхню форму та визначити необхідні геометричні величини.

Максимальна глибина, на яку можуть занурюватися голки в ґрунт, позначена як $h_{\max}$, залежить від геометричних параметрів голчастого колеса. Саме конструктивні розміри цього елемента визначають межу проникнення робочих органів у ґрунтове середовище та, відповідно, можливість машини забезпечувати технологічний процес у потрібному режимі. Розрахувати цю граничну глибину дозволяє спеціальна формула, що враховує взаємне розташування зовнішнього діаметра колеса, розмірів його маточини та робочих елементів.

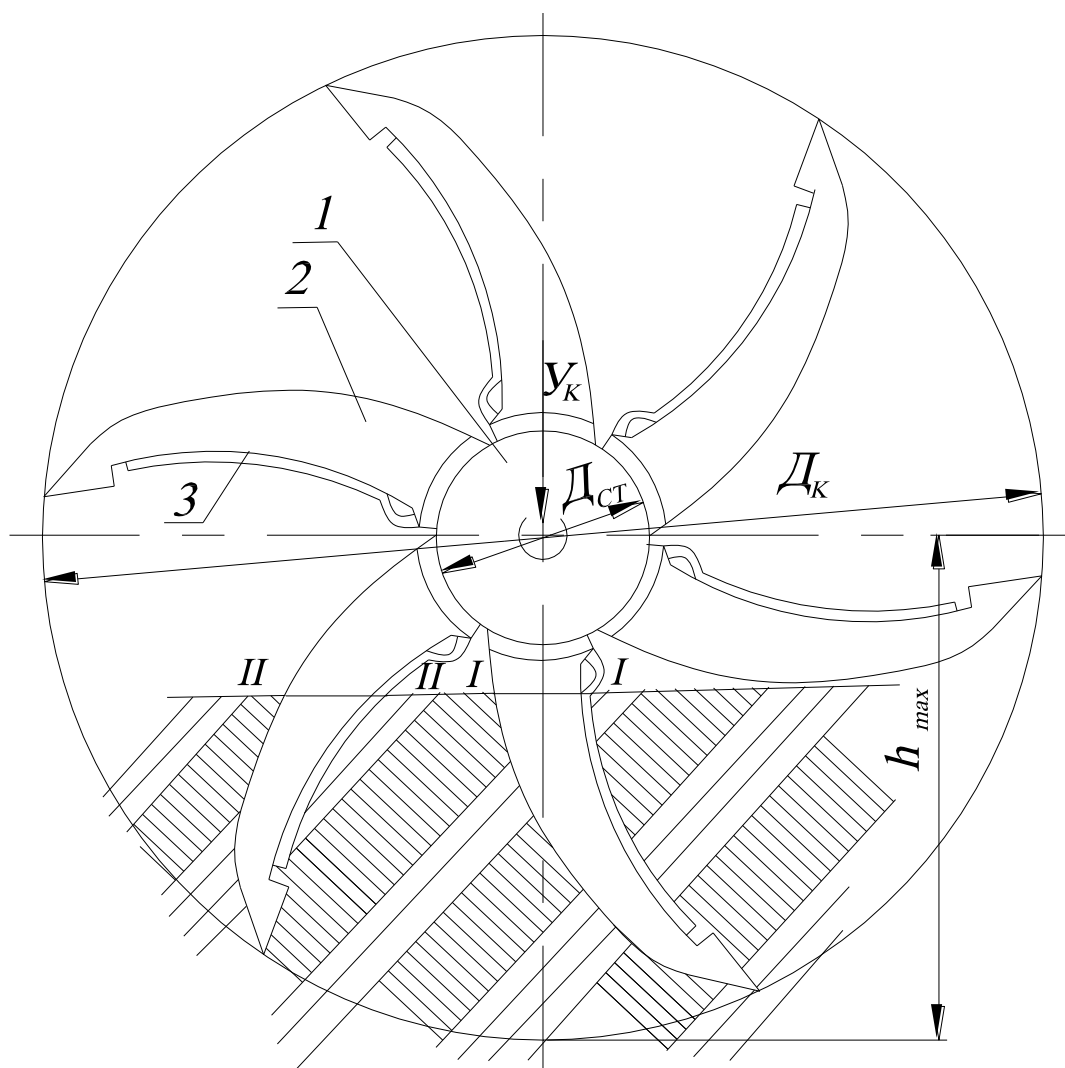
$$h_{\max} = 0,5(D_K - D_{CT}) - \delta, \quad (2.1)$$

де D_K, D_{CT} – діаметри голчастого колеса і маточини відповідно, (див. рис. 2.2), мм;

δ – необхідний мінімальний зазор між маточиною колеса і поверхнею ґрунту, мм.

Згідно до [38] приймаємо $\delta = 30$ мм.

$$h_{\max} = 0,5(976 - 210) - 30 = 353 \text{ мм}.$$



1 – маточина; 2 – голка; 3 – трубка для подачі добрива
Рисунок 2.2 – Ескіз голчастого колеса машини МГУС-2.5

Розрахунки показують, що найбільша можлива глибина занурення голок голчастого колеса в ґрунт $h_{\max} = 353 \text{ мм}$ є меншою за граничну глибину внесення добрив, визначену технічним завданням $h_{\text{ТР}} = 400 \text{ мм}$. Це означає, що геометричні параметри колеса конструктивно обмежують можливість досягнення необхідного рівня заглиблення, а отже, за наявних розмірів робочих органів машина не здатна забезпечити внесення добрив на глибину, передбачену нормативними вимогами.

2.3 Визначення необхідного вертикального навантаження на голчасте колесо

Необхідну величину вертикального навантаження, яке має діяти на голчасте колесо для забезпечення максимально можливої глибини $h_{\max}$ занурення робочих органів, визначають, спираючись на такі конструктивно-технологічні міркування [34, 40]. У момент переходу машини з транспортного положення в робоче занурення голчастого колеса відбувається таким чином, що в ґрунт одночасно входять щонайменше дві голки (рис. 2.2). Саме це забезпечує рівномірне заглиблення робочих елементів та формує початкові умови, за яких можна оцінити необхідне притискне зусилля для досягнення максимальної глибини ходу.

Під час роботи машини в русі на заглиблення голок додатково впливає тягове зусилля трактора, яке частково сприяє проникненню робочих елементів у ґрунт. Завдяки цьому потрібне вертикальне навантаження на голчасте колесо зменшується порівняно з тим, що необхідне при статичному зануренні. Водночас це навантаження не може бути меншим за мінімальне зусилля, потрібне для входження в ґрунт хоча б однієї голки на максимальну глибину.

