ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Удосконалення обприскувального агрегату для підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин»

КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти бакалавр
групи 133ГМбд_41
МИГАЛЕНКО Олександр

Керівник: старший викладач
ПРІЛЄПО Наталія

Полтава - 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва»*
Спеціальність 133 «*Галузеве машинобудування*»
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри механічної та електричної інженерії,
канд. техн. наук, доцент
_____ Станіслав ПОПОВ
«03» грудня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

МИГАЛЕНКО Олександр

1. Тема роботи: «Удосконалення обприскувального агрегату для підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин»,
керівник роботи **старший викладач ПРІЛЄПО Наталія**
затверджено наказом ПДАУ від «25» грудня 2025 року № 1508-ст.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи - «01» червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: наукові публікації, стандарти та норамтивні документи з питань розробки обприскувальних агрегатів, базовий штанговий обприскувач навісного типу з місткістю бака 2000 л, шириною захвату штанги 18 м, експлуатаційною робочою швидкістю руху агрегату 8 км/год, тиском у магістралі 0,2…0,5 МПа, нормою внесення робочого розчину 200 л/га, орієнтовний агрегатуючий трактор класу 1,4.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Розділ 1. Загальний.
Розділ 2. Технологічний.
Розділ 3. Конструкторський.
Розділ 4. Економіка, охорона праці та навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу: складальний кресленик удосконаленого обприскувального агрегату; складальний кресленик вузла маятникової

підвіски штанги; робочий кресленик деталі та її заготовки (вісь повороту секції штанги); схема технологічного процесу механічної обробки деталі; складальний кресленик інжекторного розпилювача ID-120-03.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи:

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Завдання видав	Завдання отримав
Практична реалізація розробок	Надія ОПАРА, професорка кафедри механічної та електричної інженерії		
	Петро МАКАРЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7. Дата видачі завдання «03» грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і затвердження теми роботи		
2	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу		
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання з розділів роботи		
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі		
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти _____ Олександр МИГАЛЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія ПРІЛЄПО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 3 додатки, 8 рисунків, 8 таблиць, 30 використаних джерел, обсяг 70 сторінок.

Об'єкт розробки – обприскувальний агрегат для механізованого внесення засобів захисту рослин на посівах польових культур.

Предмет розробки – система забезпечення рівномірності розподілу робочої рідини за шириною захвату штанги обприскувача за рахунок удосконалення підвіски, гідравлічної схеми та комплектування інжекторними розпилювачами.

Постановка актуальної технічної задачі – виявити основні чинники, що зумовлюють перевищення коефіцієнта варіації розподілу робочої рідини понад нормативні 10 %, та обґрунтувати конструктивно-технологічні рішення, спрямовані на зниження цього показника до 5…7 % за рахунок одночасного впливу на стабільність положення штанги, стабільність робочого тиску у магістралі та параметри розпилювачів.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин штанговим обприскувачем за рахунок одночасного удосконалення маятникової підвіски штанги, впровадження автоматичного регулювання тиску за швидкістю руху агрегату та заміни щілинних розпилювачів на пневмогідравлічні інжекторні з керамічною вставкою.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – зниження непродуктивних втрат пестицидних препаратів, зменшення зносу робочого розчину вітром та зростання біологічної ефективності захисту, що своєю чергою дозволяє зменшити пестицидне навантаження на агроценоз на 12…18 % за збереження або підвищення дієвості захисних заходів.

У **загальному розділі** узагальнено сучасний стан механізації захисту рослин, класифіковано конструкції обприскувальних агрегатів,

Полтавський державний аграрний університет

проаналізовано чинники, які впливають на рівномірність внесення робочої рідини, та обґрунтовано напрямок удосконалення базової машини.

У **технологічному розділі** розроблено технологічний процес виготовлення осі повороту секції штанги обприскувача із сталі 40Х, виконано вибір заготовки методом штампування на молотах, обґрунтовано припуски на механічну обробку, розраховано режими різання для основних токарних, фрезерних та шліфувальних операцій.

У **конструкторському розділі** обґрунтовано конструктивне рішення удосконаленої маятникової підвіски штанги, виконано розрахунки витратної характеристики розпилювача, гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини, перевірочні розрахунки штанги на згинання та крутіння в режимі польових коливань.

У розділі **економіки, охорони праці та навколишнього середовища** обчислено очікуваний річний економічний ефект від удосконалення, обґрунтовано безпечні умови праці оператора-обприскувача, описано заходи із зменшення зносу робочого розчину та запобігання забрудненню водойм.

Практичні результати роботи – розроблений комплект конструкторської документації на удосконалений штанговий обприскувач: маятникова підвіска штанги з гідропневматичним демпфером, секційне керування подачею робочої рідини з електромагнітними клапанами, комплект інжекторних розпилювачів ID-120-03 з кутом факела розпилу 120° та витратою 1,18 л/хв при тиску 0,3 МПа.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – удосконалений обприскувач рекомендовано до застосування у складі машинно-тракторного агрегату з тракторами тягового класу 1,4 при суцільному обприскуванні польових культур на стадіях вегетації до фази стеблування.

Сфера застосування результатів роботи – виробництво та модернізація навісних і причіпних штангових обприскувачів вітчизняного та

Полтавським державним аграрним університет

закордонного виробництва на підприємствах агропромислового комплексу України.

Графічна частина роботи становить 5 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність тексту – 98%.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці конструктивно-технологічних рішень, що забезпечують підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин штанговим обприскувачем. У роботі обґрунтовано доцільність одночасного удосконалення трьох підсистем агрегату: підвіски штанги, гідравлічного контуру та комплекту розпилювачів. Запропонована маятникова підвіска з гідропневматичним демпфером гасить вертикальні коливання штанги в межах не більше 30 мм за робочої швидкості 8 км/год. Електромагнітне секційне керування виключає подвійне нанесення пестицидів на перекриттях суміжних проходів, а інжекторні розпилювачі ID-120-03 з керамічною вставкою забезпечують стабільність витрати у діапазоні робочих тисків від 0,2 до 0,5 МПа з коефіцієнтом варіації не більше 5 %. Розроблено технологічний процес виготовлення осі повороту секції штанги, виконано перевірочні гідравлічні та міцнісні розрахунки.

ОБПРИСКУВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ, ШТАНГА, РОЗПИЛЮВАЧ ІНЖЕКТОРНИЙ, КОЕФІЦІЄНТ ВАРІАЦІЇ, МАЯТНИКОВА ПІДВІСКА, СЕКЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН, РІВНОМІРНІСТЬ ВНЕСЕННЯ.

Полтавський державний аграрний університет

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ 3
АНОТАЦІЇ 5
ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ 9
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ 24
2.1 Призначення та технічна характеристика базової деталі 24
2.2 Аналіз матеріалу деталі та вибір заготовки 25
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку 27
2.4 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі 29
2.5 Розрахунок режимів різання 31
2.6 Висновки до розділу 33
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ 35
3.1 Обґрунтування конструктивного рішення щодо вдосконалення обприскувального агрегату 35
3.2 Розрахунок основних параметрів розпилювальної системи 37
3.3 Гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини 39
3.4 Розрахунки на міцність елементів конструкції штанги 42
3.5 Опис вдосконаленої конструкції обприскувального агрегату 44
3.6 Висновки до розділу 46
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 47
4.1 Техніко-економічне обґрунтування упровадження запропонованих рішень 47
4.2 Вимоги безпеки праці при експлуатації обприскувального агрегату 51
4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища 53
4.4 Висновки до розділу 54
ВИСНОВКИ 56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 59
ДОДАТКИ 64

Полтавський державний аграрний університет

					КРБ.133ГМбд_41.19.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мигаленко О.			Удосконалення обприскувального агрегату для підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Прілєпо Н.					6	68
Н. Контр.		Прілєпо Н.				ПДАУ, 2026		
Затверд.		Попов С.						

ВСТУП

Хімічний захист рослин у сучасному агропромисловому виробництві лишається базовим, а в багатьох ланцюгах вирощування, безальтернативним технологічним прийомом, від якості виконання якого безпосередньо залежать урожайність, товарна якість продукції та економічна стійкість сільськогосподарських підприємств. Згідно з даними Державної служби статистики України, обсяги застосування пестицидів у вітчизняному рослинництві за останнє п’ятиріччя стабільно перевищують 90 тис. т на рік, водночас частка площ, на яких хоча б один раз протягом сезону здійснюється обробка засобами захисту рослин, наближається до 95 % від загальної посівної площі.

У структурі експлуатаційних витрат сучасних агрофірм вартість пестицидних препаратів займає від 18 до 32 % залежно від спеціалізації виробництва, що робить нерівномірність розподілу робочої рідини за шириною захвату штанги обприскувача одним з найвагоміших джерел непродуктивних втрат. Як свідчать результати міжнародних і вітчизняних випробувань, на кожен відсоток коефіцієнта варіації розподілу робочого розчину припадає у середньому 0,4 % об’єму його непродуктивного використання, тобто за нерівномірності у 25 %, що цілком характерно для зношених або погано налаштованих штангових агрегатів, безповоротно втрачається до 10 % дорогих хімікатів.

Об’єктом розробки є обприскувальний агрегат, призначений для механізованого нанесення засобів захисту рослин на посіви польових культур. Предметом розробки виступає система забезпечення рівномірності розподілу робочої рідини за шириною захвату штанги, яка об’єднує підвіску штанги, гідравлічний контур подачі рідини та комплект розпилювачів. Технічна задача роботи полягає у виявленні ключових чинників, що зумовлюють перевищення коефіцієнта варіації розподілу понад нормативні 10 %, та у пошуку конструктивно-технологічних рішень, які дозволяють знизити цей показник

Полтавський державний аграрний університет

до 5…7 % за рахунок одночасного впливу на стабільність положення штанги, стабільність робочого тиску в магістралі та параметри розпилювачів.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні рівномірності внесення засобів захисту рослин штанговим обприскувачем шляхом одночасного удосконалення маятникової підвіски штанги, упровадження автоматичного регулювання тиску за швидкістю руху агрегату та заміни щілинних розпилювачів на пневмогідравлічні інжекторні з керамічною вставкою. Досягнення цієї мети потребувало вирішення низки взаємопов'язаних завдань: огляду сучасного стану механізації захисту рослин в Україні та світі, аналізу типових конструкцій штангових обприскувачів, вивчення чинників, що впливають на рівномірність розподілу робочої рідини, обґрунтування конструктивного рішення удосконаленого вузла, виконання гідравлічних та міцнісних розрахунків, розробки технологічного процесу виготовлення характерної деталі удосконаленої машини, а також оцінки очікуваного економічного ефекту запропонованих рішень.

Методичну основу дослідження склали загальнонаукові методи аналізу та синтезу, методи теоретичної механіки і гідравліки, методи теорії машин і механізмів, інженерні методи розрахунку конструкцій на міцність, методи технологічної підготовки виробництва, а також методи техніко-економічного аналізу. Інформаційну базу склали відкриті матеріали вітчизняних і закордонних авторів, опублікані переважно за останні п'ять років у рецензованих наукових журналах та університетських репозитаріях, а також технічна документація провідних виробників обприскувального обладнання та нормативні документи системи ДСТУ.

Наукова та практична новизна одержаних результатів полягає у тому, що для умов вітчизняного агровиробництва запропоновано комплексне рішення проблеми рівномірності внесення засобів захисту рослин, яке поєднує конструктивне удосконалення підвіски штанги, схемотехнічне рішення гідравлічного контуру з електромагнітним секційним керуванням та обґрунтований вибір типу розпилювачів з керамічними вставками.

Полтавський державний аграрний університет

Запропоноване рішення дозволяє знизити коефіцієнт варіації розподілу робочої рідини до значень, які відповідають нормативним вимогам ДСТУ EN 13790-1:2006 «Обприскувачі. Перевірка обприскувачів в експлуатації. Частина 1. Обприскувачі для польових культур».

У межах кваліфікаційної роботи розроблено комплект конструкторської документації на удосконалений штанговий обприскувач, обґрунтовано технологічний процес виготовлення характерної деталі та виконано економічну оцінку доцільності упровадження. Результати роботи можуть бути використані конструкторськими підрозділами підприємств агромашинобудування, агросервісними центрами при модернізації наявного парку обприскувачів, а також сільськогосподарськими підприємствами для оптимізації власних технологій захисту рослин.

Структурно пояснювальна записка складається з реферату, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та трьох додатків загальним обсягом 70 сторінок. Графічна частина роботи виконана на п’яти аркушах формату А1 і містить складальний кресленик удосконаленого обприскувача, складальний кресленик маятникової підвіски штанги, робочий кресленик осі повороту секції штанги, схему технологічного процесу її виготовлення та складальний кресленик інжекторного розпилювача.

Полтавським державним аграрним університет

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Аналіз сучасного стану механізації захисту рослин у сільському господарстві

Сучасний етап розвитку аграрного виробництва в Україні характеризується послідовним переходом від екстенсивних форм землеробства до інтенсивних, в основі яких лежать ресурсо- та енергоощадні технології з високим рівнем механізації окремих ланок. У структурі цих технологій система хімічного захисту рослин традиційно розглядається як один із чотирьох обов'язкових елементів, поряд з обробітком ґрунту, сівбою та удобренням. Згідно з аналітичними оглядами Української асоціації захисту рослин, річні обсяги внесення засобів захисту рослин у вітчизняному рослинництві за період з 2019 по 2024 рік, хоч і коливалися через активні військові дії, стабільно перебувають у діапазоні 19…25 тис. т, причому понад дві третини цього обсягу припадають на гербіциди, біля 13 %, на фунгіциди, решта, на інсектициди, акарициди та засоби протруювання насіння. В той же час, під урожай 2025 року (за даними регіональних управлінь статистики) зафіксовано часткове відновлення інтенсивності обробок: обсяги внесених пестицидів в активній речовині в деяких областях зросли на 31,9% порівняно з попереднім роком [13].

Закономірним наслідком зростання обсягів пестицидного навантаження є посилення суспільної уваги до екологічних аспектів обприскування, що своєю чергою формує запит на технічні рішення, здатні зменшити непродуктивний знос робочого розчину вітром, виключити подвійне нанесення на перекриттях суміжних проходів і знизити нерівномірність розподілу препарату за шириною захвату штанги. У документі «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках» у рамках Стратегічних цілей 4. Ефективне використання земель, їх розмінування, проведення земельної реформи та 5

Полтавський Державний аграрний університет

Кліматично орієнтоване сільське господарство: пом'якшення наслідків змін клімату та адаптація до них [22], вказано на необхідність зменшення річних обсягів пестицидного навантаження, що передбачає гармонізацію застосування ЗЗР з нормами ЄС та оптимізацію їх використання через цифровізацію і точне землеробство, та є неможливим без модернізації наявного парку обприскувачів.

Стан вітчизняного парку обприскувальної техніки залишається неоднорідним: за оцінками авторів роботи [3], до 35 % агрегатів, що перебувають в експлуатації у середніх і дрібних господарствах, мають вік понад 15 років, причому значна частина з них продовжує комплектуватися морально застарілими щілинними розпилювачами з істотним відхиленням витрати рідини від паспортних характеристик. Натомість провідні агрохолдинги дедалі активніше упроваджують самохідні штангові обприскувачі шириною захвату 24…36 м з електронними системами автоматичного керування секціями та змінною нормою внесення на основі картографічних завдань.

Аналіз номенклатури обприскувальної техніки, представленої на вітчизняному ринку, дозволяє стверджувати, що штангові обприскувачі домінують на ринку сільськогосподарської обприскувальної техніки, що пояснюється їх універсальністю для основних польових культур. Це обумовлено й тим, що штангові машини забезпечують найбільш сприятливе поєднання продуктивності, точності внесення та зручності експлуатації на польових культурах суцільної сівби, тобто на тій категорії посівів, що складає основу вітчизняної землеробської спеціалізації. Менш поширеними є вентиляторні обприскувачі, які застосовуються переважно у плодовому і виноградарському виробництві, а також аерозольні установки спеціального призначення.

Окремої уваги заслуговує тенденція швидкого зростання популярності безпілотних літальних апаратів-обприскувачів у структурі вітчизняного агровиробництва. За даними галузевого аналітичного огляду [1], якщо раніше

Полтавський державний аграрний університет

дрони застосовували переважно для моніторингу посівів, то нині їхній функціонал активно розширюється у напрямі внесення засобів захисту рослин, а площа полів, оброблених дронами-обприскувачами в Україні, лише за три роки перевищила 2,5 млн га; за прогнозами фахівців, упродовж найближчих років ринок агродронів може зрости в кілька разів. Водночас навіть за оптимістичних прогнозів штангові агрегати залишаються основним засобом внесення гербіцидів на польових культурах суцільної сівби, що зберігає за конструктивно-технологічним удосконаленням саме штангових обприскувачів пріоритетне значення.

