

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення експлуатаційних характеристик обприскувача при
удосконаленні навіски штанги

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

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Філіпович С.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.
(прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Філіповичу Сергію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення експлуатаційних характеристик обприскувача
при удосконаленні навіски штанги
навантажувача

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

Затверджені наказом ректора від «22» 01 2025 року № 4/7-25

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2025

3. Вихідні дані до роботи

Ширина захвату штанги 24 м; крок встановлення розпилювачів 0,5 м; маса штанги з комунікаціями і кріпленнями 700 кг; гідроциліндр для підйому рамки штанги діаметром 80 мм, при ході штока 800 мм; внутрішній діаметр маслопроводу 12,5 мм; зусилля, що необхідне для коректування положення штанги – 3500 Н

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

Вступ. 1. Аналіз технологій і засобів хімічного захисту рослин.

2. Рекомендації з покращення експлуатаційних характеристик обприскувача.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Мета і завдання дослідження; Обприскувач напівпрічипний штанговий ОПШ-3500; Секція середня; Навіска; Штанга; Схеми розрахункові; Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Філіпович С.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабій А.В.
(прізвище та ініціали)

Реферат

Мета і завдання дослідження – підвищити експлуатаційні характеристики причіпного обприскувача.

Мета досягається шляхом удосконаленням навіски штанги при заміні системи навішування штанги, що підвищує її функціональні характеристики.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

розглянуто принципи та методи обприскування, що використовуються в агровиробництві;

проведено огляд сучасних конструктивних рішень машин-аналогів;

наведено основні відомості про конструкцію та експлуатаційні характеристики обприскувача ОПШ-3500;

визначено деякі експлуатаційні характеристики обприскувача;

розраховано робочі характеристики гідравлічної системи штангового механізму;

Проведено розрахунок нової конструкції підвісу штаги.

Об'єктом дослідження – технологічний процес обприскування сільськогосподарських культур.

Предмет дослідження – навіска штанги обприскувача.

Практичне значення – проведене удосконалення навіски штанги обприскувач, що підвищило її функціональну здатність.

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

Ключові слова. Обприскувач, штанга, навіска, хімічний захист, технологія захисту рослин .

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН.....	6
1.1 Принципи та методи обприскування, що використовуються в агровиробництві	6
1.2 Вплив поверхнево-активних речовин на ефективність застосування засобів захисту рослин	12
1.3 Огляд сучасних конструктивних рішень машин-аналогів	18
1.4 Обґрунтування вибору напрямку виконання вдосконалення	23
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБПРИСКУВАЧА	25
2.1 Основні відомості про конструкцію та експлуатаційні характеристики обприскувача ОПШ-3500	25
2.2 Регулювання штанги обприскувача: налаштування, контроль і правила безпечної експлуатації.....	28
2.3 Визначення деяких експлуатаційних характеристик обприскувача.....	31
2.4 Розрахунок робочих характеристик гідравлічної системи штангового механізму....	33
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	40
3.1 Розрахунок нової конструкції підвісу штаги	40
3.2 Розрахунок пружини тросового підвісу	43
3.3 Розрахунок зварного з'єднання упору тросового підвісу штанги	48
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	54
4.1 Небезпеки, що виникають при роботі обприскувача сільськогосподарських культур	54
4.2 Вимоги безпеки праці при обприскуванні сільськогосподарських культур	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ВСТУП

У сучасному аграрному виробництві хімічний захист рослин відіграє важливу роль у забезпеченні стабільних урожаїв та високої якості сільськогосподарської продукції. Одним із основних технічних засобів реалізації цього процесу є обприскувачі, які використовуються для нанесення пестицидів, гербіцидів, фунгіцидів та інших засобів захисту рослин. Водночас ефективність їх роботи значною мірою визначається технічним станом, конструктивними особливостями та рівнем експлуатаційних характеристик. У зв'язку з цим актуальним завданням є підвищення надійності, точності дозування, рівномірності розподілу робочої рідини, а також зменшення втрат хімікатів під час обприскування.

Незважаючи на значну кількість наявних моделей обприскувальної техніки, багато з них не повною мірою відповідають вимогам сучасного землеробства, особливо в умовах змін клімату, екологічних обмежень і зростаючих вимог до якості агротехнологій. Тому виникає потреба у вдосконаленні як окремих конструктивних вузлів, так і загальної схеми обприскувача з метою підвищення його експлуатаційної ефективності.

Підвищення експлуатаційних характеристик обприскувачів охоплює низку технічних і технологічних аспектів, зокрема покращення параметрів штанги, систем стабілізації її положення, системи приготування та подачі робочої рідини, а також засобів контролю за нормою витрати й рівномірністю розподілу. Удосконалення цих компонентів забезпечує зниження витрат засобів захисту, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення загальної продуктивності технологічного процесу.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є теоретичне обґрунтування та апробація технічних рішень, спрямованих на покращення експлуатаційних характеристик обприскувачів, з урахуванням агротехнічних, екологічних і економічних вимог сучасного сільського господарства.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗАСОБІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

1.1 Принципи та методи обприскування, що використовуються в агровиробництві

Боротьба з бур'янами та небажаною рослинністю є невід'ємною частиною сучасного сільськогосподарського виробництва. Механічні методи, хоча й широко використовуються, мають суттєві обмеження, оскільки впливають лише на надземну частину рослини. Коренева система в більшості випадків зберігає життєздатність і продовжує рости, що знижує ефективність такої обробки. У зв'язку з цим хімічне обприскування стало основною альтернативою механічному способу контролю за небажаною рослинністю. Суть цього методу полягає в нанесенні на рослини гербіцидів суцільної дії, які проникають через листову поверхню та знищують як надземну, так і підземну частину рослини.