Таким чином, реальне значення вертикального навантаження, яке забезпечує роботу колеса на максимально допустимій глибині, перебуватиме в інтервалі між силами, розрахованими для описаних вище граничних умов.

Площі поперечних переріз I-I і II-II колеса на рівні ґрунту F_1 і F_2 , мм², (див. рис. 2.2) при глибині ходу робочих органів $h_{\max} = 359\text{ мм}$ визначаються за залежністю

$$F_i = a_i \cdot (b_i + 0,5c_i), \quad (2.2)$$

де F_i – площа i -го перетину, мм²;

a_i – товщина голки в розглянутому перетині (див. рис. 2.3), мм;

$a_1 = 19,5$, $a_2 = 18\text{ мм}$.

b_i, c_i – висоти прямокутної і трикутної частин i -го перетину, мм.

$$b_1 = 54, \quad b_2 = 62 \text{ мм} \quad c_1 = 36 \quad c_2 = 40 \text{ мм}$$

Розрахункова форма перетинів I-I і II-II, показаних на рис. 2.2.

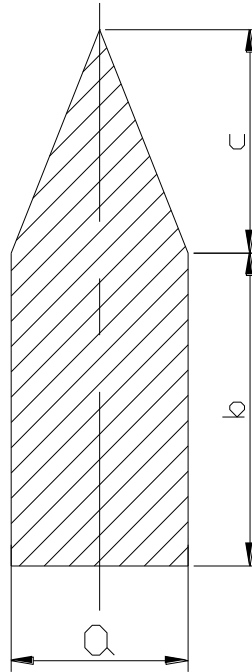


Рисунок 2.3 – Товщина голки у визначеному перетині

$$F_1 = 19.5 \cdot (54 + 0.5 \cdot 36) = 1400 \text{ мм}^2,$$

$$F_2 = 18 \cdot (62 + 0.5 \cdot 40) = 1476 \text{ мм}^2.$$

Величину вертикального зусилля, яке повинне діяти на голчасте колесо для того, щоб одна голка могла зануритися в ґрунт на глибину $h_{\max}$, визначають за відповідною розрахунковою залежністю. Саме ця формула дає змогу врахувати опір ґрунту, геометрію робочого елемента та необхідну глибину проникнення, що дозволяє обчислити мінімальне притискне навантаження, потрібне для забезпечення стабільного входження голки у ґрунт.

$$Y_{KTP1} = q_{\max} \cdot F_1 \quad (2.3)$$

а для забезпечення заглиблення на ту ж глибину двох голок одночасно – за формулою

$$Y_{KTP2} = q_{\max} \cdot (F_1 + F_2), \quad (2.4)$$

де Y_{KTP1}, Y_{KTP2} – необхідні навантаження на колесо, Н;

$q_{\max}$ – максимальна твердість ґрунту, обумовлена техзавданням, МПа. $q_{\max} = 4,0$ МПа;

F_1, F_2 – площі перетинів I-I і II-II голчастого колеса, мм².

$$Y_{KTP1} = 4.0 \cdot 1400 = 5600 \text{ Н};$$

$$Y_{KTP2} = 4.0 \cdot (1400 + 1476) = 11500 \text{ Н}.$$

Отже, для умов максимальної твердості ґрунту, передбаченої технічним завданням, потрібне вертикальне навантаження на голчасте колесо визначається як величина, що забезпечує проникнення робочих органів на розрахункову глибину. Саме це навантаження $Y_{KTP} = 5600 \div 11500 \text{ Н}$ є розрахунковим показником, необхідним для стабільної роботи машини за найскладніших ґрунтових умов.

Максимальне вертикальне навантаження, яке може бути передане на голчасте колесо в межах існуючої конструкції машини, визначають, виходячи з умов, коли агрегат МГУС-2,5 спирається виключно на голчасті колеса та причіпний пристрій трактора. У такому положенні на колеса передається найбільша частка ваги повністю заправленої машини. За цих обставин розрахункове максимальне навантаження визначають за відповідною формулою, що враховує масу агрегату, особливості його компонування та схему передачі зусиль на опорні елементи.

$$Y_{K \max 3} = \frac{m_{\text{э}} \cdot g \cdot l_{\text{цэ}}}{4l_{\text{ок}}}, \quad (2.5)$$

а для машини з порожнім баком – за формулою

$$Y_{K \max n} = \frac{m_{\text{с}} \cdot g \cdot l_{\text{цс}}}{4l_{\text{ок}}}, \quad (2.6)$$

де $Y_{K \max 3}, Y_{K \max n}$ – максимально можливі вертикальні навантаження на одне голчасте колесо машини МГУС-2,5 залежать від заповнення бака і визначаються умовами рівномірного розподілу маси агрегату між опорними колесами, Н. Для повністю заправленого бака вертикальне навантаження досягає свого найбільшого значення, оскільки на колеса передається вся маса машини з рідиною. У випадку порожнього бака навантаження на одне колесо зменшується пропорційно відсутності ваги рідини, але все одно залишається достатнім для підтримання контактної тиску на ґрунт. Таким чином, для кожного стану бака можна визначити відповідне максимальне притискне зусилля, що спирається на конструктивні особливості машини та схему розподілу ваги, Н;

$m_{\text{э}}, m_{\text{с}}$ – суха й експлуатаційна маси машини, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 , $g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

$l_{\text{цэ}}, l_{\text{цс}}$ – координати по горизонталі центрів ваги машини МГУС-2,5, розташованих щодо точки зачеплення, залежать від заповнення бака, $l_{\text{цэ}}=3300$, $l_{\text{цс}}=3660$ мм. Для цілком заправленого бака центр ваги зміщується ближче до передньої частини машини через додаткову масу рідини, тоді як у випадку порожнього бака він займає положення, властиве лише конструктивній масі агрегату. Відповідні значення координат визначені на основі обчислень, проведених за результатами зважувань машини під час приймальних випробувань, що дозволяє точно врахувати розподіл маси при різному стані

бака і забезпечує коректний розрахунок вертикальних навантажень на голчасті колеса.

l_{OK} – відстань по горизонталі від центра зчеплення машини до осі голчастих коліс визначає положення точки прикладання зусиль на опорні елементи агрегату. Відповідно до креслень $l_{OK}=5825$ мм. Цей параметр є ключовим для розрахунку вертикального навантаження на кожне голчасте колесо, оскільки він впливає на розподіл ваги машини між переднім і заднім опорними точками. Точне значення цієї відстані встановлюють на основі конструктивних розмірів машини та даних її геометричної схеми.

$$Y_{K_{\max 3}} = \frac{5080 \cdot 9.81 \cdot 3300}{4 \cdot 5825} = 7060 H;$$

$$Y_{K_{\max n}} = \frac{2160 \cdot 9.81 \cdot 3680}{4 \cdot 6825} = 3330 H.$$

Так як $Y_{K_{\max}} = 3330 \div 7060 H < Y_{KTP} = 5600 \div 11500 H$, то при існуючому розподілі мас у машині МГУС-2,5 створити необхідне вертикальне навантаження на одне колесо неможливо.