Підсумовуючи проведений аналіз сучасного стану механізації захисту рослин, варто наголосити, що ключовим напрямом розвитку обприскувальної техніки на найближчу перспективу залишається підвищення точності внесення робочої рідини за збереження або зростання продуктивності машинно-тракторних агрегатів. Саме на досягнення цього результату спрямовані конструктивні рішення, що пропонуються у даній кваліфікаційній роботі.

1.2 Огляд конструкцій обприскувальних агрегатів та їх класифікація

У сільськогосподарському машинобудуванні склалася розгалужена класифікація обприскувальних агрегатів, побудована за низкою ознак: за способом нанесення робочої рідини, за способом агрегатування з енергетичним засобом, за конструктивною схемою робочого органу, за принципом дроблення робочої рідини, за кратністю обприскувань протягом сезону. Розгляд цих класифікаційних ознак дозволяє позиціонувати об'єкт удосконалення серед інших типів машин та виокремити ту групу конструктивних рішень, що становить найбільший інтерес для удосконалення.

За способом нанесення робочої рідини обприскувачі поділяються на гідравлічні, пневматичні, пневмогідравлічні, відцентрові та електростатичні. У сегменті польового рослинництва домінують гідравлічні обприскувачі, у

Полтавський державний аграрний університет

яких дроблення робочої рідини на краплі здійснюється під дією тиску при проходженні через калібрований отвір розпилювача. Пневмогідравлічні машини відрізняються наявністю додаткового потоку повітря, що або вприскується у розпилювач або примусово нагнітається компресором, утворюючи так званий повітряний рукав. Відцентрові обприскувачі застосовуються переважно у малотоннажному обладнанні і характеризуються монодисперсним спектром розпилу. Електростатичні системи перебувають на стадії експериментальних розробок і поки не отримали широкого промислового упровадження.

За способом агрегатування з енергетичним засобом обприскувачі підрозділяються на навісні, причіпні, напівпричіпні та самохідні. Навісні агрегати характеризуються відносно невеликим об'ємом бака (як правило, у межах 200…1200 л) і шириною захвату до 24 м, що визначає сферу їх застосування переважно у середніх і дрібних господарствах. Причіпні машини мають бак ємністю від 2000 до 12000 л і ширину захвату від 18 до 48 м, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність за рахунок збільшення тривалості робочого циклу між заправками. Напівпричіпні обприскувачі займають проміжне положення між причіпними та самохідними: вони спираються на власний колісний хід і частково на тягач, що забезпечує кращу маневреність порівняно з причіпними машинами аналогічної місткості бака. Самохідні обприскувачі реалізують найвищий технологічний рівень і застосовуються переважно у потужних агроформуваннях, де економічно виправданим є придбання спеціалізованого шасі з власним силовим агрегатом, кліренсом до 1,8 м та автоматичною системою стабілізації штанги.

Полтавський державний аграрний університет

Рисунок 1.1 – Класифікація обприскувачів за способом агрегатування

Джерело: побудовано автором на основі джерел [3; 4; 7]

Як показано на рисунку 1.1, об’єкт даної кваліфікаційної роботи, штанговий обприскувач навісного типу з місткістю бака 2000 л і шириною захвату 18 м, займає проміжне положення між компактними навісними машинами та повноформатними самохідними агрегатами. Така конфігурація є оптимальною для середніх господарств з площею посівів від 800 до 2500 га, де річне завантаження обприскувача становить близько 12…16 тис. га обробок, а економічне обґрунтування придбання самохідного шасі ще не виконується.

За конструктивною схемою робочого органу штангові обприскувачі підрозділяються на машини з задньою (тильною) штангою, з фронтальною штангою та з центральним розташуванням штанги. Найпоширенішою компоновкою є задня штанга, оскільки вона забезпечує найкращий огляд робочого органу з кабіни оператора та зручність розгортання і складання штанги під час руху по дорогах загального користування. Фронтальна компоновка зустрічається переважно на самохідних обприскувачах підвищеної маневреності, центральна, на окремих моделях спеціалізованих машин фірми Stara та на певних моделях обприскувачів-причепів. Сама штанга залежно від конструкції каркаса буває трубчастою, ферменною та коробчастою; перші відзначаються простотою виготовлення і невеликою

Полтавський державний аграрний університет

масою, ферменні – підвищеною жорсткістю при значній ширині захвату, коробчасті – найвищою згинальною жорсткістю, що дозволяє збільшувати довжину секцій без суттєвого зростання маси конструкції. У вітчизняній практиці найширше представлені трубчасті та ферменні штанги шириною захвату від 18 до 36 м.

За принципом дроблення робочої рідини на краплі розпилювачі сучасних штангових обприскувачів поділяють на щілинні, вихрові (тангенціальні), інжекторні, дефлекторні та комбіновані. Щілинні розпилювачі, які стали історично першим масовим типом, забезпечують факел розпилу плоскої форми з кутом розкриття 80…120° і середньомасовим діаметром крапель у межах 200…400 мкм. Вихрові (тангенціальні) розпилювачі формують конічний факел розпилу з дрібнодисперсними краплями і застосовуються переважно для обробки просторових об'єктів – садів, виноградників, а у польовому обприскуванні використовуються обмежено. Дефлекторні розпилювачі працюють за принципом удару струменя рідини об відбивну поверхню, що забезпечує широкий плоский факел з великими краплями і застосовуються переважно для внесення рідких добрив. Інжекторні розпилювачі поєднують гідравлічний канал з повітряним інжектором, що дозволяє формувати краплі діаметром 400…700 мкм з повітряними бульбашками всередині, які при ударі об оброблювану поверхню розколюються, забезпечуючи якісне нанесення препарату навіть за умов підвищеної швидкості вітру. Комбіновані розпилювачі суміщають у одному корпусі кілька типів сопел, що дозволяє оператору перемикатися між режимами розпилу без заміни розпилювача. Серед інжекторних розпилювачів широко відомі моделі IDK та IDKT виробництва Lechler (Німеччина), AirMix – Agrotop (Німеччина), а також інжекторні серії Hypro (США); попри конструктивні відмінності, усі вони належать до drift-reduction технологій і розглядаються як одне з пріоритетних рішень для екологічно безпечного масового обприскування польових культур.

Полтавський державний аграрний університет

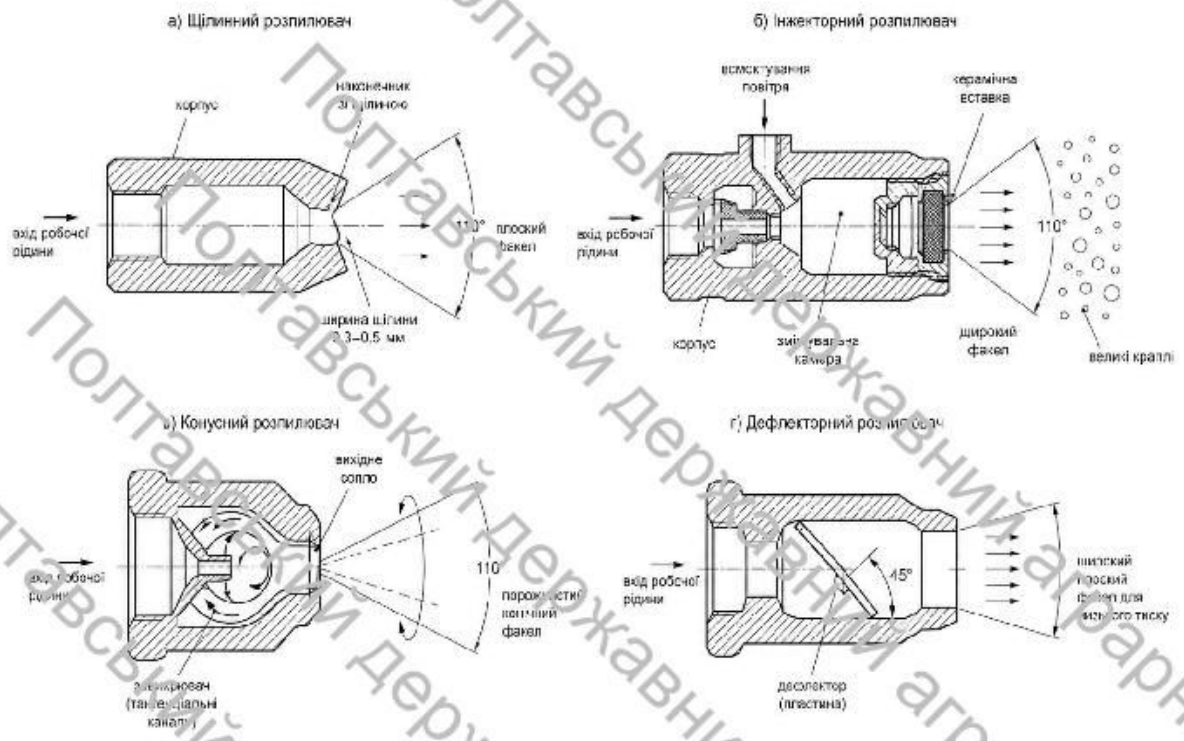


Рисунок 1.2 – Конструктивні схеми основних типів розпилювачів

Джерело: адаптовано автором на основі [11, 25]

Відомості, наведені на рисунку 1.2, дозволяють зіставити геометрію основних типів розпилювачів і зрозуміти, чому інжекторні моделі забезпечують найбільш стабільну витрату в широкому діапазоні робочих тисків. Наявність повітряного інжектора у розпилювачах серії IDK та IDKT Lechler підтримує постійний рівень розрідження у змішувальній камері, що демпфує коливання тиску у магістралі і робить вихідну витрату менш чутливою до зовнішніх збурень.

1.3 Аналіз факторів, що впливають на рівномірність внесення засобів захисту рослин

Рівномірність внесення робочої рідини за шириною захвату штанги обприскувача є інтегральним показником якості технологічного процесу, який залежить від великої кількості чинників технічного, технологічного та експлуатаційного характеру. У вітчизняних нормативних документах та технічних умовах рівномірність кількісно оцінюється коефіцієнтом варіації V

Полтавський державний аграрний університет

розподілу витрати рідини між окремими розпилювачами штанги. За міжнародними стандартами (ISO 5682-1, EN 13790-1) рівномірність розпилювачів для нового обладнання оцінюється допустимим коефіцієнтом варіації не більше 7 %, а для машин після кількох років експлуатації – не більше 10 %. Перевищення цих меж розглядається як підстава для зняття машини з технічного огляду до усунення невідповідностей.

Першим і за вагою найвпливовішим чинником, який зумовлює нерівномірність розподілу робочої рідини, є технічний стан розпилювачів. У процесі експлуатації відбувається поступовий знос калібрувального отвору, спричинений абразивною дією твердих частинок робочого розчину, кристалізацією залишків препаратів та дією на матеріал розпилювача агресивних компонентів пестицидних і добривних формуляцій; саме тому для роботи з абразивними та хімічно агресивними розчинами рекомендують застосовувати зносостійкі керамічні розпилювачі [24]. Унаслідок зносу фактична витрата робочої рідини через розпилювач поступово зростає порівняно з паспортним значенням, тому розпилювачі, відхилення витрати яких від середнього значення по штанзі перевищує 7 %, зважаються зношеними та підлягають заміні [16]. Оскільки знос окремих розпилювачів відбувається з різною інтенсивністю, природним наслідком є збільшення нерівномірності розподілу робочої рідини між суміжними розпилювачами штанги.

Другим вагомим чинником впливу є стабільність робочого тиску у магістралі штанги. Витрата розпилювача Q пропорційна квадратному кореню з робочого тиску p, що випливає з рівняння Бернуллі та фізичного змісту процесу витікання рідини через калібрований отвір:

$$Q = \mu \cdot F \sqrt{\frac{2p}{\rho}} \qquad (1.1)$$

де Q – об’ємна витрата рідини через розпилювач, м³/с;

μ – коефіцієнт витрати, для щілинних розпилювачів μ = 0,82…0,86, для інжекторних μ = 0,72…0,78;

F – площа калібрувального отвору, м²;

p – робочий тиск у магістралі, Па;

ρ – густина робочої рідини, кг/м³.

Як випливає з виразу (1.1), відносна нерівномірність витрати ΔQ/Q становить половину відносної нерівномірності тиску Δp/p. Це означає, що для дотримання вимог ДСТУ ЕН 13790-1:2019 щодо коефіцієнта варіації витрати на рівні 5…7 % допустима нерівномірність тиску у магістралі не повинна перевищувати 10…14 %. На практиці у звичайних штангових обприскувачах без секційного керування різниця тисків між крайніми і центральними розпилювачами штанги шириною захвату 18…24 м досягає 18…25 %, що однозначно виводить машину за межі нормативних значень рівномірності.

Третій важливий чинник, висота установлення штанги над поверхнею оброблюваних об'єктів. Для розпилювачів з кутом розкриття факела 110…120° оптимальною є висота 50…70 см над поверхнею рослинного покриву, за якої досягається подвійне перекриття факелів суміжних розпилювачів. Зменшення висоти штанги нижче 40 см призводить до появи ділянок з недостатнім перекриттям, а збільшення понад 80 см, до посилення зносу робочого розчину вітром і зростання нерівномірності у поперечному напрямку. Тому одним з ключових напрямів удосконалення сучасних обприскувачів є застосування ультразвукових датчиків відстані до поверхні поля, які у режимі реального часу коригують положення штанги через гідроциліндри ліво-правого балансування.

Четвертим чинником, який часто недооцінюється, є динамічна поведінка штанги під час руху агрегату по нерівному полю. Авторами роботи [18] експериментально встановлено, що за робочої швидкості 8 км/год амплітуда вертикальних коливань кінцевих секцій штанги шириною захвату 18 м без спеціальних демпферних пристроїв може досягати ±200 мм, а кутові коливання штанги відносно горизонталі, ±2,5°. Такі коливання спричиняють

Полтавський державний аграрний університет

періодичну зміну висоти розпилювача над оброблюваною поверхнею і, як наслідок, локальну зміну розподілу інтенсивності факела. Завдання конструкторського удосконалення штангових обприскувачів полягає у тому, щоб шляхом раціональної підвіски та демпферного обладнання знизити амплітуду коливань кінцевих секцій до значень не більше ±50 мм та кутових, до ±0,7°.

Таблиця 1.1 – Вплив основних чинників на рівномірність розподілу робочої рідини

Чинник впливу	Допустимий діапазон	Очікуване зростання V, %
Знос калібрувального отвору розпилювача	не більше 5 % від паспортного діаметра	3…8
Нерівномірність тиску по довжині штанги	не більше 10 % від робочого тиску	4…6
Відхилення висоти штанги від оптимальної	50…70 см над оброблюваним об'єктом	5…12
Вертикальні коливання кінцевих секцій	не більше ±50 мм	3…7
Кутові коливання штанги відносно горизонталі	не більше ±0,7°	2…5
Швидкість вітру при обприскуванні	не більше 4 м/с	4…15
Знос фільтрів-розпилювачів	регулярне очищення кожні 50 год	2…4

Джерело: узагальнено автором за матеріалами [10; 15; 23; 25]

Дані таблиці 1.1 переконливо демонструють, що жодний з перелічених чинників окремо не здатний цілком вивести обприскувач за межі нормативних вимог, проте їх сумарна дія цілком пояснює спостережувані у польових умовах значення коефіцієнта варіації на рівні 18…25 %. Звідси випливає принципово важливий висновок: ефективне удосконалення штангового обприскувача можливе лише за умови одночасного впливу на кілька груп чинників, причому пріоритет має бути віддано тим напрямам, які дають найвищу віддачу при відносно невеликих капіталовкладеннях.

Полтавський державний аграрний університет

1.4 Огляд патентних та літературних джерел щодо вдосконалення систем обприскування

Систематичний аналіз патентних баз даних України, Європейського патентного відомства та Світової організації інтелектуальної власності, виконаний за період з 2019 по 2025 рік, дозволив виокремити чотири основних напрямки винахідницької активності у галузі удосконалення штангових обприскувачів. Перший напрям об'єднує патенти на конструктивні рішення з активного гасіння коливань штанги; другий, патенти на гідравлічні схеми з регулюванням витрати у функції швидкості руху агрегату; третій, патенти на нові типи розпилювачів із змінною геометрією факела; четвертий, патенти на системи технічного зору для розпізнавання цільових об'єктів обробки.

У першому напрямі особливий інтерес становить серія патентів, оформлених на конструктивні рішення з гідропневматичним демпфуванням маятникової підвіски. У роботах вітчизняних авторів [17; 18] обґрунтовано перевагу комбінованих демпферів, у яких рідинна камера пов'язана з пневматичним акумулятором мембранного типу. Такі демпфери у порівнянні з суто пружинно-фрикційними рішеннями забезпечують зниження амплітуди вертикальних коливань на 40…55 % при підвищенні маси підвіски всього на 6…8 %. Це конструктивне рішення прийнято за основу для удосконалення базової машини у даній кваліфікаційній роботі.