Порівняно з механічною обробкою, застосування гербіцидів дозволяє зменшити затрати в 6–8 разів, а трудомісткість робіт скорочується до 50–80 %. Більшість гербіцидів постачаються у вигляді водорозчинного концентрату, що вимагає приготування рідкого робочого розчину перед обробкою. Іноді для покращення адгезії розчин загущують до гелеподібного стану.

У практиці застосовуються різні методи нанесення робочої рідини: розпилення з наземних обприскувачів, ручних пристроїв, контактне змазування тощо. Серед них основним способом є саме обприскування. За статистикою, близько 75 % усіх рідких препаратів у сільському господарстві вносяться через обприскування.

За витратою робочої рідини методи обприскування поділяються на:

- повнооб'ємні (100–500 л/га – для польових культур, понад 500 л/га – для садів, виноградників, лісосмуг);
- малооб'ємні (менше 100 л/га);

- аерозольні та методи опилування (застосовуються в авіаобробці, в межах цієї роботи не розглядаються).

З розвитком технологій обприскування акцент зсувається у бік зменшення норми витрати робочої рідини, автоматизації дозування, підвищення продуктивності обприскувачів та покращення безпеки роботи оператора. Ці завдання реалізовувалися через збільшення ємностей баків, ширини захвату штанг та швидкості обробки поля, впровадження автоматизованих систем керування та електронних дозаторів.

Повнооб'ємне обприскування характеризується високим об'ємом розпиленої рідини та значною варіацією розміру крапель – від 150 до 600 мкм. Причому переважна частина (до 75 %) становить краплі діаметром понад 350 мкм, які мають більшу масу і, відповідно, гірше утримуються на поверхні рослин. Через це значна частина робочої рідини стікає з рослин у ґрунт, що призводить до перевитрати препаратів та забруднення навколишнього середовища. За окремими оцінками, до 60 % внесеної рідини втрачається, що суттєво знижує ефективність обробки.

Тому останніми роками спостерігається тенденція до переходу на малооб'ємне обприскування, яке дозволяє значно зменшити витрати розчину, підвищити ефективність осідання крапель на листовій поверхні та знизити негативний вплив на ґрунтові ресурси. Сучасні системи обприскування вітчизняних і зарубіжних виробників інтенсивно впроваджують ці технології в масове виробництво, забезпечуючи потреби фермерських та промислових господарств.

Малооб'ємне обприскування є найбільш поширеним і ефективним методом внесення гербіцидів у сучасному сільськогосподарському виробництві. Цей підхід передбачає використання робочої рідини в об'ємі від 10 до 100 л/га. Така норма дозволяє досягти більш економного використання хімікатів, зберігаючи при цьому високу ефективність дії завдяки оптимальному розміру крапель – у межах 50–250 мкм. Найважливішими перевагами цієї технології є краща проникність розчину в рослинні тканини, зменшення

стікання рідини в ґрунт, стабільність результатів при зміні погодних умов (вітру, опадів, сонячної радіації), а також мінімальні втрати робочої речовини, які зазвичай не перевищують 20 %.

Малооб'ємні обприскувачі виробляються багатьма провідними компаніями по всьому світу. Конструкторські рішення зосереджені на підвищенні точності, якісного контролю розміру крапель та рівномірності покриття. Однією з важливих характеристик є ширина захвату штанги, яка безпосередньо впливає на продуктивність. Проте для забезпечення стабільного рівномірного обприскування необхідно точно витримувати паралельність штанги відносно поверхні поля. Це особливо актуально для машин зі штангою понад 10 м, які обов'язково обладнуються стабілізаційними механізмами.

Прикладом є обприскувач ОМП-601. Цей штанговий обприскувач має ширину захвату 12 м, оснащений 25 форсунками для рівномірного розпилення, системою очищення рідини через гідравлічні фільтри, а також ефективною стабілізацією штанги. Передбачена можливість встановлення автоматизованої системи контролю якості технологічного процесу. За своїми параметрами ОМП-601 не поступається, а в окремих аспектах перевищує зарубіжний аналог – обприскувач Master-MB компанії “Hazdi” (Данія). На базі цієї моделі було розроблено ОД-2000 – машину для обробки узбіч, каналів, смуг відчуження.

Особливу увагу сучасні виробники приділяють конструкції розпилювальних головок. Вони мають багатопозиційне виконання, оснащуються байонетним кріпленням для швидкої заміни без інструментів. Широко використовуються щілинні, металокерамічні, турбопінні та інжекторні типи розпилювачів. Серед провідних виробників можна назвати “Agrotop”, “Lechler”, “Billerica Farm Services” (США). Усі моделі мають кольорове маркування згідно з витратними характеристиками.

Варто виокремити розпилювачі CADS від “Agrotop”, сопла яких виготовляються з еластичного матеріалу і автоматично змінюють розмір отвору залежно від тиску, забезпечуючи сталість розміру крапель навіть при коливанні параметрів системи.

Американська компанія “Spraying Systems Co” також пропонує високоточне обладнання, зокрема серію TeeJet, яка використовується в техніці багатьох виробників по всьому світу.

Цікавою інновацією є система Dose-2000, створена шведською фірмою “Agrifutura”. Вона дозволяє роздільно подавати воду та концентрат гербіциду, змішуючи їх безпосередньо перед розпиленням у спеціальній камері. Це знижує ризик розшарування і дає можливість точного регулювання концентрації препарату.

Компанія “John Deere” інтегрує у свої обприскувачі технологію Twin Fluid. В її основі – двофазна подача повітря і рідини у змішуючу камеру розпилювача. Співвідношення повітряного та рідинного тиску контролюється автоматизованою системою EL-4 Auto Rate, яка враховує дані з вітроміра та інших сенсорів, що дозволяє адаптувати обприскування під поточні погодні умови й автоматично змінювати розмір крапель, їх швидкість та витрату рідини.

Усе це свідчить про активний розвиток та високий рівень технологічності малооб’ємного обприскування, яке стало ключовим інструментом ефективного, економічного й екологічно обґрунтованого захисту рослин.