Висновок.

Аналіз конструктивних параметрів голчастого колеса машини МГУС-2,5 показав, що поточні розміри голок та розташування кінця трубки для подачі добрив (рис. 2.2) дозволяють забезпечити внесення мінеральних добрив на глибину до 353 мм, якщо вважати, що глибина внесення збігається з глибиною ходу робочих органів. При цьому технічне завдання передбачає максимальну глибину внесення 400 мм.

Якщо визначати глибину розташування осередку добрив за координатою його центра, то фактичне заглиблення буде ще меншим – приблизно на 40 мм менше глибини ходу голок, тобто близько 310 мм. Це свідчить про те, що

існуючі параметри колеса не дозволяють досягти нормативної глибини внесення добрив.

Для забезпечення можливості подачі добрив на глибину 400 мм необхідне збільшення довжини голки на 50–90 мм та відповідне збільшення діаметра колеса на 100–180 мм. При цьому розрахункове вертикальне навантаження на одне голчасте колесо, яке забезпечувало б повну глибину ходу робочих органів за максимальної твердості ґрунту, перевищує максимально можливе навантаження, що може бути реалізоване конструкцією машини. Це означає, що без зміни геометрії колеса та збільшення притискного зусилля технічні вимоги щодо глибини внесення добрив виконати неможливо.

Отже, при існуючій конструкції машини МГУС-2,5 забезпечити максимальну глибину ходу робочих органів при твердості ґрунту 4,0 МПа неможливо. Такий рівень заглиблення досяжний лише за умов значно меншої твердості ґрунту, коли опір проникненню голок зменшується.

Слід враховувати, що в умовах, коли машина спирається виключно на голчасті колеса та причіпний пристрій трактора (саме за цих умов обчислювалося максимально можливе вертикальне навантаження на колесо), навантаження на причіпний пристрій значно перевищує допустимі межі для тягового класу тракторів, з якими агрегат експлуатується. Це створює ризик перевантаження та пошкодження обладнання.

Для зменшення необхідного вертикального навантаження на голчасте колесо рекомендується скоротити число голок у колесі з шести до п'яти або зменшити поперечний переріз голок, що зменшить опір ґрунту.

Крім того, для забезпечення можливості створення більших вертикальних навантажень на колесо та одночасного зниження навантаження на причіпний пристрій трактора доцільно максимально змістити центр ваги машини назад або, при необхідності, переглянути її конструктивну схему. Такі заходи дозволять оптимізувати розподіл ваги і забезпечити ефективну роботу робочих органів за більш жорстких умов ґрунту.

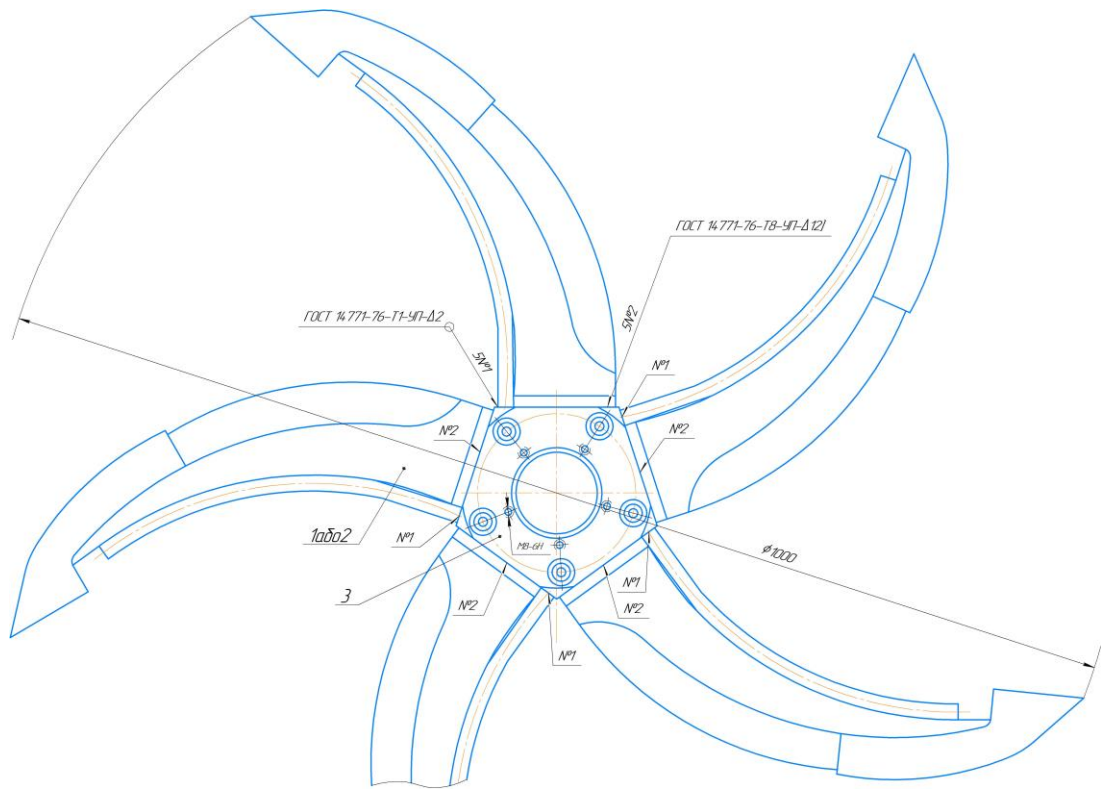


Рисунок 2.4 – модернізована конструкція голчастого колеса

Головною відмінністю пропонованої конструкції колеса є зменшення кількості голок до п'яти та збільшений діаметр до 1000 мм.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок зварного з'єднання кріплення голки до маточини

Необхідність проведення цього розрахунку виникла у зв'язку зі зміною конструкції кріплення голок до маточини голчастого колеса машини МГУС-2,5, призначеної для глибокого внесення рідких мінеральних добрив. Нова конструктивна схема передбачає зварне з'єднання як основний спосіб фіксації голки, що потребує оцінки його міцності для забезпечення надійної роботи агрегату.