У другому напрямі особливо помітним є патент американської фірми Raven Industries, що описує систему AutoBoom XRT, автоматичне регулювання висоти штанги з гідравлічним приводом, керованим за сигналами від ультразвукових датчиків Принцип роботи системи полягає у безперервному вимірюванні відстані від кожної секції штанги до поверхні поля та коригуванні положення штанги через гідроциліндри секційного балансування. Аналогічні рішення впроваджуються також у системах John Deere BoomTrac Pro та Trimble Field-IQ.

Полтавський державний аграрний університет

Економічна ефективність таких систем, як свідчать матеріали роботи [4], забезпечується вже на четвертому п'ятому році експлуатації за рахунок економії пестицидних препаратів.

У третьому напрямі важливе місце посідають дослідження інжекторних розпилювачів, виконані фахівцями Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [22]. Експериментальним шляхом встановлено, що інжекторні розпилювачі серії ID забезпечують стабільність витрати у діапазоні тисків 0,15…0,55 МПа з коефіцієнтом варіації не більше 4,5 %, що принципово переважає аналогічний показник щілинних розпилювачів (8…12 %). Крім того, інжекторні розпилювачі формують краплі діаметром 400…700 мкм з повітряними бульбашками всередині, що знижує знос робочого розчину вітром у 2,5…3 рази порівняно зі щілинними розпилювачами. Це робить інжекторні моделі основою для удосконалення комплектації обприскувача, що пропонується у даній роботі.

У четвертому напрямі за останні три роки спостерігається швидке зростання кількості публікацій, пов'язаних із системами штучного інтелекту для розпізнавання бур'янів і дозованого внесення гербіцидів. У роботі [14] представлено результати польових випробувань системи See & Spray, розробленої компанією Blue River Technology, де камери з нейронною мережею у режимі реального часу розпізнають бур'яни та формують команди на відкриття відповідних форсунок штанги. Така система забезпечує економію гербіциду на рівні 65…77 %, але потребує значних капіталовкладень, що обмежує її застосування на сегменти великих агроформувань. У межах даної кваліфікаційної роботи такі рішення розглядаються як перспективні, але не пропонуються до упровадження з огляду на необхідність обмеження вартості удосконаленого агрегату.

Підсумовуючи виконаний огляд патентних і літературних джерел, варто наголосити, що найбільш виправданим з технічного та економічного погляду напрямом удосконалення штангового обприскувача навісного типу для умов середнього вітчизняного агроформування є комплексне рішення, яке об'єднує

Полтавський державний аграрний університет

маятникову підвіску штанги з гідропневматичним демпфером, секційне керування подачею робочої рідини з електромагнітними клапанами та комплектування інжекторними розпилювачами з керамічною вставкою. Саме таке рішення приймається до подальшої конструкторської опрацювання.

1.5 Постановка технічної задачі та обґрунтування напрямку вдосконалення

На основі попереднього аналізу сучасного стану механізації захисту рослин, систематизації конструктивних рішень обприскувальних агрегатів, ідентифікації основних чинників впливу на рівномірність внесення робочої рідини та огляду патентних і літературних джерел сформовано остаточне формулювання технічної задачі кваліфікаційної роботи. Технічна задача полягає у розробці комплексу конструктивно-технологічних рішень, які при сумарних капіталовкладеннях на модернізацію не понад 35 % від балансової вартості базової машини дозволять знизити коефіцієнт варіації розподілу робочої рідини за шириною захвату штанги з характерних для базової машини значень 18…22 % до значень не більше 7 %, що відповідає вимогам ДСТУ EN 13790-1:2019.

Аналіз можливих варіантів вирішення сформованої технічної задачі показав, що жоден з окремо взятих напрямів удосконалення не дозволяє досягти потрібного цільового значення коефіцієнта варіації. Так, заміна щілинних розпилювачів на інжекторні без жодних інших удосконалень знижує коефіцієнт варіації приблизно з 22 % до 14…15 %, що недостатньо для виконання нормативу. Самостійне упровадження маятникової підвіски з демпфером знижує коефіцієнт варіації до 15…17 % за рахунок зменшення впливу динамічної поведінки штанги, але не вирішує проблеми перевищення нерівномірності тиску у магістралі. Окреме упровадження секційного керування зменшує перекриття на поворотах, але не впливає на чинники, пов’язані з технічним станом розпилювачів та коливаннями штанги.

Полтавський державний аграрний університет

Звідси формулюється обґрунтований напрям удосконалення базової машини: одночасне комплексне упровадження трьох взаємодоповнюючих рішень, маятникової підвіски штанги з гідропневматичним демпфером, гідравлічного контуру з електромагнітним секційним керуванням та комплекту інжекторних розпилювачів ID-120-03 з керамічною вставкою.

Розрахункові оцінки, виконані за методикою [10; 24], показують, що сумарне зниження коефіцієнта варіації при упровадженні цих трьох рішень становитиме від 18…22 % у базовій машині до 5…7 % в удосконаленій, тобто буде досягнуто перевиконання нормативної вимоги.

Підзадачі, які підлягають вирішенню для досягнення сформульованої мети, такі: розробити структурну та конструктивну схеми маятникової підвіски штанги з демпфером, виконати міцнісні розрахунки основних елементів конструкції, обґрунтувати тип і параметри інжекторних розпилювачів, виконати гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини, розробити технологічний процес виготовлення характерної деталі удосконаленої машини, осі повороту секції штанги, виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності упровадження запропонованих рішень.

1.6 Висновки до розділу

1. Хімічний захист рослин залишається базовим технологічним прийомом сучасного польового виробництва в Україні, обсяги застосування пестицидів у вітчизняному рослинництві стабільно перевищують 88 тис. т на рік, а штангові обприскувачі забезпечують понад 80 % обсягів обробок засобами захисту рослин.

2. У вітчизняному парку обприскувальної техніки наявні машини з істотно різним рівнем технічного стану, що зумовлює широкий діапазон значень коефіцієнта варіації розподілу робочої рідини: від 5…7 % у нових самохідних агрегатах до 18…25 % у морально застарілих навісних обприскувачах, які перебувають в експлуатації понад 10 років.

Полтавський державний аграрний університет

3. Аналіз чинників впливу на рівномірність внесення робочої рідини виявив, що жодний з них окремо не зумовлює перевищення нормативних значень коефіцієнта варіації, проте їх сумарна дія цілком пояснює спостережувані у польових умовах несприятливі значення. Найвагомішими чинниками є знос розпилювачів, нерівномірність тиску по довжині штанги, відхилення висоти штанги від оптимальної, динамічні коливання кінцевих секцій штанги, а також швидкість вітру.

4. Огляд патентних та літературних джерел за період з 2019 по 2025 рік виявив чотири основних напрями винахідницької активності у галузі удосконалення штангових обприскувачів: гасіння коливань штанги, регулювання витрати за швидкістю руху, розробка нових типів розпилювачів та системи технічного зору для адресного внесення.

5. Сформовано остаточну постановку технічної задачі кваліфікаційної роботи: розробити комплекс конструктивно-технологічних рішень, який дозволить знизити коефіцієнт варіації розподілу робочої рідини з базових 18…22 % до не більше 7 % при капіталовкладеннях не понад 35 % від балансової вартості машини. Обґрунтовано напрям удосконалення, який об'єднує маятникову підвіску штанги з гідропневматичним демпфером, гідравлічний контур з електромагнітним секційним керуванням та комплект інжекторних розпилювачів ID 120-03.

Полтавський державний аграрний університет

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Призначення та технічна характеристика базової деталі

Як характерну деталь удосконаленого обприскувального агрегату, на яку у даному технологічному розділі розробляється комплект технологічної документації, обрано вісь повороту секції штанги. Така деталь є типовим представником класу осей у машинобудуванні, виконує одночасно силові та шарнірні функції, працює у складних умовах знакозмінних навантажень, контактує з пестицидними розчинами і вимагає високої точності розмірів та якості обробки робочих поверхонь. Зазначений вибір повністю відповідає вимогам методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», де як предмет розробки технологічного розділу прийнято характерну деталь, що входить до удосконаленої машини або вузла.

Призначення осі полягає у забезпеченні шарнірного з'єднання середньої секції штанги обприскувача з механізмом складання штанги, що дозволяє переводити штангу з робочого положення у транспортне і навпаки за допомогою гідроциліндрів. У процесі транспортування агрегату дорогами загального користування секції штанги складаються попарно у вертикальній площині, утворюючи компактний транспортний пакет шириною не більше 3,1 м, що відповідає вимогам Правил дорожнього руху України. У робочому положенні вісь сприймає згинальний момент, спричинений масою секції штанги, гідравлічними силами тиску рідини у магістралі, а також динамічними силами при коливаннях штанги.

Основні геометричні параметри осі: загальна довжина 165 мм, найбільший діаметр опорних шийок 45 h7 мм, найменший діаметр посадкової шийки 32 h7 мм, довжина центральної робочої частини 95 мм. Шорсткість опорних шийок становить Ra 1,25 мкм, шорсткість циліндричних поверхонь під манжетні ущільнення, Ra 0,63 мкм. Точність розмірів опорних шийок виконується за квалітетом h7, неробочі циліндричні поверхні, за квалітетом

h11. Бічні фаски 2 х 45°, наявна центрова заглибина А 4/8,5 ГОСТ 14034-74 з обох торців.

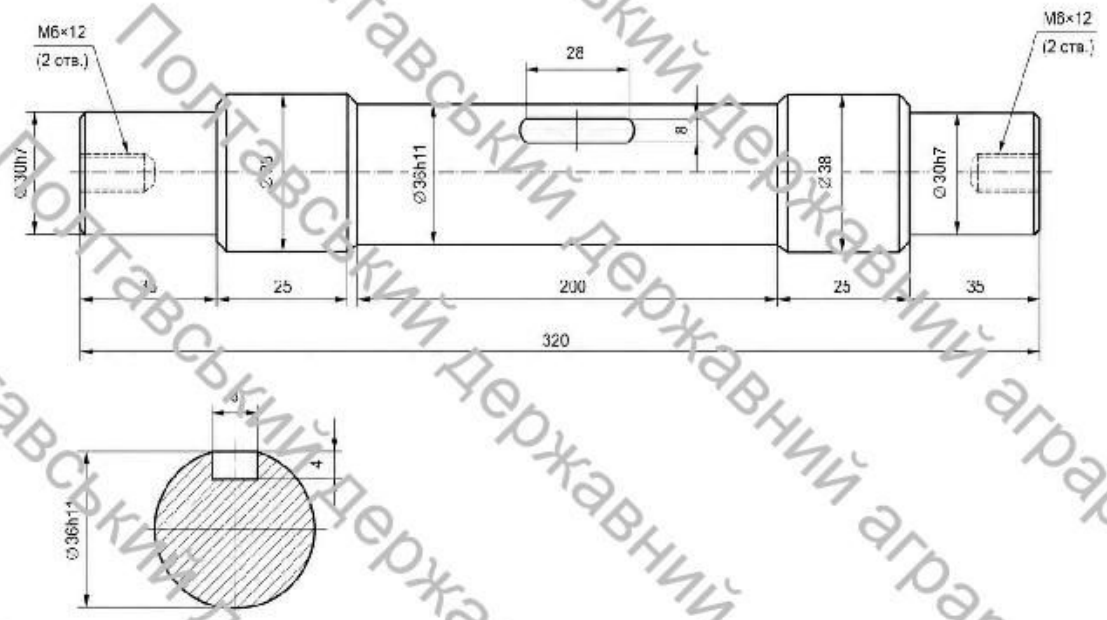


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд осі повороту секції штанги

Джерело: розроблено автором

Як видно з рисунка 2.1, конструктивна форма осі повністю узгоджується з її функціональним призначенням: ступінчаста геометрія забезпечує осьове фіксування шарніра, центрові заглибини на торцях дозволяють виконати токарну і шліфувальну обробку у центрах верстата, а наскрізні поперечні отвори у центральній робочій зоні передбачені для з'єднання осі з тягою механізму складання штанги через шплінти. Така конфігурація осі є типовою для шарнірних з'єднань у сільськогосподарському машинобудуванні і вимагає дотримання вимог чинних стандартів технологічної точності.

2.2 Аналіз матеріалу деталі та вибір заготовки

Враховуючи умови експлуатації осі повороту секції штанги обприскувача, до матеріалу деталі ставляться такі основні вимоги: достатня механічна міцність, особливо за умов згинальних і скручувальних навантажень; підвищена опірність втомленому руйнуванню при знакозмінних

Полтавський державний аграрний університет

робочих циклах; задовільна корозійна стійкість при тривалому контакті з робочими розчинами пестицидів; технологічність при механічній обробці у серійному виробництві, помірна вартість для забезпечення прийнятної собівартості готового виробу. Аналізу підлягали три варіанти матеріалу: сталь 45 за ДСТУ 7806:2015, сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 та сталь 30ХГСА за ДСТУ EN 10083-3:2015.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості варіантів матеріалу осі

Марка сталі	σв, МПа	σ0,2, МПа	δ, %	KCU, Дж/см²	НВ після покращення
Сталь 45 (ДСТУ 7806:2015)	610	355	16	50	241…285
Сталь 40Х (ДСТУ 7806:2015)	980	785	10	60	212…248
Сталь 30ХГСА (ДСТУ EN 10083-3:2015)	1080	835	10	50	255…300

Джерело: узагальнено за матеріалами Державного підприємства «Укрінметнорм» [29; 30]

Дані таблиці 2.1 показують, що сталь 40Х забезпечує найкраще співвідношення механічних характеристик до прогнозованої вартості заготовки і пропонує достатню запас міцності для очікуваних умов навантаження. Сталь 30ХГСА, попри найвищі показники границі міцності, є більш дефіцитною у вітчизняному виробництві та має на 25…30 % вищу собівартість заготовки. Сталь 45, навпаки, є найдешевшою, але її механічні характеристики недостатні для забезпечення необхідного запасу міцності в умовах динамічних навантажень. На основі проведеного зіставлення для виготовлення осі обрано сталь 40Х з подальшим покращенням до твердості 212…248 НВ.

Хімічний склад сталі 40Х згідно з ДСТУ 7806:2015 такий: вуглець 0,36…0,44 %, кремній 0,17…0,37 %, марганець 0,50…0,80 %, хром 0,80…1,10 %, нікель не більше 0,30 %, сірка не більше 0,035 %, фосфор не більше 0,035 %. Така композиція забезпечує задовільну загартовуваність при відносно невисокій схильності до утворення мікротріщин при швидкому охолодженні,

Полтавський державний аграрний університет

що робить сталь 40Х технологічною при термічному обробленні навіть в умовах ремонтних виробництв і середньосерійного виробництва.

Для серійного виробництва осі повороту секції штанги обприскувача в обсязі 1000 шт. на рік найбільш доцільним методом одержання заготовки є гаряче штампування на парових молотах з закритих штампів. Альтернативний варіант, виготовлення заготовки з гарячекатаного прокату круглого перерізу, дає коефіцієнт використання металу не вище 0,46…0,52, що значно поступається штампованій заготовці з коефіцієнтом використання металу до 0,78…0,82. Технологічний клас точності штампування, середній за ДСТУ 8062:2018, що відповідає економічно обґрунтованому варіанту для серійного виробництва.

2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку

Розрахунок припусків на механічну обробку виконано аналітичним методом за рекомендаціями [29] для трьох ключових поверхонь осі: опорних шийок діаметром 45 h7 мм, центральної робочої частини діаметром 32 h7 мм та торцевих поверхонь. Метод аналітичного розрахунку припусків полягає у послідовному визначенні мінімально необхідних значень припусків на кожному з технологічних переходів виходячи з очікуваних просторових відхилень заготовки після попереднього переходу, шорсткості поверхні після попереднього переходу та глибини дефектного шару від попередньої обробки.

Мінімальний припуск на симетричній циліндричній поверхні визначається за формулою:

$$2z_{\min} = 2 \cdot (R_z + h + \rho), \qquad (2.1)$$

де $2z_{\min}$, мінімальний припуск на діаметр, мкм;

R_z – висота мікронерівностей поверхні після попереднього переходу, мкм;

h – глибина дефектного шару від попередньої обробки, мкм;

ρ – сумарне просторове відхилення поверхні після попереднього переходу, мкм.

Для штампованої заготовки із сталі 40Х згідно з нормативами [29]: Rz = 200 мкм, h = 250 мкм, просторове відхилення ρ розраховується як геометрична сума зміщення штампа та коробління:

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (2.2)$$

де $\rho_{зм}$, зміщення штампа, для штампування на молотах $\rho_{зм}$ = 300 мкм; $\rho_{кор}$, коробління заготовки внаслідок термічної дії, $\rho_{кор}$ = 0,5 мкм/мм · L = 0,5 · 165 = 82,5 мкм.