Ультрамалооб’ємне обприскування (УМО) є одним із найбільш інноваційних підходів у сфері хімічного захисту сільськогосподарських культур. Цей метод передбачає надзвичайно низьке споживання робочого розчину – від 1 до 5 л/га для польових культур і від 5 до 25 л/га для багаторічних насаджень. При цьому діаметр крапель становить у межах 60–150 мкм, що дозволяє досягти високої ефективності покриття поверхні рослин при мінімальних витратах.

Суттєве зменшення витрати робочої рідини в порівнянні з малооб’ємним обприскуванням дозволяє знизити експлуатаційні витрати на обробку та зменшити частоту заправки, що особливо важливо під час обробки великих площ. Це дає змогу створювати компактні обприскувачі з високою маневровістю та агрегатувати їх із легшими базовими машинами. Для УМО-

технологій характерне використання концентрованих препаратів, які не потребують додаткового приготування розчину перед обприскуванням.

Ключовим елементом обприскувача УМО є розпилювач. Найчастіше використовуються дискові конструкції, які формують краплі за допомогою відцентрової сили. На базі цих принципів було розроблено декілька варіантів УМО-обприскування, серед яких найбільший інтерес викликають:

- обприскування з електрзарядкою крапель;
- обприскування з контрольованим розміром крапель (КРК).

У першому випадку кожна крапля під час формування отримує електричний заряд певного знаку. Це дозволяє краплям орієнтуватися в електричному полі, рухаючись до поверхонь рослин навіть при обробці лише з одного боку. Такий метод забезпечує охоплення всіх частин рослини без необхідності повного обтікання крони. Існує три основні методи зарядки крапель – контактний, індукційний та коронний. Останній є найбільш поширеним завдяки своїй економічності й простоті.

Друга технологія УМО – з контрольованим розміром крапель – орієнтована на усунення надмірної кількості дрібнодисперсних частинок, які часто випаровуються або зносяться вітром. Для цього у ВНІ фітопатології (Росія) було створено інноваційний розпилювач, який дозволяє формувати краплі заданого розміру та автоматично видаляти надто дрібні (менше 60 мкм). Цей елемент застосовується в обприскувачі ОСК-200, що на сьогодні не має зарубіжних аналогів.

Польові дослідження УМО-обприскувачів підтверджують значне зниження норми витрати робочого розчину – в середньому в 15 разів у порівнянні з традиційним обприскуванням, при цьому витрати препарату зменшуються на 25–50 %, без втрати ефективності в боротьбі з небажаною рослинністю.

Незважаючи на високий потенціал, технологія обприскування, включаючи УМО, все ще стикається з певними непродуктивними втратами. Основні з них включають:

- стікання надлишкової рідини з листя на ґрунт (особливо актуально для повнооб'ємного обприскування);
- знесення крапель вітром при недостатній масі чи великій дисперсності;
- осідання рідини на поверхню ґрунту до досягнення рослин;
- випаровування найдрібніших фракцій під дією сонця або вітру.

Крім того, поширеною помилкою є надмірне зволоження поверхні рослин: оператори нерідко продовжують обприскування до повного намокання листя, що призводить до нераціонального використання препаратів і зайвих витрат. Технології УМО покликані усунути ці недоліки, зробити процес точнішим, економічнішим і екологічно безпечнішим.

Одним із найефективніших способів мінімізації втрат робочої рідини при застосуванні гербіцидів є контактний метод обробки. На відміну від традиційного обприскування, де втрати можуть виникати через знесення вітром, випаровування чи осідання на ґрунт, контактне нанесення передбачає точкове і пряме перенесення діючої речовини безпосередньо на поверхню рослини. Це забезпечує не лише високу точність внесення, але й значну економію препаратів.

Контактна технологія передбачає застосування системних гербіцидів у формі рідин або гелів, які після нанесення на рослинну поверхню проникають у її тканини й досягають кореневої системи, забезпечуючи повне або часткове припинення життєвих процесів. Такий метод особливо ефективний на ділянках із суцільною густою рослинністю, де рекомендується здійснювати обробку в обох напрямках руху машини – прямому і зворотному – для досягнення рівномірного покриття всіх рослин.

Серед технічних рішень, які реалізують контактне внесення гербіцидів, варто згадати обладнання ОКЗ-6, розроблене підприємством «Сельгоспхімаш» у Львові. Його робочий елемент – це поліетиленові трубки, заповнені гербіцидом, до яких прикріплені фітільні канати з поліамідних волокон. Таке рішення дозволяє наносити розчин із нормою витрати від 0,1 до 5 л/га, що робить технологію надзвичайно економічною.

Інше цікаве рішення запропонували інженери західного філіалу Інституту механізації та електрифікації сільського господарства. У їх конструкції робочий орган виконано у формі барабана з пористо-капілярного матеріалу, обтягнутого синтетичною сіткою. Цей барабан контактує з резервуаром у вигляді труби зі щілиною, з якої надходить гелеподібний гербіцид. Така форма подачі забезпечує точне і рівномірне нанесення речовини.

Ефективність контактного способу залежить від типу рослинності. Чим вища й масивніша рослина (наприклад, очерет або рогіз до 5 м заввишки), тим більше гербіциду необхідно для досягнення ефекту. Крім того, на результативність значно впливають поверхнево-активні речовини (ПАР), які сприяють проникненню препарату через кутикулу листків у тканини. Однак існує ще більш економічна альтернатива: введення гербіциду безпосередньо в зріз стебла після косіння. Такий підхід дозволяє доставити активну речовину прямо у провідну систему рослини, мінаючи випарну поверхню, й ефективно блокувати життєві функції навіть без застосування ПАР.