Завдання розрахунку полягає в обчисленні міцності зварного з'єднання, за допомогою якого голка кріпиться до маточини голчастого колеса, з урахуванням експлуатаційних навантажень та механічних властивостей матеріалів. Результати розрахунку дозволять визначити, чи витримує з'єднання робочі сили під час роботи машини, та за необхідності скоригувати його конструкцію для забезпечення довговічності та безпеки експлуатації.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку

1. Матеріал голки: сталь 35-«а» (ГОСТ 4543-71) границя міцності матеріалу σ_b , МПа границя текучості матеріалу σ_T , МПа	540 320
2. Вертикальна реакція ґрунту на голчасте колесо Y_K , Н	4150
3. Зусилля діюче на голку при наїзді її на камінь P'_u , Н	2410
4. Розрахункове зусилля P'_σ , що діє на буртик від дії сили P'_u , Н	33600
5. Довжина голки h_u , см	41,5
6. Довжина катета зварного шва k , см	0,6
7. Ширина буртика b , см	3
8. Числові значення інших величин необхідні для розрахунку приведені безпосередньо під формулами, у яких вони використовуються.	

Умови розрахунку

Для проведення розрахунку міцності зварного з'єднання приймаються наступні спрощення та вихідні умови. Величину сили тягового опору одного голчастого колеса вважаємо рівною частці максимально допустимого тягового опору, що припускається для тракторів, з якими агрегатується МГУС-2,5, поділений на загальну кількість голчастих коліс. Це дозволяє врахувати реальні робочі навантаження на кожен голку при експлуатації машини, $P_C = 14000 / 4 = 3500$ Н.

Для спрощення розрахунку форму поперечного перерізу зварного з'єднання приймають прямокутною, що дозволяє застосувати стандартні формули для оцінки напружень та міцності матеріалу.

Схема об'єкта розрахунку.

Розрахункові схеми голки наведені на рисунках 3.1–3.2, які відображають основні геометричні параметри та точки прикладання навантажень. Форма поперечного перерізу зварного з'єднання $b \times h = 3 \times 9$ представлена на рисунку 3.3, що забезпечує наочне уявлення про критичні ділянки, де можуть виникати максимальні напруження. Ці схеми використовуються для подальшого обчислення міцності та перевірки надійності конструкції.

Розрахунок зварного з'єднання при нормальному виконанні машиною технологічного процесу.

Згинальний момент, що діє на одну голку M_U , визначається за формулою

$$M_U = P_C \cdot h_U, \quad (3.1)$$

де P_C – сила тягового опору одного голчастого колеса, Н;

h_U – довжина голки, м.

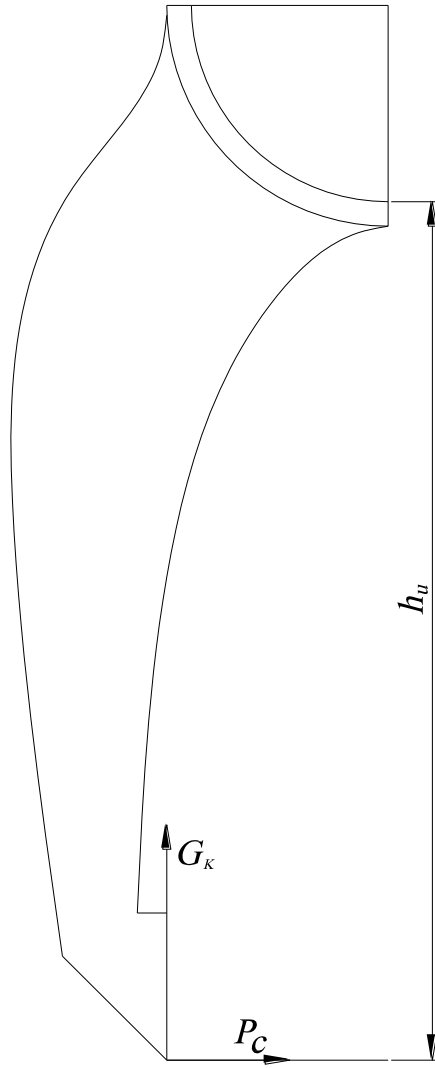


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема голки при виконанні машиною технологічного процесу

Тоді

$$M_U = 3500 \cdot 0.415 = 1452.5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Площа зварного шва, $F_{з\theta}$ визначається за формулою [37]

$$F_{з\theta} = 2 \cdot 0.7(b + h) \cdot k, \quad (3.2)$$

де k – катет зварного шва, см;

b, h – сторони прямокутника поперечного перерізу, см.

Тут

$$F_{3\theta} = 2 \cdot 0.7(3+9) \cdot 0.6 = 10,1 \text{ см}^2.$$

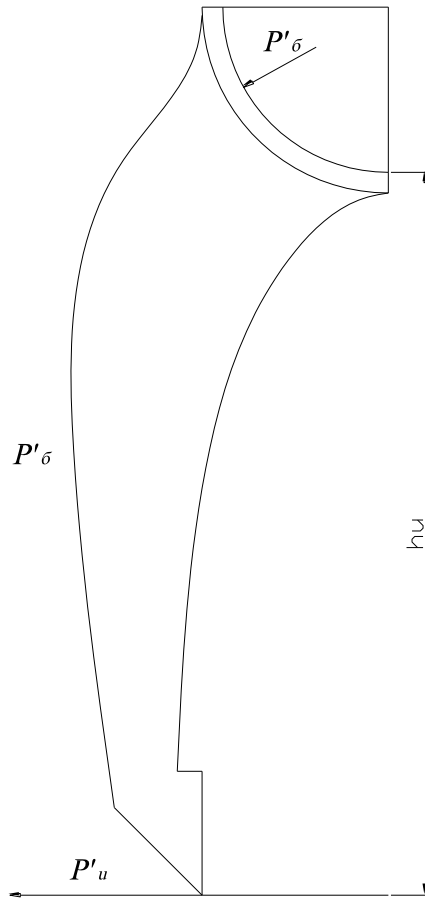


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема голки при наїзді її кінця на камінь