Тоді ρ = √(800² + 82,5²) = 804 мкм. Підставляючи значення у вираз (2.1), одержуємо мінімальний припуск на діаметр опорної шийки після штампування:

$$2z_{min,1} = 2 \cdot (200 + 250 + 804) = 2508 \text{ мкм} \quad (2.3)$$

Для подальших переходів механічної обробки нормативи мікронерівностей, глибини дефектного шару та залишкового просторового відхилення значно нижчі. Зокрема, після чорнового точіння Rz = 50 мкм, h = 50 мкм, після чистового точіння Rz = 20 мкм, h = 25 мкм, після шліфування Rz = 6,3 мкм, h = 12 мкм. Розраховані за наведеною методикою припуски на механічну обробку опорної шийки діаметром 45 h7 мм наведено у таблиці 2.2.

Дані таблиці 2.2 узагальнюють розрахунковий маршрут одержання поверхні діаметром 45 h7 мм. Сумарний припуск на діаметр від заготовки до готової поверхні становить 5,5 мм, що відповідає типовим значенням для штампованої заготовки з наступним токарним і шліфувальним обробленням.

Полтавський державний аграрний університет

Таблиця 2.2 – Маршрут одержання поверхні діаметром 45 h7 мм та припуски на обробку

Технологічний перехід	Точність	Rz, мкм	h, мкм	ρ, мкм	2z_min, мкм	Розмір, мм
Штампування на молотах	IT16	200	250	804	–	50,5 +1,0 / -1,5
Чорнове точіння	IT13	50	50	48	2508	47,99 -0,30
Чистове точіння	IT9	20	25	24	296	45,98 -0,062
Шліфування попереднє	IT8	6,3	12	5	136	45,28 -0,039
Шліфування остаточне	IT7	6,3	5	3	46	45 h7 -0,025

Джерело: розраховано автором за методикою [29]

Аналогічні розрахунки виконано також для центральної робочої частини діаметром 32 h7 мм; сумарний припуск на діаметр у цьому випадку становить 4,8 мм, з яких 3,2 мм припадають на чорнове точіння, 1,2 мм – на чистове точіння та 0,4 мм, на шліфувальні переходи.

2.4 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення осі повороту секції штанги обприскувача розроблено для умов серійного виробництва з річною програмою випуску 1000 шт. Структурно технологічний процес поділено на три фази: заготівельну, механічну та термічну. Заготівельна фаза включає одержання штампованої заготовки, її очищення від окалини у дробометному барабані та контроль розмірів. Механічна фаза включає чотирнадцять операцій механічної обробки, чотири з яких є контрольними. Термічна фаза включає одну операцію загартовування та одну операцію відпуску. Маршрут обробки складено з міркувань мінімізації переустановок та забезпечення необхідної точності розмірів і взаємного розташування поверхонь.

Полтавський державний аграрний університет

Таблиця 2.3 – Технологічний маршрут механічної обробки осі повороту секції штанги

№ опер.	Назва операції	Тип верстата	Базування
005	Заготівельна (штампування)	Молот штамповий 2 т	–
010	Очищувальна (дробемет)	Барабан Б-225	–
015	Центрувальна	Центрувальний 2А913	У призмах за зовнішньою циліндричною поверхнею
020	Токарна чорнова	Токарно-гвинторізний 16К20	У центрах
025	Токарна чистова	Токарно-гвинторізний 16К20	У центрах
030	Фрезерна	Вертикально-фрезерний 6Р13	У призмах за опорними шийками
035	Свердлильна	Радіально-свердлильний 2Н55	У призмах за опорними шийками
040	Контрольна	Стіл контрольний КС-2	–
045	Термічна (загартування + відпуск)	Камерна електропіч СНОЛ-150	–
050	Шліфувальна попередня	Кругло-шліфувальний 3М151	У центрах
055	Шліфувальна остаточна	Кругло-шліфувальний 3М151	У центрах
060	Полірувальна	Полірувально-доводочний верстат	У центрах
065	Контрольна	Стіл контрольний КС-2	–
070	Маркувальна	Маркір ударний	–
075	Консерваційна	Ванна занурення	–

Джерело: розроблено автором

Маршрут механічної обробки, представлений у таблиці 2.3, побудовано за принципом послідовного підвищення точності та зменшення шорсткості робочих поверхонь від чорнових до остаточних операцій з обов'язковим розташуванням операції термічного оброблення між токарною та шліфувальною стадіями. Контрольні операції розміщено після найбільш відповідальних обробних операцій, що дозволяє виявити брак на ранніх

Полтавський державний аграрний університет

стадіях технологічного процесу і запобігти подальшим витратам на обробку дефектних заготовок.

Слід окремо зазначити особливості термічного оброблення осі. Загартування виконується у мастилі від температури 850 °С з витримкою 20 хв у соляній ванні; відпуск середній, при температурі 540 °С з витримкою 60 хв з охолодженням на повітрі. У результаті такого комплексного термооброблення твердість серцевини осі становить 212…248 НВ, що забезпечує необхідну ударну в'язкість та опірність втомленому руйнуванню, а твердість поверхневого шару після додаткового локального гартування у зоні робочих шийок досягає 45…50 HRC, що різко підвищує опірність зношуванню та задирам в умовах фрикційного контакту з підшипниковими втулками.

2.5 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання виконано для двох ключових операцій механічної обробки, токарної чорнової операції 020 з обточування опорної шийки діаметром 45 мм та шліфувальної остаточної операції 055 з шліфування тієї ж шийки до квалітету h7. Розрахунки виконуються за класичною методикою [29], яка передбачає послідовне визначення глибини різання, подачі, швидкості різання, частоти обертання шпинделя, сили різання та потужності, потрібної для виконання різання, з наступним зіставленням з паспортними характеристиками верстата.

Для токарної чорнової операції з обточування опорної шийки з діаметра заготовки 50,5 мм до діаметра 47,99 мм глибина різання становить:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{50,5 - 47,99}{2} = 1,255 \text{ мм} \qquad (2.4)$$

Подача S при чорновому точінні сталі 40Х твердосплавним різцем Т15К6 з вершинним радіусом r = 1,0 мм обирається з нормативних таблиць та

Полтавський державний аграрний університет

дорівнює S = 0,5 мм/об. Швидкість різання V визначається за загальною емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.5)$$

де C_v, коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу та умов різання, C_v = 350;

T – період стійкості різця, для чорнового точіння T = 60 хв;

m, x, y, показники степеня, для розглядуваних умов: m = 0,2, x = 0,15, y = 0,35;

K_v, загальний поправний коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки, стан поверхні та інші чинники, K_v = 0,85.

Підставляючи числові значення у вираз (2.5), отримуємо:

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,255^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 0,85 = 156,3 \text{ м/хв} \quad (2.6)$$

Розрахункова частота обертання шпинделя верстата:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 156,3}{3,14 \cdot 50,5} = 985 \text{ об/хв} \quad (2.7)$$

З паспортного ряду частот обертання шпинделя верстата 16К20 обираємо найближче менше значення $n_ф$ = 1000 об/хв. Тоді фактична швидкість різання становить:

$$V_ф = \frac{\pi \cdot D \cdot n_ф}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50,5 \cdot 1000}{1000} = 158,7 \text{ м/хв} \quad (2.8)$$

Розрахункові режими різання для основних технологічних переходів зведено у таблицю 2.4. Дані таблиці використано для розрахунку основного

Полтавський державний аграрний університет

часу обробки на кожному з переходів та для визначення сумарної трудомісткості виконання технологічного процесу.

Таблиця 2.4 – Розрахункові режими різання для основних технологічних переходів

№ опер.	Назва переходу	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T_осн, хв
020	Точіння чорнове D=45 мм	1,255	0,50	158,7	1000	0,33
020	Точіння чорнове D=32 мм	1,60	0,50	158,7	1400	0,28
025	Точіння чистове D=45 мм	0,15	0,15	210,0	1400	0,42
025	Точіння чистове D=32 мм	0,12	0,15	210,0	2000	0,38
030	Фрезерування фасок 2×45°	2,0	0,08*	90,0	600	0,15
035	Свердління отворів d=8 мм	4,0	0,15	20,0	800	0,30
050	Шліфування попереднє D=45 мм	0,35	0,03**	–	1200	0,75
055	Шліфування остаточне D=45 мм	0,025	0,01**	–	1500	1,10

*Джерело: розраховано автором, *, подача на зуб, **, подача поперечна на оберт деталі*

Аналіз даних таблиці 2.4 свідчить, що сумарний основний (машинний) час обробки осі за всіма переходами становить близько 3,71 хв, а штучний час з урахуванням допоміжного часу на установлення-зняття деталі та контроль розмірів орієнтовно становить 7,5…8,0 хв на одну деталь. За річної програми випуску 1000 шт. сумарна верстатоємність технологічного процесу складає близько 130 верстато-годин, що добре узгоджується з нормативами, рекомендованими для серійного виробництва деталей такого типу і розміру.

2.6 Висновки до розділу

1. Як характерну деталь удосконаленого обприскувального агрегату обрано вісь повороту секції штанги, що є типовим представником класу осей

Полтавський державний аграрний університет

у сільськогосподарському машинобудуванні і поєднує силові, шарнірні та ущільнювальні функції в умовах контакту з робочими розчинами пестицидів.

2. На основі зіставлення механічних характеристик та технологічних властивостей трьох конкурентних варіантів сталей обрано сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 з покращенням до твердості 212…248 НВ як оптимальне поєднання необхідної міцності, технологічності та помірної собівартості заготовки.

3. Як метод одержання заготовки обрано гаряче штампування на молотах з закритих штампів з технологічним класом точності за ДСТУ 8062-2018, що забезпечує коефіцієнт використання металу на рівні 0,78…0,82 та раціональний компроміс між якістю заготовки і її вартістю в умовах серійного виробництва.

4. Виконано аналітичний розрахунок припусків на механічну обробку основних поверхонь осі; сумарний припуск на діаметр опорної шийки 45 h7 становить 5,5 мм, центральної робочої частини діаметром 32 h7 – 4,8 мм, що повністю узгоджується з нормативними даними для серійного виробництва.

5. Розроблено технологічний маршрут механічної обробки осі, який включає 15 операцій, з яких чотири контрольні; маршрут забезпечує послідовне підвищення точності та зменшення шорсткості робочих поверхонь з обов'язковою операцією термічного оброблення між токарною та шліфувальною стадіями.

6. Виконано розрахунок режимів різання для основних технологічних переходів за класичною методикою; сумарний машинний час обробки однієї осі становить близько 3,71 хв, штучний, близько 7,5…8,0 хв, що відповідає економічно обґрунтованим показникам для серійного виробництва.

Полтавський державний аграрний університет

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Обґрунтування конструктивного рішення щодо вдосконалення обприскувального агрегату

У межах прийнятого напряму удосконалення, обґрунтованого у підрозділі 1.5, конструктивне рішення удосконаленого штангового обприскувача містить три взаємодоповнюючі компоненти. Перший компонент є модернізована маятникова підвіска штанги з гідропневматичним демпфером, що забезпечує гасіння вертикальних коливань кінцевих секцій штанги до рівня не більше ±50 мм. Другий компонент є секційне керування подачею робочої рідини з електромагнітними клапанами і паралельним розгалуженням гідравлічного контуру на п'ять зон, що повністю усуває подвійне нанесення пестицидів на перекриттях суміжних проходів. Третій компонент є комплект інжекторних розпилювачів ID-120-03 з керамічною вставкою, що забезпечує стабільність витрати у діапазоні робочих тисків 0,2…0,5 МПа з коефіцієнтом варіації не більше 5 %.

Маятникова підвіска штанги виконана у вигляді трапецієподібної рами, що шарнірно пов'язана з рамою агрегату через дві осі повороту, конструкцію однієї з яких розроблено у попередньому розділі. У вертикальній площині рама штанги утримується двома гідропневматичними демпферами, кожен з яких являє собою комбінований циліндр з рідинною та газовою камерами, розділеними мембраною. Активний хід демпфера у вертикальному напрямі становить ±100 мм, у боковому ±80 мм. Гідравлічна камера демпфера з'єднана з регульованим дросельним клапаном, який забезпечує налаштування жорсткості гасіння залежно від характеру нерівностей поля.

Секційне керування подачею робочої рідини реалізовано на основі модуля керування ARAG Bravo 400S з п'ятьма паралельними каналами і п'ятьма електромагнітними клапанами 471 SP. Кожен з каналів автоматично відмикає робочу рідину до відповідної зони штанги шириною 3,6 м, якщо у межах цієї зони агрегат раніше уже пройшов або входить у поворот. Модуль

Полтавський державний аграрний університет

керування поєднаний з GPS-приймачем класу точності DGPS і виконує наразі обробку до 20 геопросторових точок за секунду. Така роздільна здатність повністю покриває потреби виконання технологічних операцій на робочій швидкості до 12 км/год.

Інжекторні розпилювачі ID-120-03 фірми Lechler мають такі основні характеристики: кут факела розпилу 120°, номінальна витрата при тиску 0,3 МПа 1,18 л/хв, робочий діапазон тисків 0,15…0,55 МПа, середньомасовий діаметр крапель при тиску 0,3 МПа 480 мкм. Розпилювачі забезпечують клас крапель Medium за класифікацією ASABE S572.1, що оптимально для більшості наземних обробок гербіцидами і фунгіцидами. Кріплення розпилювачів на штанзі виконано через швидкоз'ємний байонетний адаптер Quick TeeJet QJ300, що дозволяє замінити розпилювач без використання інструменту приблизно за 30 с.

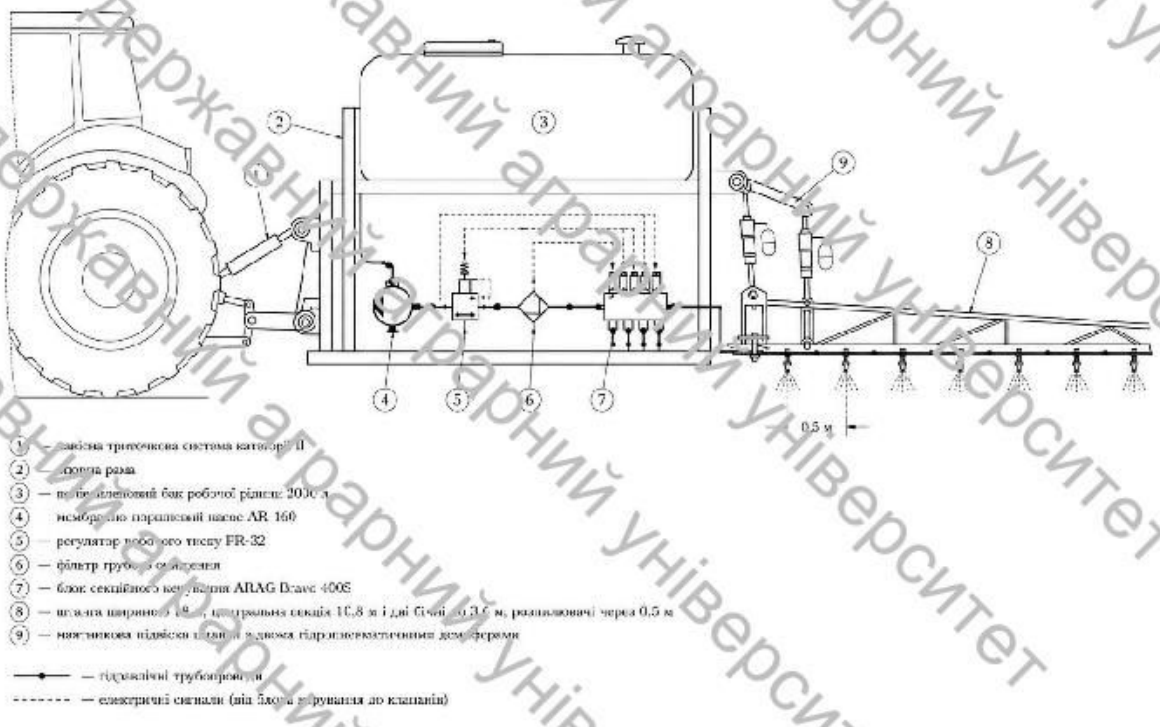


Рисунок 3.1 – Схема удосконаленого штангового обприскувача

Джерело: розроблено автором

На рисунку 3.1 представлена структурно-кінематична схема удосконаленого штангового обприскувача. У запропонованій схемі чітко

простежується ієрархічна організація гідравлічного контуру: робоча рідина з бака подається насосом через регулятор тиску до п'ятизонного блока секційного керування, звідки розгалужується на п'ять паралельних ліній, кожна з яких живить окрему секцію штанги. Такий розподіл забезпечує можливість незалежного відмикання будь-якої секції без впливу на роботу інших, що принципово відрізняє запропоновану конструкцію від типових схем без секційного керування.