1.2 Вплив поверхнево-активних речовин на ефективність застосування засобів захисту рослин

Результативність вирощування сільськогосподарських культур у значній мірі обумовлюється не лише природними умовами й агротехнічними заходами, а й ефективністю захисту посівів від шкідливих факторів, таких як бур'яни, хвороби та комахи-шкідники. Саме втрати, спричинені цими факторами, здатні зменшити потенційний урожай на 30–50 %, а отримана продукція нерідко втрачає якість і товарну придатність.

Сучасне землеробство все частіше базується на технологіях інтенсивного використання хімічних засобів захисту рослин, зокрема пестицидів. Проте широке застосування цих препаратів призводить до певних ризиків – зростає небезпека хімічного забруднення як самих сільськогосподарських культур, так і

грунту, водойм, повітряного середовища. Внаслідок цього виникає не лише екологічне, а й економічне навантаження на виробництво через втрати урожаю та витрати на нейтралізацію наслідків забруднення.

Одним із напрямів мінімізації негативного впливу пестицидів є підвищення ефективності їх використання за рахунок впровадження допоміжних речовин – сурфактантів. Ці речовини, які мають поверхнево-активні властивості, здатні значно підвищити адгезію крапель робочого розчину до поверхні рослини, покращити його проникнення в тканини, забезпечити більш рівномірне покриття листової поверхні і зменшити стікання препаратів у ґрунт.

Сурфактанти виконують одразу кілька важливих функцій: зменшують поверхневий натяг робочого розчину, збільшують змочуваність листків, знижують випаровування активної речовини з поверхні рослини та підвищують швидкість і ефективність поглинання пестициду. Використання таких домішок дозволяє зменшити витрату хімічних речовин без зниження ефективності захисту, що в умовах сьогодення особливо актуально з огляду на зростання цін на препарати та вимоги до екологічної безпеки.

Ефективність застосування пестицидів значною мірою залежить від способу та якості їх внесення. Найбільш поширеним методом є обприскування, де успіх залежить від низки параметрів: розміру крапель, щільності покриття, рівномірності розподілу речовини по площі, а також стійкості крапель до знесення вітром. Дослідження доводять, що лише 10–90 % активної речовини, залежно від умов обробки, потрапляє на цільові об'єкти. Інша частина втрачається, створюючи небезпеку для довкілля та підвищуючи собівартість виробництва.

Отже, досягнення оптимального результату в системі хімічного захисту рослин можливе лише за умови комплексного підходу, що включає: використання якісних препаратів, сучасної техніки для обприскування та застосування ефективних сурфактантів, які покращують дію основної

речовини. Такий підхід дозволяє не лише зменшити дозу внесення пестицидів, але й підвищити безпеку для агроєкосистеми в цілому.

Сучасне рослинництво постійно стикається з викликами, пов'язаними з необхідністю зниження витрат і підвищення ефективності агротехнологій. Особливо це стосується хімічного захисту культур, адже пестициди є одними з найбільш витратних елементів у структурі собівартості. Так, згідно з розрахунками, витрати на пестициди можуть складати до чверті загальних витрат при вирощуванні зернових бобових та олійних культур. Зокрема, при урожайності соняшнику 18–20 центнерів з гектара на частку засобів захисту припадає 20–23% витрат, а для сої при врожайності 10–12 ц/га ця частка досягає 25–30%. Очевидно, що за таких умов підвищення якості обприскування – один з ключових резервів підвищення продуктивності та економічної ефективності.

На ефективність роботи пестицидів впливають як технічні параметри обприскування, так і природно-біологічні чинники. До останніх належать такі як: стікання розчину з листової поверхні, його змивання опадами, високий поверхневий натяг, випаровування при високих температурах, а також бар'єр у вигляді кутикули листка та якість води, яка використовується для приготування розчинів. Хоча дрібні краплі здатні краще вкривати поверхню і проникати глибше в листову тканину, вони також легше випаровуються та зносяться вітром.

Зменшити негативний вплив зовнішніх чинників можна за рахунок застосування поверхнево-активних речовин, або сурфактантів. Ці сполуки мають здатність змінювати фізико-хімічні властивості рідини, покращуючи її змочувальні та проникні характеристики. Сурфактанти сприяють рівномірному розподілу крапель по поверхні, зменшують поверхневий натяг і збільшують площу контакту рідини з рослиною.

Особливу роль відіграють сурфактанти, збагачені азотовмісними компонентами. Вони активніше проникають у клітини завдяки біологічній потребі рослин в азоті. Крім того, такі сурфактанти створюють кисле

середовище на поверхні листків, що підсилює дію системних гербіцидів. Гербіциди проникають переважно через листя та стебла, і будь-яке покращення їх транспорту в тканини рослини підвищує ефективність дії препарату.

Однією з головних перешкод на шляху діючої речовини є кутикула – водонепроникний восковий шар. Її товщина залежить від умов росту: при високій температурі та низькій вологості вона потовщується, утворюючи бар'єр для поглинання пестицидів. Завдяки застосуванню сурфактантів, навіть незначні їх концентрації (0,1%) можуть значно підвищити ефективність препаратів на зразок Раундапу, Гранстару, Базису та інших.

Наукові дослідження показали, що без додавання сурфактантів середній рівень ефективності робочого розчину становить близько 45–47%. При додаванні 0,12% поверхнево-активних речовин ця ефективність зростає до 60%, а при концентрації 0,25% – досягає 85%. Таким чином, використання сурфактантів дозволяє не лише скоротити витрати пестицидів, а й підвищити біологічну активність препарату, знизити навантаження на довкілля та покращити економіку хімічного захисту культур.