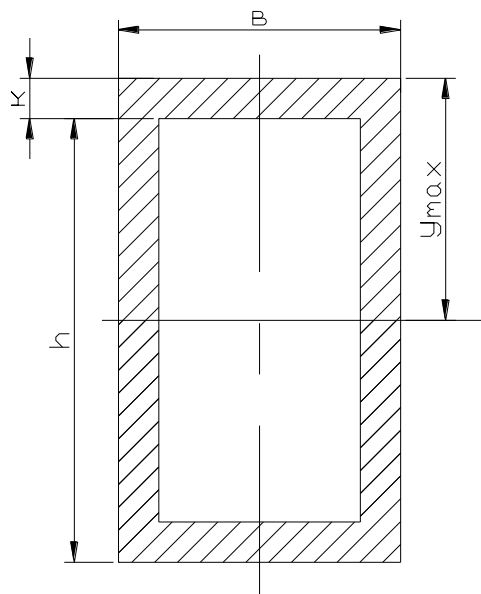


Рисунок 3.3 – Форма поперечного перерізу зварного з'єднання

Момент інерції зварного шва, I_{CB} визначимо за залежністю

$$I_{CB} = \frac{(b + 2 \cdot 0.7k)(h + 2 \cdot 0.7k)^3}{12} - \frac{bh^3}{12}, \quad (3.3)$$

де k – катет зварного шва, см;

b, h – сторона прямокутника поперечного перерізу, см.

$$I_{CB} = \frac{(3 + 2 \cdot 0.7 \cdot 0.6)(9 + 2 \cdot 0.7 \cdot 0.6)^3}{12} - \frac{3 \cdot 9^3}{12} = 122,65 \text{ см}^4.$$

Найбільше віддалення крайніх волокон шва від нейтральної осі перерізу $Y_{\max}$ обчислюють за формулою

$$Y_{\max} = \frac{h}{2} + k, \quad (3.4)$$

де k – катет зварного шва, см;

h – сторона прямокутника поперечного перерізу, см.

Значення після підстановки значень

$$Y_{\max} = \frac{9}{2} + 0.6 = 5.1 \text{ см}$$

Момент опору зварного шва W_{CB} , визначається за формулою

$$W_{CB} = \frac{I_{CB}}{Y_{\max}}, \quad (3.5)$$

де I_{CB} – момент інерції зварного шва, см^4 ;

$Y_{\max}$ – максимальна відстань від крайніх волокон шва до нейтральної осі перетину, см;

Значення

$$W_{cv} = \frac{122.65}{5.1} = 24 \text{ см}^3.$$

Напруження виникаючі в зварному з'єднанні τ визначаються за формулою

$$\tau = \frac{M_U}{W_{cv}} + \frac{G_k}{F_{cv}} \quad (3.6)$$

де M_U – згинальний момент діючий на одну голку, $\text{кг} \cdot \text{см}$;

W_{cv} – момент опору зварного шва, см^3 ;

G_k – вертикальна реакція ґрунту на голчасте колесо, кг ;

F_{cv} – площа зварного шва, см^2 .

$$\tau = \frac{14525}{24} + \frac{415}{10,1} = 646 \text{ кг} / \text{см}^2 = 64.6 \text{ МПа}.$$

Напруження, що допускається для металу зварних швів визначається в залежності від напружень, що допускаються для основного металу за формулою

$$[\tau_{cv}] = \frac{\sigma_T}{n \cdot \beta}, \quad (3.7)$$

де σ_T – границя текучості матеріалу, $\text{кг} / \text{см}^2$;

β – ефективний коефіцієнт концентрації (згідно [37, 32] $\beta=1.4$);

n – коефіцієнт запасу (згідно [37] $n=1.6$).

Тоді

$$[\tau_{св}] = \frac{3200}{1.6 \cdot 1.4} = 1428 \text{ кгс/см}^2 = 142,8 \text{ МПа}.$$

Повинна виконуватись умова

$$\tau \leq [\tau_{св}] \quad (3.8)$$

де τ – напруження, що виникають у зварному з'єднанні, МПа;

$[\tau_{св}]$ – допустимі напруження для металу зварних швів визначаються з урахуванням механічних властивостей шва, умов навантаження та експлуатації конструкції, МПа. Вони встановлюють межу напружень, при якій зварене з'єднання працює без руйнування протягом розрахункового строку служби. Зазвичай для сталевих швів приймають

$$64,6 \text{ МПа} < 142,8 \text{ МПа}$$

Отже, зварне з'єднання виявляється достатньо міцним для виконання поставлених експлуатаційних навантажень.

3.2 Дослідження нетипового режиму при експлуатації голчастих коліс при підживленні

Моделюємо як нетиповий режим роботи голчастого колеса – його наїзд на перешкоду вигляді каменя.

Розрахунок зварного з'єднання при наїзді кінця голки на камінь.

Згинальний момент M'_U від дії сили P'_U , визначається за формулою

$$M'_U = P'_U h_U, \quad (3.9)$$

де P'_U – зусилля діюче на голку при наїзді на камінь, кг;

h_U – довжина голки, см.

$$M'_U = 241 \cdot 41.5 = 10001.5 \text{ кг} \cdot \text{см} = 1000.15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження, що виникають у зварному з'єднанні при зіткненні голки з каменем, визначаються за формулою, яка враховує прикладену ударну силу, геометрію шва та момент опору матеріалу зварного з'єднання

$$\tau' = \frac{M'_U}{W_{cv}} + \frac{P'_b}{F_{cv}}, \quad (3.10)$$

де M'_U – момент згину, що виникає під дією прикладеної сили P'_U , кг·см;

W_{cv} – момент опору зварного шва, см³;

P'_b – розрахункове зусилля діюче на буртик, кг;

F_{cv} – площа зварного шва, см².

Тоді

$$\tau' = \frac{10001.5}{24} + \frac{3360}{10.1} = 749.4 \text{ кг} / \text{см}^2 = 74.94 \text{ МПа}.$$

Повинна виконуватися умова, що напруження в зварному з'єднанні не перевищують допустимих значень для матеріалу шва, забезпечуючи його надійність і довговічність під час експлуатаційних навантажень

$$\tau \leq [\tau_{cv}] \quad (3.11)$$

де τ' - напруження, що виникають у зварному з'єднанні при зіткненні голки голчастого колеса з каменем, є динамічними та локальними. Вони зумовлені різким ударним навантаженням, яке передається від голки на маточину через зварний шов. Величина таких напружень залежить від маси голки, швидкості руху машини, жорсткості матеріалу голки та шва, а також від розмірів і форми каменя. Основні компоненти напружень включають нормальні напруження, спрямовані вздовж шва, та зсувні напруження, що діють перпендикулярно площині з'єднання.

За умови правильного проектування та відповідності зварного шва допустимим напруженням, що враховують ударні і динамічні фактори, такі локальні напруження не призводять до руйнування з'єднання і забезпечують його надійну роботу в процесі експлуатації;

$[\tau_{ce}]$ – допустимі напруження для металу зварних швів визначаються з урахуванням механічних властивостей матеріалу шва та умов експлуатації. Вони враховують вплив концентрації напружень у зоні шва, можливість утворення дефектів під час зварювання та робочу температуру. Зазвичай для конструкцій із середнім режимом навантаження приймають значення допустимих нормальних та зсувних напружень, які не перевищують певної частки від межі текучості або міцності основного металу.