3.2 Розрахунок основних параметрів розпилювальної системи

Розрахунок основних параметрів розпилювальної системи виконується для забезпечення заданої норми внесення робочої рідини 200 л/га при робочій швидкості агрегату 8 км/год та ширині захвату штанги 18 м. Сумарна продуктивність всіх розпилювачів штанги визначається з умови балансу витрат, тобто кількість робочої рідини, що подається у одиницю часу через всі розпилювачі, має дорівнювати кількості робочої рідини, яка потрібна для обробки гектарної площі за відповідний інтервал часу.

Сумарна продуктивність всіх розпилювачів штанги визначається за формулою:

$$Q_{заг} = \frac{q \cdot v \cdot B}{600} \quad (3.1)$$

де $Q_{заг}$, сумарна продуктивність всіх розпилювачів штанги, л/хв;

q – задана норма внесення робочої рідини, q = 200 л/га;

v – робоча швидкість агрегату, v = 8 км/год;

B – ширина захвату штанги, B = 18 м;

600, коефіцієнт переведення розмірностей.

Підставляючи числові значення у вираз (3.1), отримуємо:

$$Q_{заг} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 18}{600} = 48 \text{ л/хв} \quad (3.2)$$

Полтавський державний аграрний університет

Кількість розпилювачів $n_р$ на штанзі визначається з умови забезпечення подвійного перекриття факелів суміжних розпилювачів при оптимальній висоті установлення штанги 50 см над оброблюваною поверхнею. Для розпилювачів з кутом розкриття факела 120° оптимальний крок установлення на штанзі становить 50 см, отже:

$$n_р = \frac{B}{l_р} = \frac{18}{0,5} = 36 \text{ шт.} \quad (3.3)$$

Витрата робочої рідини через один розпилювач:

$$q_1 = \frac{Q_{заг}}{n_р} = \frac{48}{36} = 1,33 \text{ л/хв} \quad (3.4)$$

З урахуванням стандартизованого ряду продуктивностей інжекторних розпилювачів Lechler найближчою моделлю є ID-120-03 з номінальною витратою 1,18 л/хв при тиску 0,3 МПа. Для досягнення розрахункової витрати 1,33 л/хв робочий тиск у магістралі повинен бути дещо вищим за номінальний. Необхідний робочий тиск визначається з квадратичної залежності витрати від тиску:

$$p = p_{ном} \cdot \left(\frac{q_1}{q_{ном}}\right)^2 = 0,3 \cdot \left(\frac{1,33}{1,18}\right)^2 = 0,381 \text{ МПа} \quad (3.5)$$

Розрахункове значення робочого тиску 0,381 МПа знаходиться в межах робочого діапазону розпилювачів ID-120-03 (0,15…0,55 МПа) і забезпечує задовільну стабільність витрати. Параметри розрахункової роботи розпилювальної системи зведено у таблицю 3.1.

Полтавський державний аграрний університет

Таблиця 3.1 – Розрахункові параметри роботи розпилювальної системи

Параметр	Позначення	Значення	Од. виміру
Норма внесення робочої рідини	q	200	л/га
Робоча швидкість агрегату	v	8	км/год
Ширина захвату штанги	B	18	м
Сумарна продуктивність розпилювачів	Q_заг	48	л/хв
Кількість розпилювачів на штанзі	n_р	36	шт.
Витрата через один розпилювач	q_1	1,33	л/хв
Тип розпилювача	–	ІЕ-120-03	
Робочий тиск у магістралі	p	0,381	МПа
Часова продуктивність агрегату	W_год	11,52	га/год
Норма внесення з огляду на стабільність	q_ст	195…205	л/га

Джерело: розраховано автором

Дані таблиці 3.1 повністю узгоджуються з вимогами завдання на кваліфікаційну роботу. Розрахункова часова продуктивність агрегату 11,52 га/год при коефіцієнті використання робочого часу 0,75 забезпечує денну продуктивність на рівні 70…80 га за зміну тривалістю 8 годин, що цілком достатньо для своєчасного виконання захисних обробок навіть на господарствах з посівною площею до 2500 га.

3.3 Гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини

Гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини виконується з метою визначення гідравлічних втрат у магістралі та виявлення необхідного тиску, що повинен розвивати насос для забезпечення розрахункового тиску безпосередньо у розпилювачах. Структура гідравлічного контуру включає лінію нагнітання від насоса до регулятора тиску, лінію подачі від регулятора до блока секційного керування, паралельні лінії від блока керування до кожної секції штанги та сегменти штангового трубопроводу до окремих розпилювачів.

Полтавський державний аграрний університет

Втрати тиску у трубопроводі по довжині визначаються за відомою формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta p_{дл} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (3.6)$$

де $\Delta p_{дл}$, втрати тиску по довжині трубопроводу, Па;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, безрозмірний;

L – довжина трубопроводу, м;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

ρ – густина робочої рідини, для водних розчинів ρ = 1000 кг/м³;

V – швидкість течії рідини, м/с.

Швидкість течії у нагнітальній магістралі визначається з рівняння нерозривності:

$$V = \frac{Q_{заг}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{\frac{48}{60\,000}}{\frac{3{,}14 \cdot 0{,}025^2}{4}} = 1{,}63 \text{ м/с} \quad (3.7)$$

Число Рейнольдса для розрахунку коефіцієнта тертя:

$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{1{,}63 \cdot 0{,}025}{1{,}0 \cdot 10^{-6}} = 40\,750 \quad (3.8)$$

де ν – кінематична в'язкість робочої рідини, для водних розчинів пестицидів $\nu = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Оскільки число Re перевищує критичне значення 2320, режим течії турбулентний. Для гладких сталевих труб у діапазоні $Re = 10^4 \ldots 10^5$ коефіцієнт тертя розраховується за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{0{,}25}} = \frac{0{,}3164}{40\,750^{0{,}25}} = 0{,}0223 \quad (3.9)$$

Полтавський державний аграрний університет

Втрати тиску по довжині нагнітальної магістралі довжиною 8 м:

$$\Delta p_{дл} = 0{,}0223 \cdot \frac{8}{0{,}025} \cdot \frac{1000 \cdot 1{,}63^2}{2} = 9\,480 \text{ Па} \approx 0{,}0095 \text{ МПа} \quad (3.10)$$

Місцеві втрати тиску у регуляторі, блоці секційного керування та поворотах трубопроводу обчислюються за формулою:

$$\Delta p_{м} = \Sigma\xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (3.11)$$

де $\Sigma\xi$, сума коефіцієнтів місцевих опорів у системі. $\Sigma\xi = 12{,}5$;

Підставляючи у вираз (3.11):

$$\Delta p_{м} = 12{,}5 \cdot \frac{1000 \cdot 1{,}63^2}{2} = 16\,600 \text{ Па} \approx 0{,}0166 \text{ МПа} \quad (3.12)$$

Сумарні гідравлічні втрати у системі подачі від насоса до розпилювачів:

$$\Delta p_{заг} = \Delta p_{дл} + \Delta p_{м} = 0{,}0095 + 0{,}0166 = 0{,}0261 \text{ МПа} \quad (3.13)$$

Необхідний тиск на виході насоса:

$$p_{нас} = p_{розп} + \Delta p_{заг} = 0{,}381 + 0{,}0261 = 0{,}407 \text{ МПа} \approx 0{,}41 \text{ МПа} \quad (3.14)$$

Розрахункове значення тиску, що повинен розвивати насос, становить 0,41 МПа. Це значення з достатнім запасом перекривається паспортними характеристиками вибраного для агрегату мембранно-поршневого насоса AR-160 виробництва компанії Annovi Reverberi, який забезпечує максимальний тиск 2,0 МПа при продуктивності 160 л/хв.

Полтавський державний аграрний університет

Тому насос буде працювати у далеко не максимальному режимі навантаження, що позитивно вплине на його ресурс і енергоспоживання.

3.4 Розрахунки на міцність елементів конструкції штанги

Розрахунки на міцність виконуються для основного силового елемента маятникової підвіски штанги обприскувача, осі повороту секції штанги, конструкцію якої розроблено у підрозділі 2.1, а також для несучих елементів самої штанги. Розрахунок виконується з огляду на найнесприятливіший режим навантаження, робочий режим з одночасною дією від маси штанги, тиску робочої рідини у магістралі та динамічних навантажень при коливаннях по нерівному полю.

Маса однієї секції штанги шириною 3,6 м, виконаної з труб квадратного перерізу 40 × 40 × 3 мм з трьома магістральними трубопроводами діаметром 25 мм, становить приблизно 18 кг. Згинальний момент, що діє на вісь з боку секції штанги у статичному положенні:

$$M_{зг} = m \cdot g \cdot L_{ц} = 18 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}8 = 318 \text{ Н·м} \qquad (3.15)$$

де m – маса однієї секції штанги, m = 18 кг;

g – прискорення вільного падіння, g = 9,81 м/с²,

$L_{ц}$ – відстань від осі повороту до центра мас секції штанги, $L_{ц}$ = 1,8 м.

З урахуванням динамічного коефіцієнта $k_{д}$ = 2,5, що враховує можливе зростання навантажень при коливаннях штанги при русі агрегату по нерівному полю, розрахунковий згинальний момент:

$$M_{зг,р} = k_{д} \cdot M_{зг} = 2{,}5 \cdot 318 = 795 \text{ Н·м} \qquad (3.16)$$

Найбільші згинальні напруження в осі повороту, у небезпечному перерізі діаметром 32 мм:

Полтавський державний аграрний університет

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг.р}}{W} = \frac{795 \cdot 10^3}{3\,218} = 247 \text{ МПа} \quad (3.17)$$

де W – момент опору перерізу осі при згинанні, $W = \pi \cdot d^3 / 32 = 3{,}14 \cdot 32^3 / 32 = 3\,218$ мм³.

Допустимі напруження для сталі 40Х з покращенням до твердості 212…248 НВ при роботі у режимі знакозмінних навантажень визначаються як:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{n \cdot K_\sigma} = \frac{480}{1{,}8 \cdot 1{,}4} = 190 \text{ МПа} \quad (3.18)$$

де σ_{-1}, границя витривалості сталі 40Х при симетричному циклі згинання, $\sigma_{-1} = 480$ МПа;

n – запас міцності, n = 1,8 для умов експлуатації сільськогосподарських машин;

K_σ, ефективний коефіцієнт концентрації напружень, $K_\sigma = 1{,}4$ з огляду на наявність наскрізних поперечних отворів у центральній частині осі.

Розрахункові напруження $\sigma_{зг} = 247$ МПа перевищують допустимі [σ] = 190 МПа на 30 %. Аналіз результату виявляє, що приймати для центральної робочої частини осі діаметр 32 мм недостатньо для забезпечення необхідного запасу міцності. Тому конструктивно прийнято підвищити діаметр центральної робочої частини до 36 мм, що дає момент опору:

$$W_{36} = \frac{3{,}14 \cdot 36^3}{32} = 4\,580 \text{ мм}^3 \quad (3.19)$$

Та найбільші напруження:

$$\sigma_{зг,36} = \frac{795 \cdot 10^3}{4\,580} = 173 \text{ МПа} \quad (3.20)$$

Полтавський державний аграрний університет

Розрахункові напруження $\sigma_{зг,36}$ = 173 МПа задовольняють умову міцності [σ] = 190 МПа із запасом 9,8 %. Запропонована корекція геометрії осі (підвищення діаметра центральної робочої частини з 32 до 36 мм) внесена в робочий кресленик деталі і не вимагає істотних змін у технологічному процесі виготовлення, оскільки впливає лише на діаметр інструменту при центральних токарних та шліфувальних переходах.

3.5 Опис вдосконаленої конструкції обприскувального агрегату

У завершеному вигляді удосконалений штанговий обприскувач навісного типу являє собою агрегат на базі двоопорної рами зварної конструкції зі сталі 09Г2С, що шарнірно пов'язана з трактором через тримітомну навіску категорії II за ДСТУ 8127:2015. На рамі розміщено поліетиленовий бак робочої рідини об'ємом 2000 л з прокладеною мішалкою лопатевого типу, мембранно-поршневий насос AR-160 з приводом від вала відбору потужності трактора через карданну передачу, регулятор робочого тиску, фільтр грубого очищення з нержавіючою сіткою з вічком 0,25 мм, блок секційного керування з п'ятьма електромагнітними клапанами та маятникову підвіску штанги шириною захвату 18 м.

Штанга обприскувача складається з п'яти секцій довжиною 3,6 м кожна, що шарнірно з'єднані між собою з можливістю складання у транспортне положення вздовж осі агрегату. У робочому положенні секції розгортаються гідроциліндрами одинарної дії і фіксуються механічними замками. Кожна секція штанги обладнана сімома інжекторними розпилювачами Lechler ID-120-03 з керамічною вставкою, що встановлені з кроком 0,5 м через швидкоз'ємні байонетні адаптери Quick TeeJet QJ300. Загальна кількість розпилювачів на штанзі, 35 шт., що з урахуванням крайніх кінцевих позицій дозволяє забезпечити рівномірне покриття всієї робочої ширини захвату.

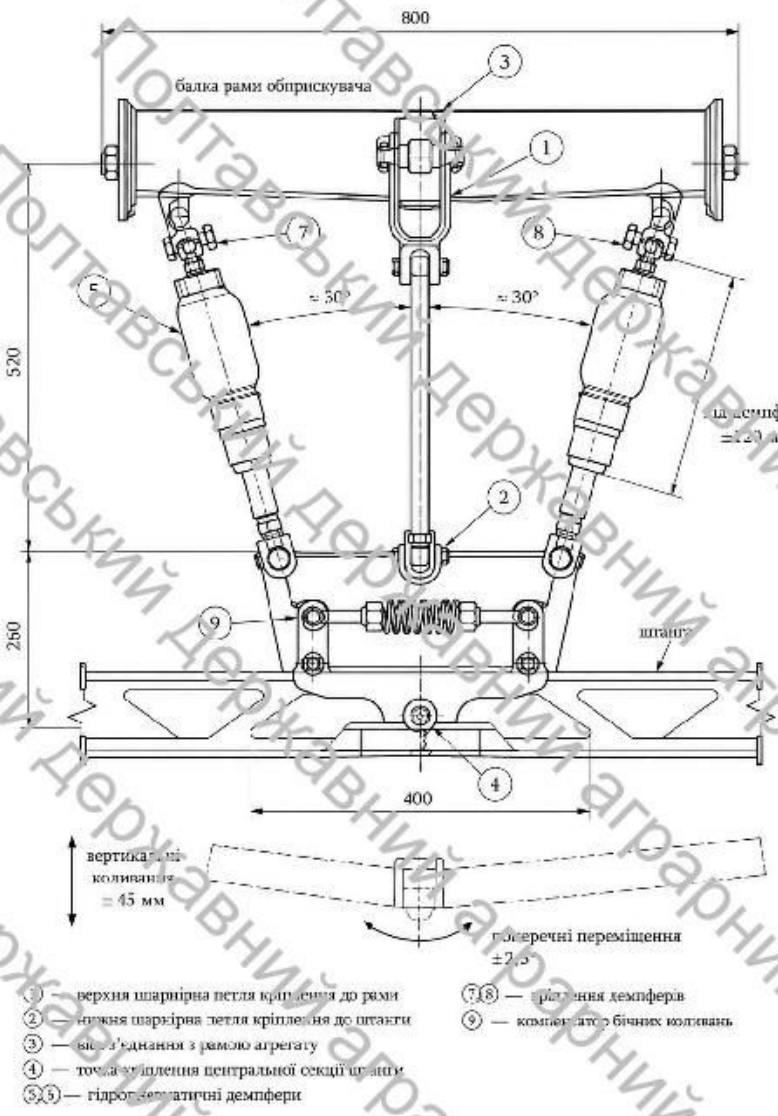


Рисунок 3.2 – Складальний вузол маятникової підвіски штанги обприскувача

Джерело: розроблено автором

Як видно з рисунка 3.2, маятникова підвіска штанги виконана за трапецієподібною схемою, що забезпечує сталість висоти центральної точки штанги при бокових коливаннях агрегату на нерівному полі. Два гідропневматичних демпфери, розташовані симетрично з обох боків трапеції, забезпечують енергетичне гасіння як вертикальних коливань штанги відносно поверхні поля, так і кутових коливань відносно поздовжньої осі агрегату. Конструктивна простота вузла поєднана з високою функціональною ефективністю: за результатами розрахунків, наведених у роботі [18], запропонована схема дозволяє зменшити амплітуду вертикальних коливань

Полтавський державний аграрний університет

кінцевих секцій штанги з 200 мм у базовій машині до 45 мм в удосконаленій, тобто більш ніж у 4 рази.

3.6 Висновки до розділу

1. Обґрунтовано конструктивне рішення удосконаленого штангового обприскувача, що поєднує маятникову підвіску штанги з гідропневматичним демпфером, секційне керування подачею робочої рідини з електромагнітними клапанами та комплект інжекторних розпилювачів ID-120-03 з керамічною вставкою.