У сучасних умовах, коли значна частина обробки посівів здійснюється за несприятливої погоди, особливо в спекотні та посушливі дні, ефективність дії пестицидів часто суттєво знижується. Однією з ключових проблем є прискорене висихання крапель робочого розчину, що призводить до утворення кристалів діючих речовин на поверхні рослини. Такі кристали менш ефективно проникають у тканини рослини, що значно знижує загальний гербіцидний ефект. Уникнути цього дозволяє використання сурфактантів, які виконують функцію зволожувачів. Вони продовжують період висихання крапель, уповільнюють процес кристалізації та підвищують біологічну активність препарату. Крім того, такі речовини знижують ризик стікання препарату з листової поверхні, особливо за умов високої швидкості обприскування або застосування примусового повітряного потоку.

Ще однією проблемою є наявність пилу на поверхні листків, що містить катіони важких металів – кальцію, магнію, заліза та інших. Ці іони можуть

вступати в хімічну реакцію з солями, на яких базуються гербіциди, що призводить до втрати активної дії препаратів. Сурфактанти, які містять сульфат амонію або інші неорганічні солі, здатні нейтралізувати цей негативний ефект, вступаючи в конкурентну реакцію з іонами важких металів та підвищуючи стабільність гербіцидів у робочому розчині.

У разі застосування контактних гербіцидів, що діють лише у місці дотику до рослини, вкрай важливо забезпечити рівномірне та суцільне покриття оброблюваної поверхні. Без використання змочувачів краплі розчину можуть залишати лише локальні опіки на листках, не призводячи до знищення бур'янів. Сурфактанти, включені до складу робочого розчину, сприяють рівномірному розтікання крапель і, відповідно, покращують охоплення рослини препаратом.

Не менш важливим фактором є якість води, яка використовується для приготування робочих розчинів. У деяких регіонах України вона має підвищений вміст солей або небажаний рівень рН. Для поліпшення властивостей води рекомендується застосовувати сурфактанти в дозі 100–500 мл на 100 літрів води. Вони не лише покращують розчинність активних речовин, а й стабілізують рН та сприяють ефективному проникненню гербіцидів навіть у воді з рН вище 6,5.

Під час приготування робочого розчину пестицидів та в процесі перемішування у баку обприскувача часто утворюється піна, яка перешкоджає нормальній роботі розпилювачів. Цю проблему вирішують спеціальні антипінні сурфактанти, які ефективно запобігають утворенню піни навіть при мінімальній нормі внесення – 8–10 мл на 100 літрів води.

Сурфактанти нового покоління можуть містити ароматичні добавки на основі природних ефірів, наприклад, цитрусового або хвойного лімонену. Ці речовини нейтралізують неприємний запах пестицидів, що особливо актуально під час обробки територій, наближених до населених пунктів або доріг загального користування.

Ще однією суттєвою перевагою є те, що завдяки покращеній змочувальній здатності робочого розчину, сурфактанти дозволяють зменшити

загальну потребу у воді на 30–50%. Це критично важливо для агровиробників півдня і південного сходу України, де прісна вода є дефіцитним ресурсом.

Таким чином, застосування поверхнево-активних речовин у складі пестицидних робочих розчинів забезпечує стабільну та економічно обґрунтовану дію препаратів у різноманітних погодних і ґрунтових умовах. Це відкриває нові можливості для підвищення ефективності агрохімічного захисту рослин і сталого розвитку аграрного виробництва.

Однією з найбільш суттєвих переваг використання сурфактантів при проведенні хімічної обробки посівів є здатність цих речовин зменшувати втрати препарату внаслідок знесення вітром. Це дозволяє застосовувати менші за розміром краплі робочого розчину, що значно підвищує ефективність обробки в несприятливих погодних умовах. В умовах вітру це дає змогу забезпечити надійне утримання крапель на листовій поверхні та запобігти їх перенесенню за межі поля, що особливо важливо при обробці посівів у критичні фази розвитку рослин.

Зменшення витрати води, досягнуте завдяки використанню сурфактантів, безпосередньо впливає на скорочення часу, що витрачається на приготування робочої суміші, транспортування води та дозаправку обприскувача. За результатами хронометражних досліджень встановлено, що майже чверть усього часу, витраченого на обприскування, припадає саме на ці технологічні операції. Таким чином, застосування сурфактантів дозволяє скоротити непродуктивний час і значно підвищити змінну продуктивність польових агрегатів.

Окрім економії часу, є й помітна економія витрат на самі пестициди. Завдяки поліпшеному проникненню діючих речовин та рівномірному покриттю оброблюваної поверхні, в багатьох випадках норму витрати препаратів можна знизити на 15–20% без втрати ефективності. З урахуванням того, що вартість пестицидів може перевищувати 350–400 гривень на гектар, такі заощадження мають істотний фінансовий ефект. Крім того, зменшується загальна кількість

обприскувань за сезон, що також позитивно впливає на зниження витрат на паливо, амортизацію техніки та оплату праці.

Сурфактанти створюють умови для більшої гнучкості у виборі строків хімічної обробки. У разі застосування звичайних робочих розчинів пестицидів, проведення обробки за вітряної погоди зазвичай неможливе через високий ризик знесення робочої рідини. Використання сурфактантів значно знижує цю загрозу, дозволяючи проводити обприскування навіть у нестабільних погодних умовах, не відкладаючи технологічні операції на пізніші, менш ефективні терміни. Це особливо важливо в боротьбі з бур'янами, де кожен день затримки може призвести до суттєвих втрат урожаю.

Економічний аналіз свідчить, що завдяки комплексному ефекту – зменшенню витрат пестицидів, зниженню обсягів споживаної води, скороченню кількості проходів агрегату по полю, та зменшенню тривалості робіт – загальна ефективність застосування сурфактантів є високою. Досвід сільськогосподарських підприємств підтверджує, що витрати на ці допоміжні речовини швидко окуповуються, а вартість обробки одиниці площі в цілому зменшується.

Узагальнюючи вищезазначене, можна стверджувати, що застосування сурфактантів у складі робочих розчинів для хімічного захисту рослин забезпечує стабільно високу якість обприскування, мінімізує негативні впливи погодних чинників, знижує витрати матеріальних і трудових ресурсів та суттєво підвищує економічну ефективність аграрного виробництва.