Ці значення забезпечують надійну роботу з'єднання протягом розрахункового терміну експлуатації, запобігаючи виникненню руйнівних деформацій та тріщин у шві.

Отже,

$$74,94 \text{ МПа} < 142,8 \text{ МПа}.$$

Зварне з'єднання в даному випадку забезпечує необхідну міцність.

Висновок.

За результатами проведеного розрахунку визначено, що:

– під час нормальної роботи машини зварне з'єднання залишається міцним, оскільки дотримується умова $\tau \leq [\tau_{св}]$

$$64,6 \text{ МПа} < 142,8 \text{ МПа};$$

– при зіткненні голки голчастого колеса з каменем зварне з'єднання зберігає необхідну міцність, оскільки

$$74,94 \text{ МПа} < 142,8 \text{ МПа}.$$

Отже, змінивши конструкцію машини, ввівши пристрій для забезпечення збільшення зусилля на голчаті колеса було досягнуто достатнє їх заглиблення, що відповідає агротехнічним вимогам. Голчасті колеса мають достатню міцність при змінній конструкції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Розробка заходів з охорони праці при прикореневому внесенні рідких добрив підживлювачами у садах

Розробка заходів з охорони праці має починатися з врахування основних нормативних актів: Закону України «Про охорону праці», галузевих правил з охорони праці у сільськогосподарському виробництві (НПАОП), державних санітарних правил щодо зберігання і застосування пестицидів і мінеральних добрив і спеціальних положень, що регламентують застосування добрив на зрошуваних та орних землях. Ці документи закладають вимоги щодо створення безпечних умов праці, проведення інструктажів, навчання, медичних оглядів та організації робочого процесу з урахуванням хімічної небезпеки.

Перед початком робіт необхідно провести повну оцінку професійних ризиків, пов'язаних із застосуванням рідких добрив: хімічне ураження шкіри та слизових, інгаляційне отруєння (зокрема аміачною водою), опіки при контакті концентрованих розчинів, ризик витоків та екологічного забруднення, механічні ризики при роботі з технікою підживлювачів. На підставі оцінки розробляється інструкція з охорони праці для конкретних робіт у саду, де вказуються технологічні карти, норми внесення, безпечні методи роботи та заходи щодо запобігання аваріям. Рекомендується також у проекті робіт визначити зони підвищеної небезпеки (зони змішування добрив, заправки бака, робочі смуги під час внесення) та встановити порядок доступу до них.

До робіт із рідкими мінеральними добривами допускаються працівники, які пройшли попередній та періодичні медичні огляди й не мають медичних протипоказань (наприклад, серцево-судинні або респіраторні захворювання, вагітність тощо). Заборонено залучати до таких робіт осіб віком до 18 років, вагітних і матерів, що годують. Усі працівники повинні пройти інструктаж (вступний, первинний на робочому місці, позаплановий і цільовий), а також навчання з правил використання обладнання, засобів індивідуального захисту та дій при аваріях. Навчання має документально фіксуватися в журналах інструктажів.

Внесення рідких добрив слід організувати з дотриманням технологічних карт,

норм і режимів подачі, передбачених для конкретних культур і ґрунтів. Підживлювачі та трактори повинні бути технічно справними: герметичні баки, справні насоси, відрегульовані дозатори і розподільні елементи, наявність поплавкових та запірних клапанів, фільтрів і пристроїв для аварійної зупинки. Перед початком робіт проводиться регламентний огляд техніки, перевірка на відсутність витоків і пошкоджень трубопроводів, з'єднань та форсунок. Внесення під час сильного вітру, опадів або при температурних режимах, що підвищують ризик випарів або стікання – забороняється. Важливо також дотримуватися правил сумісності добрив і не допускати самовільного змішування складів на полі без схваленої технології.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): захисними комбінезонами або фартухами з хімічно стійких матеріалів, гумовими або іншими хімічно стійкими рукавичками, захисними окулярами або щитками, респіраторами або протигазами у разі наявності аерозолів/парів, водонепроникним взуттям. ЗІЗ повинні відповідати нормативним вимогам і зберігатися окремо від речовин. Для колективного захисту рекомендується на місцях заправки і обслуговування встановити стаціонарні або мобільні елементи для обмеження доступу (перила, огорожі), збірні піддони під ємності, пристрої локалізації витоків. В інструкції вказується порядок використання, очищення та утилізації ЗІЗ.

Місця зберігання та заправки рідких добрив повинні відповідати санітарним та пожежним вимогам: твердий, впорядкований майданчик із захистом від стоків у довкілля, наявність нейтралізовальних засобів (пізніше – для локалізації та збору проливів), яскраве маркування ємностей із вказівкою вмісту та класу небезпеки. Заправка робочих баків повинна виконуватися на спеціально відведених майданчиках із піддонами чи герметичним приймачем, з використанням насосів і рукавів із запірною арматурою, що виключає розбризкування. Особи, що виконують заправку, повинні працювати у засобах індивідуального захисту і мати інструкції на випадок розливу.

Дії при аваріях, розливах і отруєннях.

Необхідно мати затверджені плани ліквідації аварій, інструкції першої допомоги при контакті з рідинами, організований запас протиотрут та спеціальних розчинів для промивання очей і шкіри (душі для аварійного змивання), а також засоби зв'язку для

виклику медичної допомоги. Працівники повинні знати алгоритм дій при витокі: негайна евакуація, локалізація витоків, повідомлення керівництва, застосування нейтралізаторів і збір у герметичну тару для утилізації згідно з нормативами. Після інциденту складається акт і проводиться розслідування з метою запобігання повторенню.

Екологічні та суспільні заходи.

План робіт має передбачати захист довкілля: дотримання меж внесення, уникнення потрапляння добрив у водойми та нафтопродуктозахисні зони, застосування буферних смуг та коригування режимів внесення при високому рівні ґрунтових вод. Також рекомендовано інформувати персонал та мешканців прилеглих територій про заплановані роботи (особливо при використанні летких азотних форм), встановлювати попереджувальні таблички на час робіт у саду.

Підприємство має вести журнал робіт із детальною фіксацією складів добрив, норми внесення, імен персоналу, результатів технічних оглядів і інструктажів. Регулярні внутрішні перевірки та зовнішні аудит-інспекції (за потреби) дозволяють підтримувати відповідність нормативам. При запровадженні нових технологій (нові підживлювачі, інші хімічні склади) необхідне проведення оцінки безпеки та коригування заходів охорони праці.