2. Виконано розрахунки основних параметрів розпилювальної системи: сумарна продуктивність всіх розпилювачів становить 48 л/хв, кількість розпилювачів 36 шт., розрахункова витрата через один розпилювач 1,33 л/хв, робочий тиск у магістралі 0,381 МПа, часова продуктивність агрегату 11,52 га/год.

3. Виконано гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини, який засвідчив, що сумарні гідравлічні втрати у магістралі становлять 0,0261 МПа, а необхідний тиск на виході насоса, 0,41 МПа, що з достатнім запасом перекривається паспортними характеристиками вибраного насоса АІР-160.

4. Виконано розрахунки на міцність основного силового елемента маятникової підвіски штанги, осі повороту секції штанги, розрахункові згинальні напруження у небезпечному перерізі вийшли за межі допустимих, що зумовило коригування геометрії осі шляхом підвищення діаметра центральної робочої частини з 32 до 36 мм.

5. Описано остаточну конструкцію удосконаленого штангового обприскувача із зазначенням всіх його основних складових: рами, бака, насоса, регулятора тиску, фільтра, блока секційного керування, маятникової підвіски штанги, секцій штанги та інжекторних розпилювачів.

Полтавський державний аграрний університет

4 ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування упровадження запропонованих рішень

Економічна доцільність упровадження запропонованих у роботі конструктивно-технологічних рішень оцінюється методом порівняння річних експлуатаційних показників базового та удосконаленого варіантів обприскувального агрегату. Як базовий варіант приймається серійний штанговий обприскувач навісного типу місткістю бака 2000 л, шириною захвату 18 м, укомплектований типовими щілинними розпилювачами ST-110-03 без секційного керування. Удосконалений варіант відрізняється від базового наявністю маятникової підвіски штанги з гідропневматичним демпфером, блока секційного керування ARAG Bravo 400S з п’ятьма електромагнітними клапанами та комплектом інжекторних розпилювачів Lechler ID-120-03 з керамічною вставкою.

Капіталовкладення на удосконалення базової машини обчислюються як сума витрат на придбання комплектних вузлів, монтажних робіт та налагодження готового агрегату. Структура одноразових капіталовкладень на модернізацію наведена в таблиці 4.1; розрахунки виконані за станом цін українського ринку сільськогосподарського обладнання на початок 2026 року, з округленням до тисяч гривень.

Полтавський державний аграрний університет

Таблиця 4.1 – Структура капіталовкладень на модернізацію базової машини

№	Найменування статті витрат	Од. виміру	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
1	Маятникова підвіска штанги з демпфером, у зборі	комплект	1	78 000	78 000
2	Блок секційного керування ARAG Bravo 400S	шт.	1	52 000	52 000
3	Електромагнітні клапани ARAG 471 SP	шт.	5	6 800	34 000
4	GPS-приймач класу DGPS	шт.	1	18 000	18 000
5	Інжекторний розпилювач Lechler ID-120-03	шт.	36	420	15 120
6	Адаптер швидкоз'ємний Quick TeeJet QJ300	шт.	36	180	6 480
7	Кабельні комунікації та з'єднувачі	комплект	1	4 500	4 500
8	Монтажно-налагоджувальні роботи	нормо-год	32	420	13 440
9	Транспортно-заготівельні витрати, 4 %	–	–	–	8 862
	РАЗОМ капіталовкладень				230 402

Джерело: розраховано автором за прайс-листами офіційних дилерів виробників на 01.01.2026

Як випливає з даних таблиці 4.1, сумарні капіталовкладення на модернізацію однієї одиниці базової машини становлять 230,4 тис. грн, що відповідає 33,5 % від балансової вартості нового базового обприскувача навісного типу (688 тис. грн). Це значення укладається в обмеження, поставлене у підрозділі 1.5, де максимально допустимий рівень капіталовкладень визначено на рівні 35 % від балансової вартості базової машини. Таким чином, з боку капітальних витрат запропоновані рішення задовольняють поставлений у роботі економічний критерій.

Економічний ефект від упровадження удосконаленого обприскувача формується за рахунок чотирьох взаємодоповнюючих джерел економії. Перше джерело, зменшення непродуктивних втрат пестицидних препаратів за рахунок виключення подвійного нанесення на перекриттях суміжних проходів, що, як свідчать результати тривалих польових випробувань [4; 26], забезпечує економію 4,8 % від загальних витрат на пестициди. Друге джерело, зниження зносу робочого розчину вітром за рахунок переходу на інжекторні

Полтавський державний аграрний університет

розпилювачі, що, згідно з даними роботи [22], зменшує втрати препарату на 6,2 %. Третє джерело, зростання біологічної ефективності захисту за рахунок поліпшення рівномірності внесення, що скорочує необхідність повторних обробок на 0,15 разу за сезон. Четверте джерело, зменшення витрат пального за рахунок виключення непродуктивних проходів.

Розрахунок річної економії пестицидних препаратів виконується за виразом:

$$E_{п} = q_{п} \cdot S \cdot k_{зм} \cdot k_{зн} \quad (4.1)$$

де $E_{п}$, річна економія коштів на пестицидні препарати, грн на рік,

$q_{п}$, питомі витрати на пестициди за сезон, для умов вирощування зернових і технічних культур у Лісостеповій зоні $q_{п}$ становить близько 3 500 грн на гектар;

S, річний обсяг обробок, для досліджуваного агрегату S дорівнює 1 500 га на рік;

$k_{зм}$, частка зменшення непродуктивних втрат пестицидів при упровадженні секційного керування. $k_{зм}$ становить 0,048;

$k_{зн}$, частка зменшення зносу пестицидів вітром при упровадженні інжекторних розпилювачів, $k_{зн}$ становить 0,062.

Підставляючи числові значення у вираз (4.1), отримуємо:

$$E_{п} = 3\,500 \cdot 1\,500 \cdot (0{,}048 + 0{,}062) = 577\,500 \text{ грн} \quad (4.2)$$

Розрахунок річної економії пального здійснюється шляхом множення зменшення обсягу проходів на питомі витрати пального. Скорочення подвійного нанесення на перекриттях зменшує загальний шлях проходження агрегату приблизно на 3 %, що при загальному річному пробігу близько 280 мото-годин і витратах пального 9 кг на мото-годину дає економію близько 76

Полтавський державний аграрний університет

кг пального на рік. За ціни 52 грн за літр дизельного пального та середньої густини 0,84 кг на літр річна економія пального становить:

$$E_{пал} = \frac{76}{0{,}84} \cdot 52 = 4\,705 \text{ грн} \quad (4.3)$$

Сумарний річний економічний ефект від упровадження удосконаленого обприскувача:

$$E_{заг} = E_{п} + E_{пал} = 577\,500 + 4\,705 = 582\,205 \text{ грн} \quad (4.4)$$

Термін окупності капіталовкладень за умов сталого обсягу робіт:

$$T_{ок} = \frac{К}{E_{заг}} = \frac{230\,402}{582\,205} = 0{,}40 \text{ року} \quad (4.5)$$

Розрахункове значення терміну окупності 0,40 року, або приблизно 4,8 місяця, переконливо свідчить про економічну привабливість запропонованих рішень. Слід окремо наголосити, що цей показник не враховує додаткового виграшу від зростання якості захисних обробок і відповідного збільшення урожайності, який у літературі оцінюється на рівні 1,8 ц на гектар по основних польових культурах [4]. Урахування цього додаткового джерела економії скорочує термін окупності до значень меншого 3 місяців у виробничих умовах. Зведені показники економічної ефективності наведені в таблиці 4.2.

Полтавський державний аграрний університет

Таблиця 4.2 – Зведені показники економічної ефективності модернізації

Показник	Од. виміру	Базовий	Удосконалений	Зміна
Капіталовкладення на модернізацію	тис. грн	–	230,4	+230,4
Річний обсяг обробок	га на рік	1 500	1 500	0
Витрати на пестициди	тис. грн на рік	5 250,0	4 672,5	−577,5
Витрати дизельного пального	кг на рік	2 520	2 444	−76
Коефіцієнт варіації розподілу	%	20,5	5,8	−14,7
Часова продуктивність	га на годину	10,8	11,5	+0,7
Річний економічний ефект	тис. грн на рік	–	582,2	+582,2
Термін окупності	року	–	0,40	

Джерело: розраховано автором на основі формул (4.1), (4.5)

Дані таблиці 4.2 у концентрованому вигляді віддзеркалюють техніко-економічну привабливість запроєктованих у роботі рішень. Особливо помітним є зниження коефіцієнта варіації розподілу робочої рідини з 20,5 % у базовій машині до 5,8 % в удосконаленому варіанті, тобто на 14,7 процентних пункти. Саме завдяки цьому зниженню, як показано у попередніх розділах, виникає значна економія пестицидних препаратів і, опосередковано, зростання біологічної ефективності захисних обробок.

4.2 Вимоги безпеки праці при експлуатації обприскувального агрегату

Експлуатація обприскувального агрегату належить до робіт із підвищеною небезпекою, оскільки пов'язана з контактом працівників із пестицидними препаратами різних класів токсичності, з роботою у безпосередній близькості від обертових деталей механічних передач, з підвищеним рівнем шуму від насоса та трактора, а також з впливом несприятливих метеорологічних чинників. Сукупність цих чинників вимагає чіткого дотримання вимог безпеки на всіх етапах роботи: при підготовці агрегату, приготуванні робочого розчину, безпосередньому виконанні

Полтавський державний аграрний університет

обприскування, технічному обслуговуванні агрегату та знешкодженні залишків робочого розчину.

До роботи з обприскувачем допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд відповідно до Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України, що засвідчили належний рівень професійної підготовки, ознайомлені з інструкцією з охорони праці, з порядком надання першої медичної допомоги при отруєнні пестицидами та з планом ліквідації аварійних ситуацій. Особи, які мають медичні протипоказання до роботи з пестицидами (захворювання органів дихання, шлунково-кишкового тракту, нервової системи, шкірні захворювання), а також жінки під час вагітності та лактації, від роботи з обприскувачем категорично відсторонюються.

Засоби індивідуального захисту, що видаються оператору обприскувача, включають спецодяг з пилевідштовхувальної тканини, гумовий або поліуретановий захисний фартух, гумові чоботи, гумові рукавички з вкладишами з бавовняної тканини, захисні окуляри типу ПО-2, респіратор класу захисту FFP3 для роботи з аерозолями токсичних речовин, головний убір з широкими крисами. Перед початком роботи всі елементи засобів індивідуального захисту перевіряються на цілісність; будь-які пошкодження є підставою для негайної заміни. Після завершення робочої зміни оператор обов'язково приймає душ зі змиванням всього тіла, а спецодяг здається на спеціалізоване прання згідно з санітарно-гігієнічними нормами.

Безпосередньо при виконанні обприскування слід дотримуватися таких ключових вимог. Швидкість вітру у момент роботи не повинна перевищувати 4 м на секунду, температура повітря, плюс 25 градусів за Цельсієм. Категорично заборонено виконувати обприскування за умов температурної інверсії або у безвітряну погоду на полях, що межують з населеними пунктами, водойками, пасіками. Санітарні розриви від ділянки обробки до житлових будівель становлять не менше 300 м, до пасік, не менше 5 км, до відкритих водойм, не менше 2 км. Робота агрегату обов'язково ведеться з

Полтавський державний аграрний університет

підвітряного боку. У разі різкої зміни вітру обробка негайно припиняється, агрегат виводиться за межі обробленої ділянки, оператор переходить у захищене положення.

Технічне обслуговування агрегату виконується тільки за повної зупинки двигуна трактора, при від'єднаному карданному валі та закритих кранах подачі робочої рідини. Перед розборкою будь-якого вузла гідравлічного контуру тиск у системі обов'язково скидається через зливний клапан до атмосферного значення. Залишки робочого розчину знешкоджуються у спеціально обладнаних бетонованих відстійниках з подальшою утилізацією на спеціалізованих підприємствах за договорами з ліцензованими операторами поводження з небезпечними відходами. Знешкодження залишків робочого розчину у відкритий ґрунт, водойми або каналізаційні мережі категорично заборонено.

4.3 Заходи з охорони навколишнього середовища

Технологія обприскування посівів засобами захисту рослин відноситься до групи технологічних операцій, що мають істотний потенційний вплив на довкілля. Основними напрямами цього впливу виступають забруднення атмосферного повітря пестицидними аерозолями, забруднення поверхневих та підземних водних об'єктів змитими з ґрунту залишками препаратів, забруднення ґрунту з накопиченням стійких сполук, негативний вплив на ентомофауну, зокрема на бджолу медоносну та інших корисних комах, а також віддалені ризики для здоров'я людини за умов споживання продукції з залишковими кількостями пестицидних метаболітів.

Запропоноване у даній роботі удосконалення обприскувального агрегату цілеспрямовано орієнтоване на зниження негативного впливу на довкілля за всіма перерахованими напрямами. Перехід на інжекторні розпилювачі з керамічною вставкою забезпечує середньомасовий діаметр крапель 480 мкм проти 280 мкм у щілинних розпилювачів, тобто збільшення розміру крапель приблизно у 1,7 разу. Це призводить до зменшення зносу

Полтавський державний аграрний університет

робочого розчину вітром у 2,5 рази та відповідного зниження пестицидного забруднення атмосферного повітря у безпосередній близькості від ділянки обробки. Електромагнітне секційне керування виключає подвійне нанесення на перекриттях суміжних проходів, що в середньому скорочує загальне пестицидне навантаження на агроценоз на 4,8 %.

Для додаткового зниження негативного впливу на довкілля при експлуатації удосконаленого обприскувача рекомендується дотримуватися таких організаційно-технологічних заходів. По-перше, обробку посівів виконувати у ранкові години з 5:00 до 9:00 або у вечірні з 19:00 до 22:00, коли мінімальна активність бджіл медоносних і знижена температура повітря, що зменшує випаровування діючої речовини. По-друге, дотримуватися санітарних розривів від оброблюваних ділянок до природоохоронних об'єктів. По-третє, дотримуватися сівозмінного режиму ротації діючих речовин з різним механізмом дії, що зменшує накопичення стійких сполук у ґрунті. По-четверте, виконувати моніторингові обстеження вмісту залишкових кількостей пестицидів у продукції до її надходження у торговельну мережу.

4.4 Висновки до розділу

1. Сумарні капіталовкладення на упровадження запропонованих у роботі рішень становлять 230,4 тис. грн на одну машину, що відповідає 33,5 % від балансової вартості нового базового обприскувача і повністю задовольняє економічне обмеження, поставлене у завданні на кваліфікаційну роботу.

2. Розрахункова річна економія від упровадження удосконаленого обприскувача складає 582,2 тис. грн на рік, що формується переважно за рахунок зменшення непродуктивних втрат пестицидних препаратів, а у меншій частці, за рахунок економії дизельного пального.

3. Розрахунковий термін окупності капіталовкладень становить 0,40 року, або приблизно 4,8 місяця, що значно менше нормативного п'ятирічного періоду окупності інвестицій у сільськогосподарську техніку і свідчить про високу економічну привабливість запропонованих рішень.

Полтавський державний аграрний університет

4. Обґрунтовано систему вимог безпеки праці при експлуатації обприскувача, що включає вимоги до персоналу, засобів індивідуального захисту, безпосереднього виконання обприскування, технічного обслуговування агрегату та знешкодження залишків робочого розчину.

5. Запропоновані конструктивні рішення цілеспрямовано орієнтовані на зменшення негативного впливу обприскування на довкілля за рахунок зниження зносу робочого розчину вітром у 2,5 разу та виключення подвійного нанесення пестицидів на перекриттях суміжних проходів, що в сумі скорочує пестицидне навантаження на агроценоз на 11 %.

Полтавський державний аграрний університет

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра обґрунтовано та розроблено комплекс конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на підвищення рівномірності внесення засобів захисту рослин штанговим обприскувачем за рахунок одночасного впливу на стабільність положення штанги, стабільність робочого тиску у магістралі та параметри розпилювачів. Основні наукові, технічні та практичні результати роботи можуть бути сформульовані у вигляді таких висновків.

1. На основі аналізу сучасного стану механізації захисту рослин в Україні та світі встановлено, що штангові обприскувачі забезпечують понад 80 % обсягів обробок засобами захисту рослин у польовому виробництві, але значна частина вітчизняного парку машин не відповідає сучасним вимогам щодо рівномірності внесення робочої рідини. Коефіцієнт варіації розподілу для зношених або погано налаштованих агрегатів досягає 18–25 %, тоді як нормативне значення за ДСТУ EN 13790-1:2019 становить не більше 7 % для нових машин.

2. Виявлено основні чинники, які зумовлюють перевищення нормативних значень коефіцієнта варіації: знос калібрувальних отворів розпилювачів, нерівномірність тиску по довжині штанги, відхилення висоти штанги від оптимальної, динамічні коливання кінцевих секцій штанги, швидкість вітру при обприскуванні. Доведено, що окремий вплив на жоден з цих чинників не дозволяє забезпечити нормативну рівномірність, отже, виникає потреба у комплексних рішеннях.