1.3 Огляд сучасних конструктивних рішень машин-аналогів

Внесення пестицидів і добрив здійснюють у відповідності до агротехнологічних вимог. Розпилення робочих розчинів у різних типах обприскувачів здійснюється через гідравлічні або пневматичні розпилювальні пристрої, які, в свою чергу, вбудовуються в спеціалізовані системи – штанги чи

брандспойти. Особливу роль відіграють горизонтальні штанги, на яких з певним кроком розміщують розпилювачі. Вони забезпечують рівномірне покриття посівів краплями робочої рідини незалежно від типу культури.

Одним із представників гідравлічних обприскувачів є ОПШ-15-03 – причіпна машина, яка використовується для внесення розчинів пестицидів у польові культури. Машина складається з одновісного напівпричепа зі склопластиковим баком, у якому встановлено механічну мішалку для забезпечення однорідності робочої суміші. Робочий тиск підтримується діафрагмовим насосом, а подача здійснюється через штангу з розпилювачами щілинного або вихрового типу. До переваг конструкції належить простота обслуговування та надійність вузлів, що забезпечує стабільність роботи в польових умовах.

Інший приклад – причіпний обприскувач ЕКО-2000-18П, що відзначається можливістю здійснювати дрібнокрапельне обприскування навіть при вітрі до 8 м/с.



Рисунок 1.1 – Начіпний штанговий обприскувач ЕКО-600-12

Завдяки потужному повітряному потоку, дрібнодисперсні краплі швидко проникають вглиб посівів, рівномірно осідаючи на листову поверхню. Машина має ширину захвату 18 м та бак об'ємом 2000 літрів. Витрата робочого розчину може регулюватися в діапазоні від 35 до 550 л/га, що забезпечує гнучкість у налаштуванні обробки. Агрегатується з тракторами класу тяги 14–20 кН, а швидкість обробки досягає 15 км/год, дозволяючи обробляти до 27 гектарів на годину.

Для менш потужних тракторів підійде начіпний обприскувач ЕКО-600-12, розрахований на суцільне обприскування пестицидами, стимуляторами росту чи добривами. Його ключова особливість – наявність захисної конструкції штанги, здатної до відхилення у вертикальній та горизонтальній площинах у разі зіткнення з перешкодами. Це суттєво знижує ризик пошкодження обладнання. Обприскувач має бак на 600 літрів, ширину захвату 12 м і робочу швидкість до 9,6 га/год, що робить його придатним для господарств із середньою інтенсивністю обробки посівів.

Ще один цікавий представник – обприскувач-підживлювач ЕКО-600Л, що спеціалізується на локальному (стрічковому) внесенні гербіцидів і рідких добрив у ґрунт.



Рисунок 1.2 – Начіпний обприскувач-підживлювач ЕКО-600Л

Такий підхід дозволяє поєднати механічні та хімічні методи знищення бур'янів. Особливістю конструкції є можливість встановлення обприскувача на сівалки та культиватори (типу ССТ-12, СУПН-6/8, КРН-5,6 та ін.). Робоча рідина подається на плоскоструменеві розпилювачі з кутами 40° і 80° , що забезпечує рівномірне зволоження заданої смуги. Об'єм баку становить 600 л, а витрата робочої рідини може досягати 850 л/га. Агрегат працює на швидкостях до 8 км/год і сумісний з тракторами класу тяги 14–30 кН.

Таким чином, на ринку представлені різні типи обприскувального обладнання – від базових моделей до спеціалізованих машин для локального внесення препаратів. Кожна з них має свої переваги, що дозволяє оптимально підібрати техніку залежно від агротехнічних вимог, типу посіву, площі поля та фінансових можливостей господарства.

Серед сучасних моделей техніки для хімічного захисту рослин однією з ефективних розробок є обприскувач із стабілізованою штангою ОСШ-2500. Його призначення – рівномірне внесення робочого розчину по всій площі посівів у режимі суцільного обприскування. До ключових переваг конструкції відноситься дистанційне управління штангою з кабіни оператора, що істотно покращує ергономіку керування. Крім того, автоматизована система регулювання витрати рідини дозволяє підтримувати стабільну норму внесення препаратів при змінній швидкості руху агрегату.



Рисунок 1.3 – Обприскувач ОСШ-2500

Ширина захвату – 18 м, об'єм бака – 2500 л, висота розпилювачів регулюється в межах 0,5–1,9 м. Витрата рідини становить 40–300 л/га, а продуктивність може досягати 23,9 га/год при швидкості руху 8–12 км/год.

Причіпний обприскувач ОПШ-2000 – універсальна машина, придатна як для внесення пестицидів, так і рідких мінеральних добрив. Конструкція передбачає можливість оснащення додатковими пристроями: пінним маркером, міксером, бортовим комп'ютером, системою промивання магістралей та багатопозиційними головками. Ширина захвату становить 18–21,5 м, об'єм резервуара – 2000 л. Параметри дозування: для пестицидів – 75–300 л/га, для добрив – до 400 кг/га. Висота штанги також регулюється у діапазоні 0,5–1,9 м. Машина працює у тандемі з тракторами тягового класу 14 кН.



Рисунок 1.4 – Обприскувач причіпний ОПШ-2000

Навісний обприскувач ОМ-630-2 реалізовано на рамі з кріпленням до трактора. Його конструкція включає нержавіючий бак з гідравлічною мішалкою, поршневий насос, п'ятисекційну штангу та регулятор тиску з демпфером. Обладнання доповнюється манометром і карданною передачею.

Ультрамалооб'ємний обприскувач ОМ-320-2 застосовується для обробки просапних, овочевих та технічних культур. Монтується на трикутну навісну

систему та працює з тракторами, оснащеними гідросистемою з витратою 100 л/хв при тиску 10 МПа. Комплектація включає бак, насос, штангу, розпилювальний вузол та кардан.