Висновок. Комплекс заходів з охорони праці при прикореневому внесенні рідких добрив у садах повинен поєднувати нормативно-правове забезпечення, попередню оцінку ризиків, правильну організацію технологічного процесу, забезпечення ЗІЗ та колективних засобів захисту, підготовку персоналу, чіткі процедури на випадок аварій і систему контролю. Дотримання зазначених заходів зменшує ризики професійних захворювань і нещасних випадків, запобігає екологічним шкодам і відповідає вимогам українського законодавства та галузевих правил

4.2 Надзвичайні ситуації, що виникають при прикореневому внесенні рідких добрив у садах

Процес прикореневого внесення рідких мінеральних добрив у садах належить до технологічних операцій підвищеної безпеки, оскільки

передбачає використання хімічно активних речовин, обладнання, що працює під тиском, та експлуатацію сільськогосподарської техніки на складному рельєфі садових ділянок. Такі умови створюють низку потенційних ризиків, які за певних обставин можуть перерости у надзвичайні ситуації різного характеру. Вони можуть бути хімічними, технічними, екологічними, організаційними або санітарно-гігієнічними, а їх усвідомлення та передбачення є необхідним елементом безпечного проведення агротехнічних робіт.

Одним із найбільш поширених типів надзвичайних ситуацій є хімічні аварії, що виникають при неправильному поводженні з рідкими добривами, порушенні герметичності обладнання або недотриманні технології внесення. Рідкі добрива, особливо такі як аміачна вода, КАС чи інші концентровані азотні розчини, мають підвищену агресивність та здатні викликати хімічні опіки, подразнення слизових оболонок і гострі отруєння при вдиханні парів. У садах, де оператор змушений працювати у безпосередній близькості до дерев та іноді в умовах обмеженої вентиляції між рядами, ризик інгаляційного впливу значно зростає. Однією з типових надзвичайних ситуацій є витік або розлив рідкого добрива, що виникає внаслідок пошкодження шлангів, перегину трубопроводів, несправності запірної арматури або перевищення робочого тиску. Розливи можуть супроводжуватися утворенням токсичних парів, які становлять небезпеку для працівників, порушують екологічний стан ділянки та можуть призводити до забруднення ґрунтових вод.

Окрему небезпеку становить підвищене випаровування добрив при високих температурах повітря. Особливо це стосується аміачних розчинів, які при нагріванні інтенсивно утворюють пари, що можуть швидко поширюватися між рядами саду, створюючи загрозу отруєння персоналу. У безвітряних умовах концентрація таких парів може досягати небезпечних рівнів, а за помірного вітру – переноситися у зони, де працюють люди або розташовані інші насадження.

Крім хімічних небезпек, значну частку надзвичайних ситуацій становлять технічні аварії. Підживлювачі працюють під тиском, який зазвичай становить 4–6 атмосфери, що забезпечує рівномірну подачу рідини до ґрунту. У разі

порушення цілісності трубопроводів або фітингів може виникнути розрив шланга під тиском, що супроводжується викидом рідини у вигляді струменя високої сили. Такий струмінь здатен завдати фізичних травм або хімічних уражень при потраплянні на шкіру чи в очі. Якщо аварія стається в міжрядді, де перебувають інші працівники, можливе одночасне ураження кількох осіб.

Також нерідко трапляються ситуації, пов'язані з відмовою насосно-розподільної системи, коли несправність призводить до неконтрольованого збільшення або зменшення дози внесення добрив. Унаслідок цього може статися як надмірне насичення прикореневої зони розчином, що є небезпечним для рослин, так і раптове скидання тиску, що спричиняє зворотний витік через форсунки. Додатковим джерелом ризику є поломки механічних компонентів підживлювача або трактора – неконтрольоване переміщення, відмова гідравлічної системи чи вимкнення двигуна під час руху можуть призвести до зіткнення з деревами, ДТП на внутрішньогосподарських дорогах або перекидання техніки на нерівному рельєфі.

Окремої уваги заслуговують організаційні надзвичайні ситуації, які виникають у разі недотримання правил безпеки персоналом. Якщо до роботи допускаються особи без відповідного інструктажу чи практичної підготовки, суттєво збільшується ймовірність помилок при налаштуванні обладнання, виборі норм внесення або реагуванні на аварійну ситуацію. Важливим фактором є врахування метеорологічних умов. Робота під час сильного вітру збільшує ризик перенесення розчину на працівників та рослини, які не повинні контактувати з добривом. Робота під час дощу або після нього створює небезпеку змивання добрив у нижчі частини саду та в природні водойми. Високі температури сприяють випаровуванню аміаку, що безпосередньо впливає на здоров'я людей і мікроклімат у саду.

Усі ці ситуації неминуче мають екологічний аспект, який нерідко перетворює виробничу аварію на надзвичайну екологічну подію. Найнебезпечнішим є масове потрапляння рідких добрив у поверхневі або підземні води. Розливи у безпосередній близькості до дренажних систем або каналів зрошення можуть швидко поширювати хімічні речовини по великій

площі, спричиняючи загибель мікроорганізмів, зміну кислотності ґрунтів та накопичення нітратів у водоймах. Не менш небезпечною є ситуація, коли через відмову системи дозування добрива вносяться у надмірних кількостях у прикореневу зону. Це викликає так звані «хімічні опіки» коренів, відмирання частини кореневої системи та пригнічення ростових процесів, а в окремих випадках – загибель дерев.

Серйозною проблемою є також санітарно-епідеміологічні надзвичайні ситуації, що виникають у разі отруєнь персоналу. При роботі з рідкими добривами працівники можуть зазнавати як гострих, так і хронічних отруєнь, особливо при тривалому контакті з аміачними парами або стійкими азотними сполуками. До таких ситуацій належать випадки потрапляння рідких добрив на шкіру, у дихальні шляхи або очі. Неправильно очищений чи забруднений робочий одяг стає вторинним джерелом небезпеки, оскільки зберігає залишки хімічних речовин, які продовжують впливати на працівника навіть після завершення роботи. Особливо небезпечне потрапляння добрив у побутові приміщення, місця зберігання продуктів чи питної води – такі інциденти вимагають негайної санітарної обробки та можуть бути класифіковані як надзвичайні.