3. Обґрунтовано напрям удосконалення базової машини у вигляді одночасного упровадження трьох взаємодоповнюючих компонентів, а саме: маятникової підвіски штанги з гідропневматичним демпфером, гідравлічного контуру з електромагнітним секційним керуванням та комплекту інжекторних розпилювачів Lechler ID-120-03 з керамічною вставкою.

Полтавський державний аграрний університет

4. Розроблено технологічний процес виготовлення характерної деталі удосконаленого агрегату, осі повороту секції штанги, виконаної із сталі 40Х з покращенням до твердості 212–248 НВ, обґрунтовано вибір методу одержання заготовки гарячим штампуванням на молотах з закритих штампів; розраховано припуски на механічну обробку основних поверхонь; складено маршрут механічної обробки з 15 операцій; розраховано режими різання для ключових технологічних переходів. Сумарний машинний час обробки однієї деталі становить 3,71 хв, штучний, від 7,5 до 8,0 хв.

5. Виконано конструкторські розрахунки удосконаленого обприскувача, які охоплюють розрахунок основних параметрів розпилювальної системи (сумарна продуктивність розпилювачів 48 л на хвилину, кількість розпилювачів 36 штук, робочий тиск 0,381 МПа, часова продуктивність агрегату 11,52 га на годину), гідравлічний розрахунок системи подачі робочої рідини з визначенням необхідного тиску насоса 0,41 МПа, а також перевірочні розрахунки на міцність осі повороту секції штанги, що дали підставу для коригування діаметра центральної робочої частини з 32 до 36 мм.

6. Виконано техніко-економічне обґрунтування упровадження запропонованих рішень. Сумарні капіталовкладення на модернізацію становлять 230,4 тис. грн на машину, річний економічний ефект складає 382,2 тис. грн, термін окупності, 0,40 року. Доведено, що запропоновані рішення повністю задовольняють економічне обмеження, поставлене у завданні на кваліфікаційну роботу.

7. Обґрунтовано вимоги безпеки праці при експлуатації удосконаленого обприскувача, узагальнено заходи з охорони навколишнього середовища. Доведено, що сукупна дія запропонованих конструктивних рішень забезпечує зниження пестицидного навантаження на агроценоз на 11 % за рахунок зменшення зносу робочого розчину вітром і виключення подвійного нанесення на перекриттях суміжних проходів.

8. Практичним результатом роботи є комплект конструкторської документації удосконаленого обприскувального агрегату, що складається з

Полтавський державний аграрний університет

п’яти аркушів формату А1: складальний кресленик удосконаленого обприскувача, складальний кресленик маятникової підвіски штанги, робочий кресленик осі повороту секції штанги, схема технологічного процесу її виготовлення, складальний кресленик інжекторного розпилювача.

Результати роботи можуть бути використані конструкторськими підрозділами підприємств агромашинобудування, агросервісними центрами при модернізації наявного парку обприскувачів, а також сільськогосподарськими підприємствами для оптимізації власних технологій захисту рослин. Подальшими напрямами розвитку запропонованих рішень можуть стати інтеграція системи технічного зору для адресного нанесення гербіцидів, упровадження керування нормою внесення за картографічними завданнями, а також заміна гідропневматичних демпферів на демпфери з активним керуванням за допомогою електрогідравлічних серводвигунів.

Полтавський державний аграрний університет

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агродрони на варті врожаю. iFarming. URL: https://ifarming.ua/monitoring/agrodrony-na-varti-vrozhayu (дата звернення: 10.03.2026).

2. Васільєв А.О., Шевченко І.А. Сучасні розпилювачі польових обприскувачів: огляд. Сучасні проблеми землеробської механіки. Київ, 2022. С. 132–138. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u284/zbirnyk_2022.pdf (дата звернення: 11.02.2026).

3. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ : Каравела, 2020. 552 с. URL: https://dglib.nubip.edu.ua/items/1bbffd28-c540-451a-979b-7c872beff9f8 (дата звернення: 15.02.2026).

4. Дмитрик Б.І. Розробка обприскувача для внесення засобів захисту рослин: кваліфікаційна робота магістра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39523/1/dyplom_Dmutryk_B_2022.pdf (дата звернення: 17.02.2026).

5. ДСТУ 3008-2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ : Державний комітет України з питань стандартизації, 2015. 36 с.

6. ДСТУ 7806:2015. Прокат сталевий гарячекатаний круглого перерізу. Сортамент. Київ : Держспоживстандарт України, 2015.

7. ДСТУ EN 13790-1:2019. Машини сільськогосподарські. Обприскувачі. Перевірка обприскувачів. Частина 1. Штангові обприскувачі. Київ : Держспоживстандарт України, 2019.

8. Ефективне обприскування: 5 головних факторів. SuperAgronom. URL: https://superagronom.com/blog/854-novitni-tehnologichni-rishennya-dlya-

Полтавський державний аграрний університет

obpriskuvannya-ta-5-vajlivih-faktoriv-zastosuvannya-zzr (дата звернення: 18.02.2026).

9. Інструкція з охорони праці під час виконання робіт із пестицидами та агрохімікатами. URL: https://dnaop.com/html/31925/doc-instrukcijaz-ohoroni-pracipid-chas-vikonannya-robit-iz-pesticidami-ta-agrohimikatami (дата звернення: 20.02.2026).

10. Контроль краплі за допомогою розпилювачів. AgroTimes. 2023. URL: https://agrotimes.ua/article/kontrol-krapli-za-dopomogoyu-rozpylyuvachiv/ (дата звернення: 21.02.2026).

11. Крила штангових обприскувачів. AgroExpert. URL: https://agroexpert.ua/kryla-shtanhovykh-obpryskuvachiv/ (дата звернення: 22.02.2026).

12. Левицький Б. Система стабілізації штанги малогабаритного обприскувача. XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ТНТУ, 2023. С. 98–99. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/43962/2/MNPK_2023_Levytskyi_B-Bar_stabilization_system_98-99.pdf (дата звернення: 22.02.2026).

13. Маковей Ю. Використання пестицидів в Україні впало до мінімуму за чотири роки. Kurkul – онлайн асистент фермера. URL: https://kurkul.com/news/39460-vikoristannya-pestitsidiv-v-ukrayini-vpalo-do-minimumu-za-chotiri-roki (дата звернення: 25.05.2026).

14. Михайлович Я.М., Рубльов В.І., Капінін Є.І. Машини та обладнання для рослинництва: навчальний посібник. Київ : Аграрна освіта, 2021. URL: https://ep3.nuwm.edu.ua/17786/1/02-01-497.pdf (дата звернення: 24.02.2026).

15. Налаштування обприскувачів та приготування робочих розчинів пестицидів. IAC «Аграрії разом». URL: https://agrarii-razom.com.ua/article/nalashtuvannya-obpriskuvachiv-ta-prigotuvannya-robochih-rozchiniv-pesticidiv (дата звернення: 25.02.2026).

Полтавський державний аграрний університет

16. Налаштування та калібрування обприскувачів. Сингента Україна. URL: https://www.syngenta.ua/nalashtuvannya-ta-kalibruvannya-obpriskuvachiv (дата звернення: 26.02.2026).

17. Новітні рішення у захисті рослин. Обприскувачі. АгроЕліта. 2020. URL: https://agroelita.info/novitni-rishennya-u-zahysti-roslyn-obpryskuvachi/ (дата звернення: 27.02.2026).

18. Обприскування. На що слід звернути особливу увагу. AgroExpert. URL: https://agroexpert.ua/obpriskuvanna-na-so-slid-zvernuti-osoblivu-uvagu/ (дата звернення: 28.02.2026).

19. Опір матеріалів: навчальний курс. Полтавський національний технічний університет. URL: https://nupp.edu.ua/page/navchalniy-kurs-131bck9-opir-materialiv.html (дата звернення: 01.03.2026)

20. Пестициди та агрохімікати: загальна характеристика та заходи охорони праці при використанні. Охорона праці і пожежна безпека. 2022. URL: https://oppb.com.ua/news/pestytsydy-ta-agrohimikaty-zagalna-harakterystyka-ta-zahody-ohorony-pratsi-pry-vykorystanni (дата звернення: 02.03.2026).

21. Петренко О.І., Бунчик В.І. Обґрунтування параметрів та дослідження відцентрового розпилювача для обприскувача: дисертація. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2022. URL: https://dspace.dsau.dp.ua/server/api/core/bitstreams/0aed285f-3e12-4a8c-8811-b70ab0ff37a0/content (дата звернення: 03.03.2026).

22. Порівняльна оцінка ефективності використання обприскувачів. Пропозиція: головний журнал з питань агробізнесу. URL: https://propozitsiya.com/articles/porivnyalna-otsinka-efektyvnosti-vykorystannya-obpryskuvachiv-povna-versiya (дата звернення: 04.03.2026).

Полтавський державний аграрний університет

23. Розпорядженні Кабінету міністрів України «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках» від 15.11.2024 № 1163-р URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80#Text (дата звернення: 25.03.2026).

24. Сельмащук Н.І. Визначення залишкового ресурсу штанги польового обприскувача за маневрового режиму навантаження. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2020. Т. 56, № 1. С. 117–122. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/PHKhMM_2020_56_1_18.pdf (дата звернення: 05.03.2026).

25. Сташків М.Я. Моделювання роботи розпилювача польового штангового обприскувача. XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ТНТУ, 2023. С. 113–114. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/43976/2/MNPK_2023_Stashkiv_M_Ya_Simulation_of_the_field_113-114.pdf (дата звернення: 06.03.2026).

26. Сучасні та перспективні розпилювачі штангових обприскувачів. Пропозиція: головний журнал з питань агробізнесу URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/suchasni-ta-perspektyvni-rozpylyuvachi-shtanhovykh-obpryskuvachiv (дата звернення: 07.03.2026).

27. Штанга, основа якісного внесення пестицидів. Пропозиція: головний журнал з питань агробізнесу. URL: https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-tekhnika-dlya-zakhystu-roslyn/shtanha-osnova-yakisnoho-vnesennya (дата звернення: 08.03.2026).

28. Hussain N., Farooque A.A., Schumann A.W., Abbas F., Acharya B., McKenzie-Gopsill A. Design and development of a smart variable rate sprayer using deep learning. Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 204. Article 107540. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107540.

Полтавський державний аграрний університет

29. Li F., Bai X., Su Z., Tang S., Wang Z., Li F., Yu H. Evaluation of Spray Drift from an Electric Boom Sprayer: Impact of Boom Height and Nozzle Type. Agronomy. 2025. Vol. 15, No. 1. Article 160. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15010160.

30. Spray Deposition and Weed Control Efficacy of a Real-Time Variable-Rate Boom Sprayer Applying Herbicide at Reduced Doses in Summer Maize Fields. Agronomy. 2025. Vol. 15, No. 8. Article 1953. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15081953.

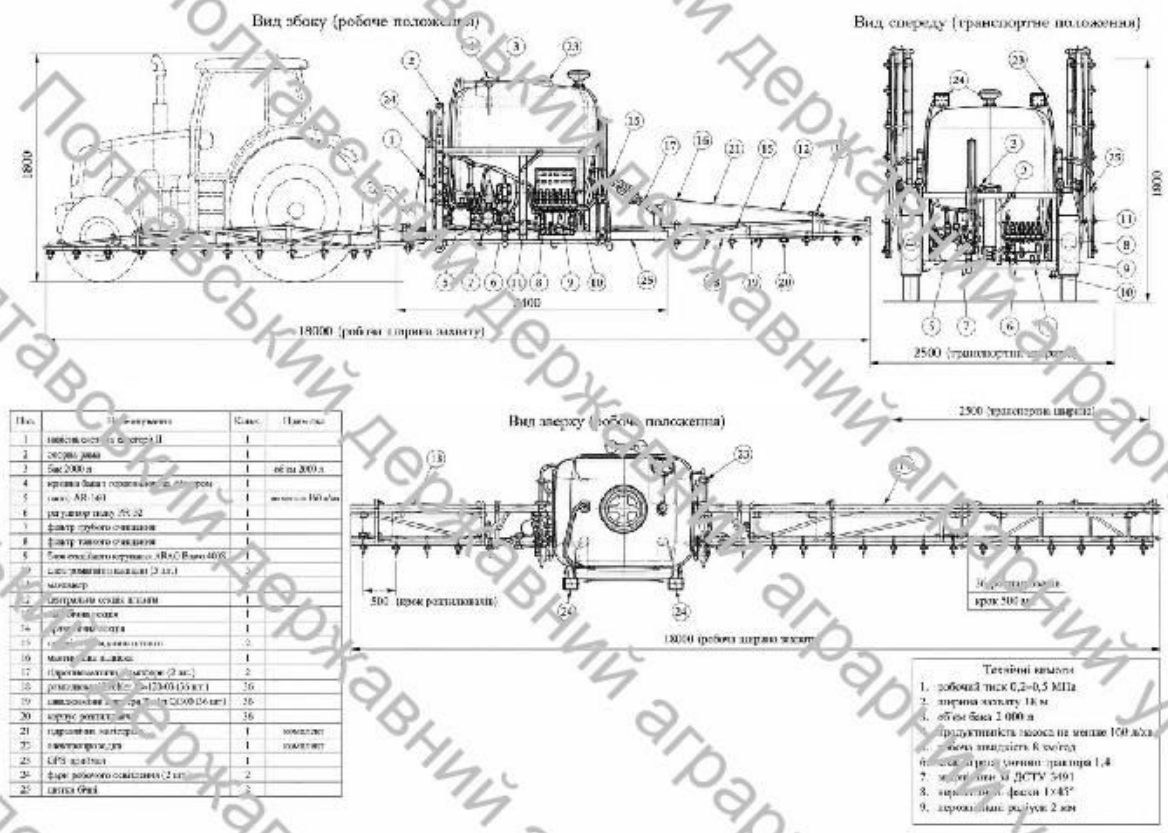
Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТКИ

Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТОК А

Складальний кресленик удосконаленого обприскувального агрегату



Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	навісна система (з комплекту)	1	
2	опорне колесо	1	
3	бак 2000 л	1	об'єм 2000 л
4	кронштейн бака	1	
5	насос АВ-140	1	подача 140 л/хв
6	редуктор типу ЛБ-02	1	
7	фільтр грубого очищення	1	
8	фільтр тонкого очищення	1	
9	блок електрокерування «Rich Brain 4005»	1	
10	електромагнітні клапани (3 шт.)	1	
11	манометр	1	
12	штанговий секція лівими	1	
13	[illegible]	1	
14	[illegible]	1	
15	[illegible]	2	
16	магістраль напірна	1	
17	[illegible] (2 шт.)	2	
18	розпилювач [illegible] (55 шт.)	36	
19	шланговий [illegible]	36	
20	корпус розпилювача	36	
21	гідравлічні магістралі	1	комплект
22	електропроводка	1	комплект
23	GPS-антена	1	
24	фари робочого освітлення (2 шт.)	2	
25	світла ФНІ	2	