Вентиляторні обприскувачі ОПВ-2000 та ОПВ-1200-01 призначені для догляду за високорослими багаторічними насадженнями – садами, виноградниками, хмільниками. Вони базуються на одноосному шасі з використанням склопластикових баків, вентиляторного розпилювача та системи регуляції тиску. Можливе встановлення направляючих закрилків для цілеспрямованого створення повітряно-крапельного потоку.

Обприскувач ОУМ-4 – універсальна малооб’ємна машина для захисту виноградників у різних кліматичних умовах. Завдяки використанню концентрованих сумішей, апарат ефективно обробляє важкодоступні зони, і підходить для багатьох видів низькорослих культур.

1.4 Обґрунтування вибору напрямку виконання вдосконалення

Типова конструкція підвіски штанги обприскувача забезпечує лише базову функціональність – регулювання по висоті та складання секцій штанги з використанням блочно-тросового механізму. Проте така система обмежена у можливостях компенсації вібрацій, поперечних кренів та перепадів висоти на полі. Жорстке закріплення штанги не дозволяє адаптувати її положення до змін рельєфу або знижувати амплітуду коливань, що негативно позначається на рівномірності обробки.

З метою поліпшення адаптивності до умов рельєфу пропонується реалізація маятникової системи підвіски з функцією стабілізації у вертикальній площині. Це дозволить зберігати сталу висоту обприскування та зменшити

вплив вібрацій, завдяки можливості часткового обертання штанги навколо вертикальної осі.

На першому етапі модернізації передбачено перехід від класичної схеми до гідравлічно-тросової, яка дозволяє не тільки переміщення у вертикальній площині, але й обертання без додаткових навантажень на елементи конструкції. Основним завданням є визначення параметрів основних компонентів: гідроциліндра підйому, діаметра троса, типу кріплення.

З урахуванням маси штанги (700 кг), система повинна мати відповідний запас міцності. Додатковий гідроциліндр виконує функцію стабілізації положення під час роботи на схилах та у вітряну погоду. Підбір точок прикладання сил і характеристик кріплення гарантує стійкість і керованість механізму в умовах динамічного навантаження.

Запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити точність хімічного обробітку та довговічність вузлів, забезпечуючи стабільну роботу агрегата в реальних польових умовах.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБПРИСКУВАЧА

2.1 Основні відомості про конструкцію та експлуатаційні характеристики обприскувача ОПШ-3500

Сучасний причіпний обприскувач ОПШ–3500, призначений для проведення захисних заходів у сільському господарстві, рис. 2.1. Його головне завдання – забезпечити ефективне внесення рідких хімічних препаратів (пестицидів, гербіцидів, фунгіцидів) та добрив типу КАС на посівах польових культур. Обприскування здійснюється за допомогою розчинів, емульсій або суспензій, які рівномірно розподіляються по площі завдяки надійним робочим органам. Обприскувач розрахований на використання в умовах помірного клімату і агрегується з тракторами тягового класу 1.4, такими як МТЗ-80/82, МТЗ-100/102, ПМЗ-6Л/6М із пневматичною гальмівною системою.



1 – напірна комунікація; 4 – шасі; 2 – виконавчий механізм; 5 – бак;
3 – штанга; 6 – всмоктувальна комунікація

Рисунок 2.1 – Причіпний обприскувач ОПШ – 3500

Модель ОПШ–3500 має ширину захвату штанги 21 або 24 метри, що дозволяє обробляти велику площу за один прохід. Робоча швидкість під час виконання основних операцій становить 6–10 км/год, що забезпечує оптимальну продуктивність. Об'єм основного бака для робочої рідини – 3500 л, що дозволяє зменшити кількість зупинок на дозаправку.

Норма витрати робочої рідини становить:

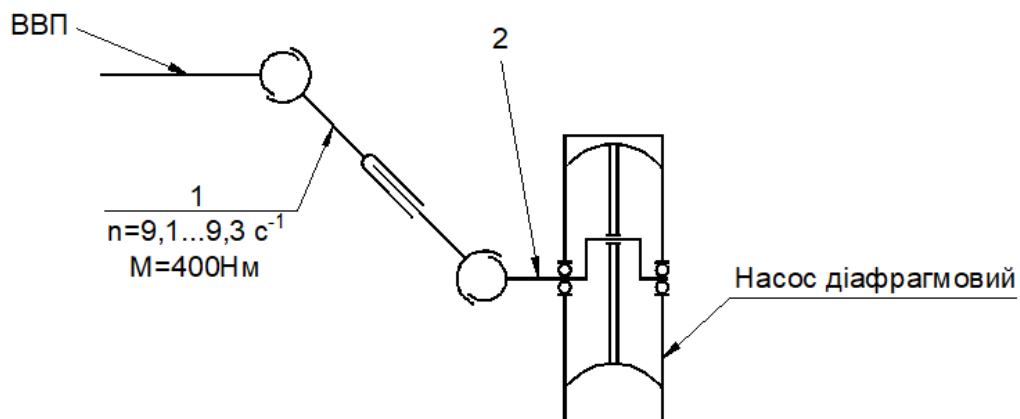
120–300 л/га при обробці пестицидами,

200–400 л/га при внесенні КАС.

Максимальний тиск у напірній системі – 0,5 МПа, а транспортна швидкість у порожньому стані – до 16 км/год. Дорожній просвіт – не менше 500 мм, а колія – 1800 або 2100 мм з допуском ± 40 мм. Обслуговування обприскувача вимагає одного тракториста і ще одного працівника для допомоги при заправці.

Конструкційна маса машини – 2200 кг. В робочому положенні довжина сягає 20700–24150 мм, ширина – 5600 мм, висота – 3080 мм. У транспортному стані ці розміри змінюються до: довжина – 6260 мм, ширина – 2425 мм, висота – 3010 мм.