Таким чином, надзвичайні ситуації при прикореновому внесенні рідких добрив у садах охоплюють широкий спектр подій – від локальних технічних аварій до екологічних і санітарних катастроф. Їх виникненню сприяють технічні несправності, недотримання технології внесення, неповне забезпечення працівників засобами захисту, недоліки в організації робіт і порушення правил поводження з хімічними речовинами. Для мінімізації ризиків необхідно дотримуватися вимог охорони праці, регулярно проводити технічний контроль обладнання, забезпечувати персонал засобами індивідуального захисту, суворо регламентувати умови та режими роботи, а також мати розроблені плани дій у разі аварійних ситуацій. Лише комплексний підхід до безпеки дозволяє забезпечити стабільне функціонування садівничого господарства та запобігти виникненню надзвичайних ситуацій різної природи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз природно-виробничих умов засвідчив, що Лісостепова зона України є однією з ключових територій для розвитку інтенсивного садівництва та ягідництва. Помірно континентальний клімат з сумою активних температур у межах 26–30 °С, середньорічною кількістю опадів 500–600 мм та поширенням родючих чорноземних і сірих лісових ґрунтів створюють сприятливі умови для стабільного формування врожаїв плодових і ягідних культур. Водночас встановлені відмінності між західною та східною частинами Лісостепу щодо зволоження і температурного режиму зумовлюють необхідність адаптації сортового складу та технологій вирощування до конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

Аналіз структури садових насаджень підтвердив провідну роль Лісостепу у виробництві товарної продукції садівництва України. Частка зерняткових культур, зокрема яблуні, перевищує 50 %, тоді як кісточкові та ягідні культури займають близько 30–35 %. Поширення інтенсивних імунних сортів із потенційною врожайністю 35–50 т/га свідчить про перехід галузі до ресурсозберігаючих технологій, де ключове значення має раціональна система живлення рослин. Доведено, що ефективність використання поживних речовин значно зростає за умови локального ґрунтового внесення рідких мінеральних добрив на глибину залягання активної кореневої системи, яка для плодових культур становить 300–450 мм.

Огляд існуючих машин і технологій для внесення рідких добрив у садах показав, що більшість технічних рішень забезпечує глибину обробітку не більше 200–300 мм, що є недостатнім для інтенсивних насаджень. У цьому контексті підживлювач МГУС-2,5 розглядається як перспективна машина для глибокого внесення добрив, однак результати аналітико-дослідницького розділу виявили суттєві конструктивні обмеження її базового виконання.

Дослідження конструкції МГУС-2,5 показали, що за твердості ґрунту,

характерної для багаторічних насаджень Лісостепу (до 4,0 МПа), фактична глибина занурення голчастих коліс не перевищує 220–260 мм, що майже на 40 % менше від нормативної глибини внесення 400 мм. Встановлено, що це обмеження зумовлене геометричними параметрами голчастого колеса — діаметром, довжиною голок та розмірами маточини, які фізично обмежують хід робочих органів. При цьому реальна глибина розміщення осередку добрив є ще меншою і становить у середньому 180–210 мм.

Аналітичні розрахунки показали, що для забезпечення заглиблення голок на максимально можливу глибину за твердості ґрунту 4,0 МПа необхідне вертикальне навантаження на одне голчасте колесо перевищує 4,5–5,0 кН. Такий рівень навантаження не може бути реалізований за рахунок маси машини без перевищення допустимих навантажень на причіпний пристрій трактора класу 1,4. Це свідчить про те, що підвищення ефективності роботи підживлювача не може бути досягнуте лише шляхом збільшення маси агрегату або зміни режимів руху, а потребує конструктивного вдосконалення робочих органів.

У результаті досліджень обґрунтовано доцільність модернізації голчастого колеса шляхом зменшення кількості голок, оптимізації їх поперечного перерізу та збільшення діаметра колеса. Розрахунки показали, що такі зміни дозволяють знизити питомий опір ґрунту проникненню робочих органів на 20–25 % і створити передумови для досягнення глибини внесення добрив 350–400 мм без критичного зростання вертикальних навантажень.

У проєктно-рекомендаційному розділі виконано перевірку міцності зварного з'єднання кріплення голки до маточини модернізованого голчастого колеса. Розрахунки показали, що за нормального режиму роботи напруження у зварному шві не перевищують 40–50 % від допустимих для прийнятого матеріалу, що відповідає коефіцієнту запасу міцності не менше 2,0. У аварійно-небезпечному режимі, пов'язаному з наїздом голки на тверду перешкоду, максимальні напруження також не перевищують допустимих значень, що підтверджує достатню надійність і працездатність вузла в реальних умовах

експлуатації.

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що запропоновані конструктивні зміни є технічно обґрунтованими та забезпечують підвищення ефективності роботи підживлювача МГУС-2,5 за рахунок збільшення глибини внесення рідких мінеральних добрив до рівня, який відповідає вимогам інтенсивних технологій садівництва. Модернізована конструкція не потребує суттєвого ускладнення машини або збільшення її маси, зберігає надійність у штатних і аварійних режимах роботи та може бути рекомендована до впровадження при серійному виробництві або модернізації існуючих машин.

У роботі розглянуті питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях показали, що прикоренеve внесення рідких добрив у садах є технологічною операцією підвищеної небезпеки, яка потребує суворого дотримання нормативних вимог, комплексної оцінки професійних і екологічних ризиків та чіткої організації виробничого процесу. Забезпечення технічної справності підживлювачів, належної підготовки персоналу, застосування засобів індивідуального й колективного захисту, а також наявність відпрацьованих алгоритмів дій у разі аварій і надзвичайних ситуацій дозволяє суттєво знизити ймовірність травматизму, професійних отруєнь і негативного впливу на довкілля та забезпечує відповідність робіт чинному законодавству України і вимогам безпечного ведення садівництва.

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, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 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., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian*

Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2024. Vol. 10(41)_I. 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).

10. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. (2024) 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, pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.

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

12. 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>.

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

14. 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.

15. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine / Andrii Babii, Bohdan Blashchak // Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2025. Vol 118. No 2. P. 117–127.

16. 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.

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

18. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою

збільшення його продуктивності. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

19. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.

20. 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.

21. 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.

22. 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.

23. Бабій А.В., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

24. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_І. С.

216-226.

25. 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.

26. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.

27. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79.

28. 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.

29. 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.

30. 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.

31. Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш, С. Т. Михайлюк. Аналіз переміщень елементів пристрою для дообрізання гички. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.44-46.

32. 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.

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

34. 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.

35. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.

36. Михайлюк С. Захист сільськогосподарських рослин з використанням агродронів. Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання: зб. тез. VIII міжнар. студентської наук.-техн. конф. м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р. Тернопіль. ТНТУ, 2025. С. 16-17.

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 розрахунків 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. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк , М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 106 с.

ДОДАТКИ