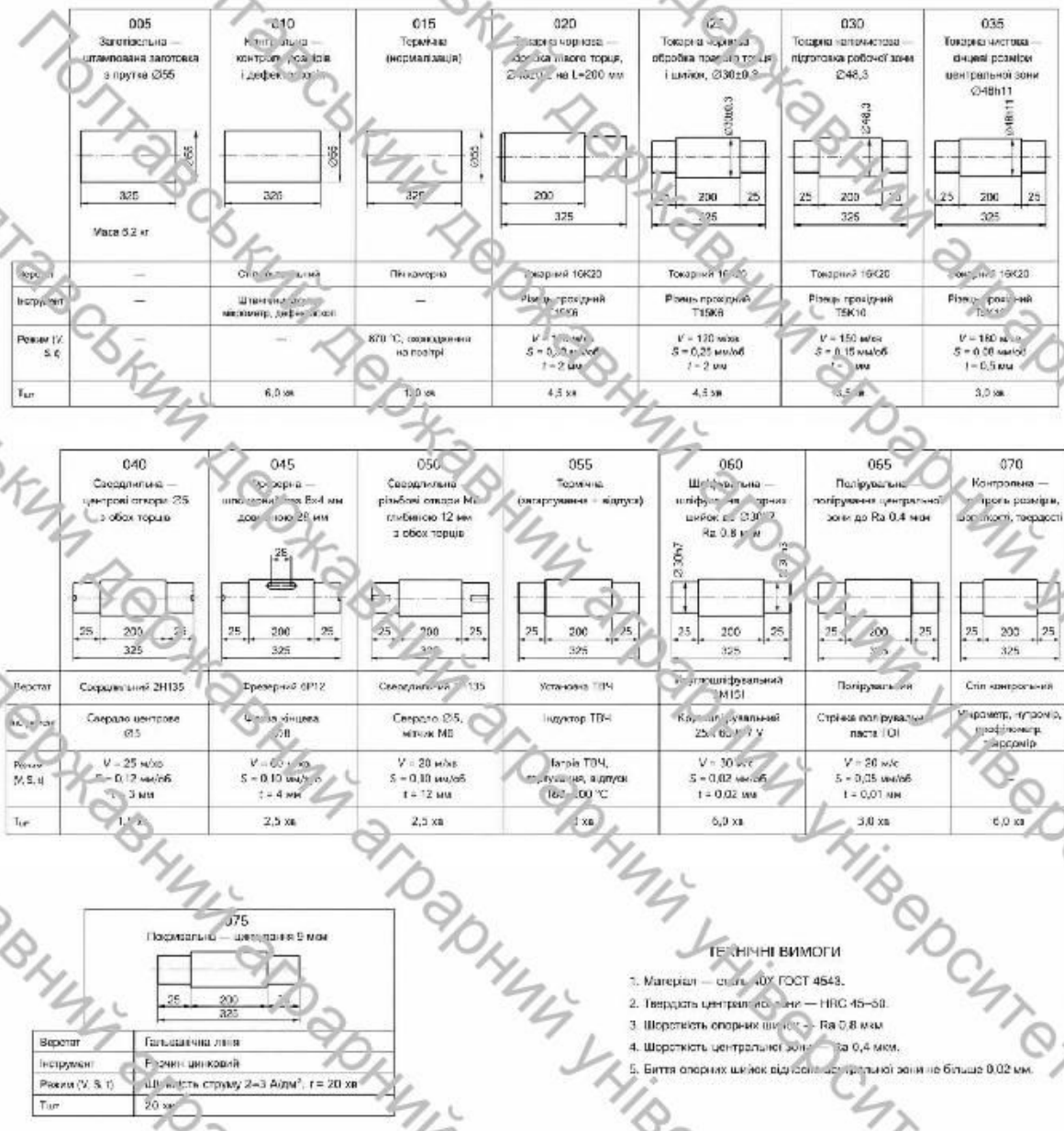
Рисунок А.1 – Складальний кресленик удосконаленого обприскувального агрегату

Джерело: кресленик розроблено автором

Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТОК Б

Маршрутна карта технологічного процесу виготовлення осі повороту секції штанги



Креслення 2 — Карта технологічного процесу механічної обробки осі

Рисунок Б.1 – Карта технологічного процесу механічної обробки осі (операції 005–075)

Джерело: розроблено автором за матеріалами підрозділу 2.4

Полтавський державний аграрний університет

ЗВЕДЕНА ТАБЛИЦЯ ОПЕРАЦІЙ

№ опер.	Назва операції
005	Заготівельна — штампована заготовка з прутка ∅55
010	Контрольна — контроль розмірів і дефектоскопія
015	Термічна (нормалізація) — нагрів до 870 °C, охолодження на повітрі
020	Токарна чорнова — обробка лівого торця, ∅48±0,2 на *L*=200 мм
025	Токарна чорнова — обробка правого торця і шийок, ∅30±0,3
030	Токарна напівчистова — підготовка робочої зони ∅48 h13
035	Токарна чистова — кінцеві розміри центральної зони ∅48h11
040	Свердлильна — центрові отвори ∅5 з обох торців
045	Фрезерна — шпонковий паз 8×4 мм довжиною 28 мм
050	Свердлильна — різьбові отвори M6 глибиною 12 мм з обох торців
055	Термічна (загартування + відпуск) — гартування ТВЧ до HRC 45–50
060	Шліфувальна — шліфування опорних шийок до ∅30h7, Ra 0,8 мкм
065	Полірувальна — полірування центральної зони до Ra 0,4 мкм
070	Контрольна — контроль розмірів, шорсткості, твердості
075	Покривальна — цинкування 9 мкм

Рисунок Б.2 – Зведена таблиця операцій технологічного процесу

Джерело: розроблено автором за матеріалами підрозділу 2.4

Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТОК В

Робочий кресленик осі повороту секції штанги обприскувача

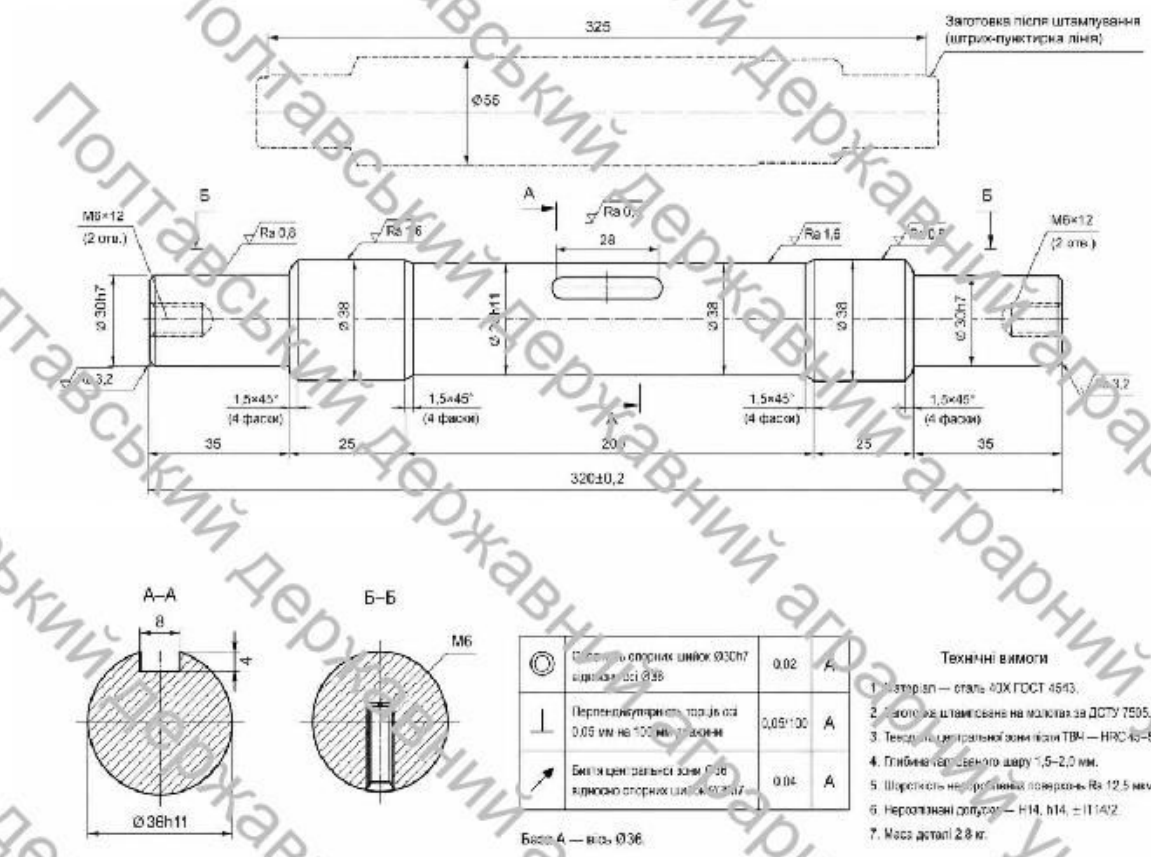


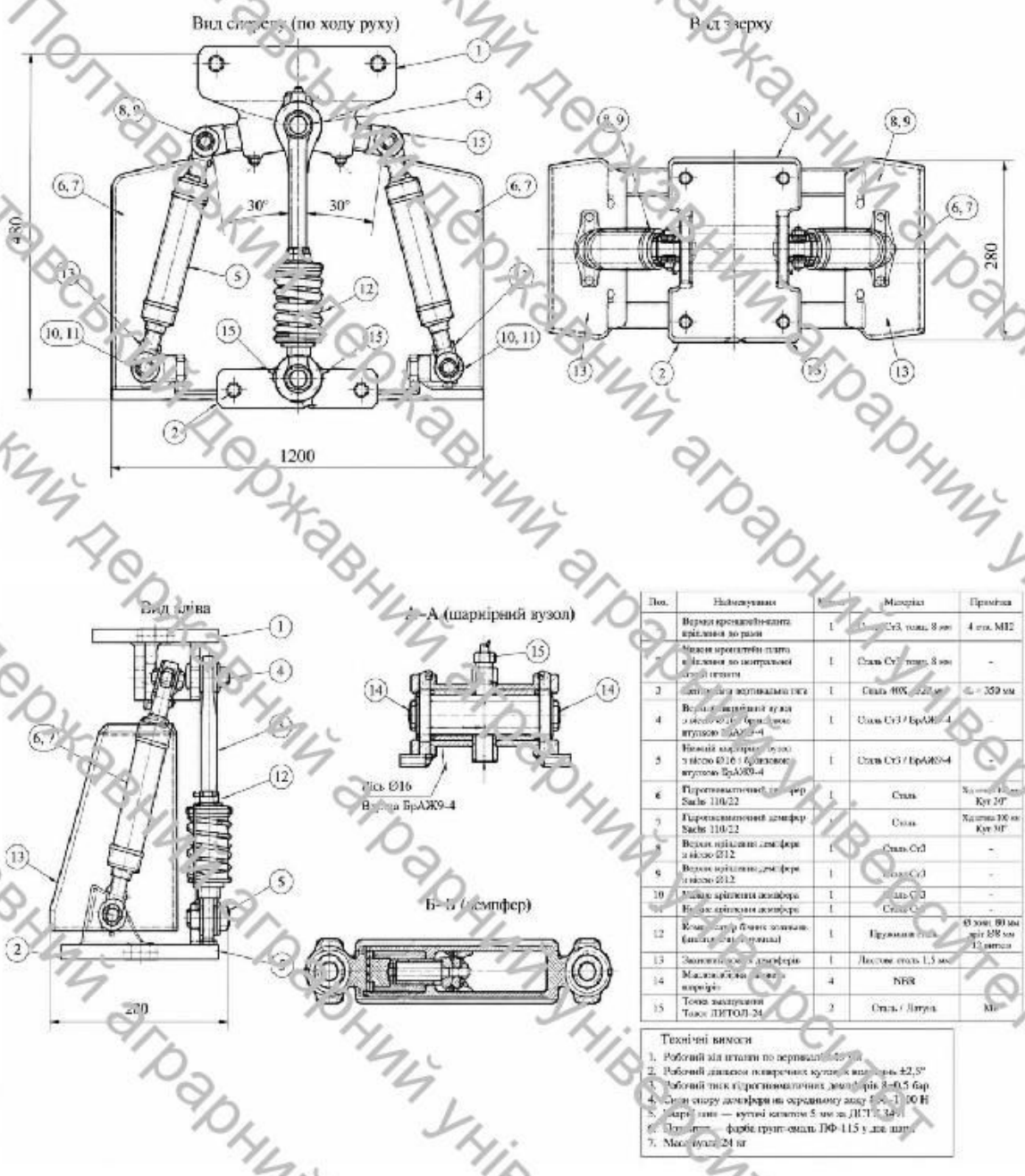
Рисунок В.1 – Робочий кресленик осі повороту секції штанги обприскувача

Джерело: розроблено автором

Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТОК Г

Складальний кресленик вузла маятникової підвіски штанги обприскувача



Поз.	Найменування	К-сть	Матеріал	Примітка
1	Верхня кронштейнова пластина кріплення до рами	1	Сталь Ст3, товщ. 8 мм	4 отв. М12
2	Нижня кронштейнова пластина кріплення до центральної балки штанги	1	Сталь Ст3, товщ. 8 мм	–
3	Центральна вертикальна труба	1	Сталь [illegible]	[illegible] = 350 мм
4	Верхній шарнірний вузол з віссю Ø16 і бронзовою втулкою БрАЖ9-4	1	Сталь Ст3 / БрАЖ9-4	–
5	Нижній кронштейн вузла з віссю Ø16 і бронзовою втулкою БрАЖ9-4	1	Сталь Ст3 / БрАЖ9-4	–
6	Гідропневматичний демпфер Sachs 110/22	1	Сталь	Хід штока 110 мм, Кут 20°
7	Гідропневматичний демпфер Sachs 110/22	1	Сталь	Хід штока 100 мм, Кут 30°
8	Верхнє кріплення демпфера з віссю Ø12	1	Сталь Ст3	–
9	Верхнє кріплення демпфера з віссю Ø12	1	Сталь Ст3	–
10	Нижнє кріплення демпфера	1	Сталь Ст3	–
11	Нижнє кріплення демпфера	1	Сталь Ст3	–
12	Комплект пружин (вилка, шайби, фіксатори)	1	Пружинна сталь	45 хомі, 80 мм, крок 8/8 мм, 12 витків
13	Захисний кожух демпфера	1	Листова сталь 1,5 мм	–
14	Ущільнювальні кільця шарнірів	4	NBR	–
15	Точка кріплення тросів ЛИТОЛ-24	2	Сталь / Литуль	М12

Технічні вимоги

1. Робочий хід штанги по вертикалі [illegible] мм.
2. Робочий діапазон поперечних кутових відхилень ±2,5°.
3. Робочий тиск гідропневматичних демпферів 8 ± 0,5 бар.
4. Сила опору демпфера на середньому ході 1 [illegible] 200 Н.
5. Зварювання — кутовий катетом 5 мм за ДСТУ 3497.
6. Покриття — фарба грунт-емаль ПФ-115 у два шари.
7. Маса вузла 24 кг.

Рисунок Г.1 – Складальний кресленик вузла маятникової підвіски штанги

Джерело: розроблено автором

Полтавський державний аграрний університет

ДОДАТОК Д

Складальний кресленик інжекторного розпилювача ID-120-03

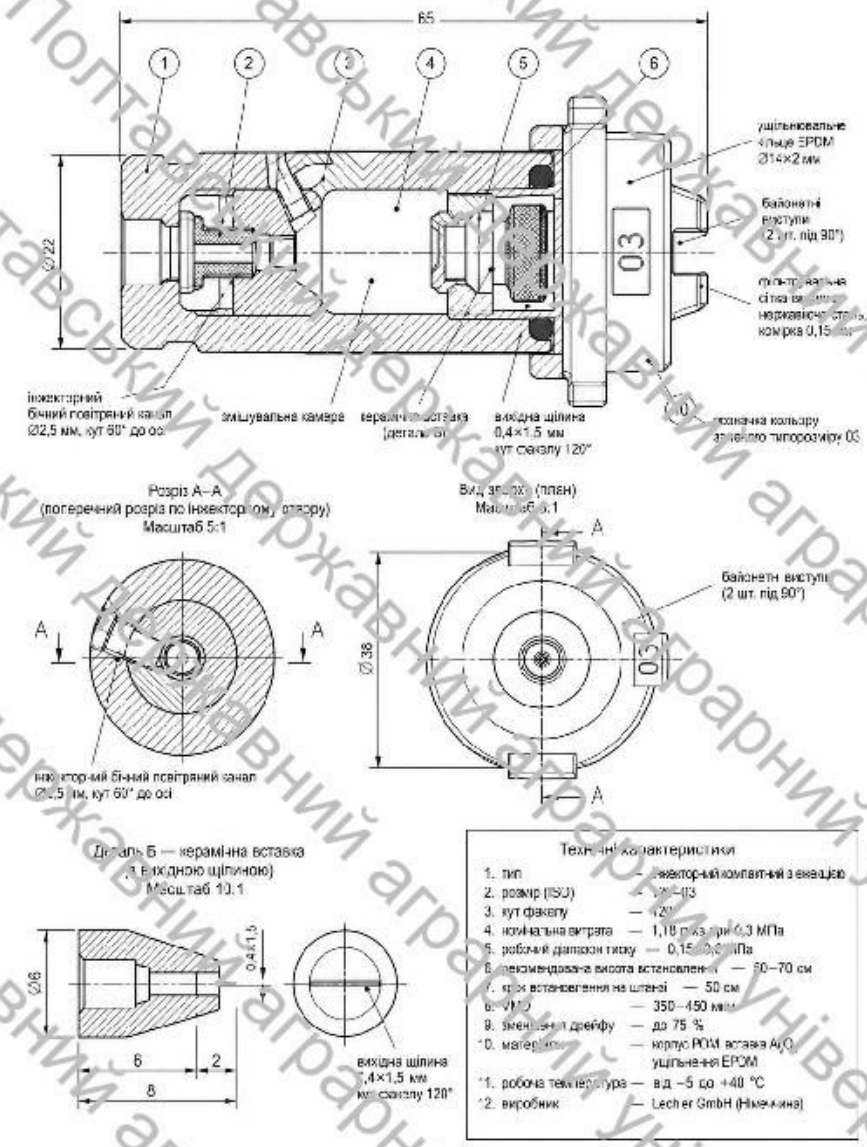


Рисунок Д.1 – Складальний кресленик інжекторного розпилювача ID-120-03

Джерело: розроблено автором на основі технічної документації Lechler GmbH

Полтавський державний аграрний університет