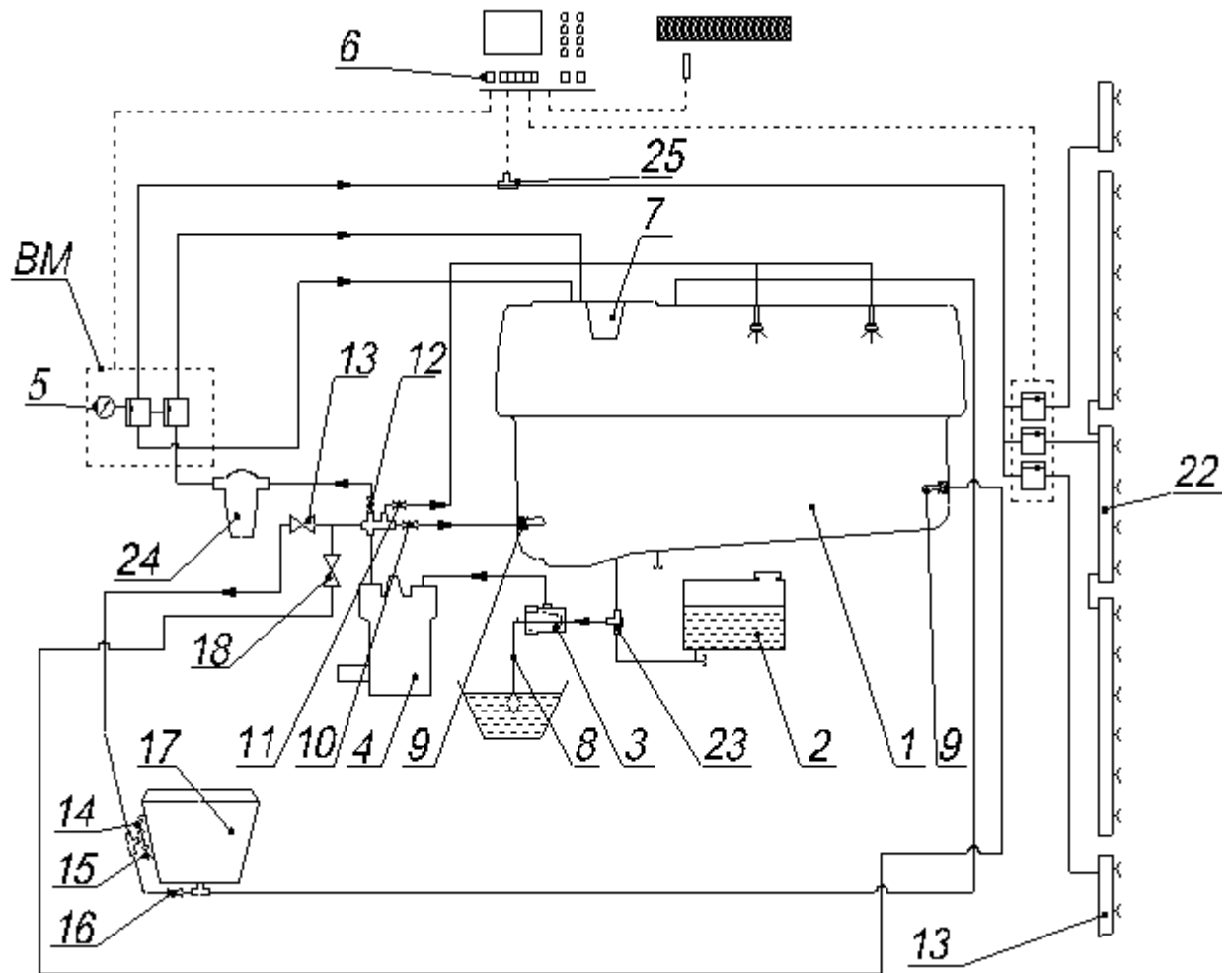
Установку оснащено діафрагмовим насосом, що розвиває тиск до 2,0 МПа та забезпечує подачу робочої рідини зі швидкістю не менше 250 л/хв при номінальних обертах 540 об/хв. Насос приводиться в дію через карданну передачу від ВВП трактора, рис. 2.2.



1 – передача карданна; 2 – вал насоса

Рисунок 2.2 – Кінематична схема обприскувача

Система управління тиском і нормою витрати інтегрована у виконавчий механізм (ВМ), який дозволяє точно регулювати подачу рідини в робочі органи обприскувача, рис. 2.3.



1 – бак; 2 – ємкість для води; 3 – фільтр всмоктувальний; 4 – насос діафрагмовий; 5 – манометр; 6 – пульт; 7 – фільтр заливний; 8 – заправний рукав ОПША 04.010; 9 – гідрозмішувач; 10 – 16, 18 – кран кульковий; 17 – міксер; 22 – штанга; 23 – кран трьохходовий; 24 – напірний фільтр; 25 – потокомір; ВМ – виконавчий механізм.

Рисунок 2.3 – Технологічна схема

Штанга обладнана форсунками для рівномірного розпилення, а вбудовані гідрозмішувачі забезпечують постійну гомогенність розчину. Всмоктування рідини з основного бака, її фільтрація та подальше подавання до штанги здійснюється через серію фільтрів – всмоктувальний, напірний і заливний.

Пульт керування дозволяє оперативно вмикати/вимикати подачу на штангу або перемикає на рециркуляцію.

Самозаправка та промивання.

Обприскувач передбачає функцію самозаправки – через спеціальний заправний рукав рідина зі сторонньої ємності всмоктується насосом і подається в основний бак. Для цього необхідно:

перекрити подачу на штангу через пульт,
 приєднати заправний рукав до фільтра через кутник і фіксуючу гайку,
 забезпечити відкритий стан крана гідрозмішувача,
 після завершення заправки дочекатися повного спорожнення рукава й вимкнути привід.

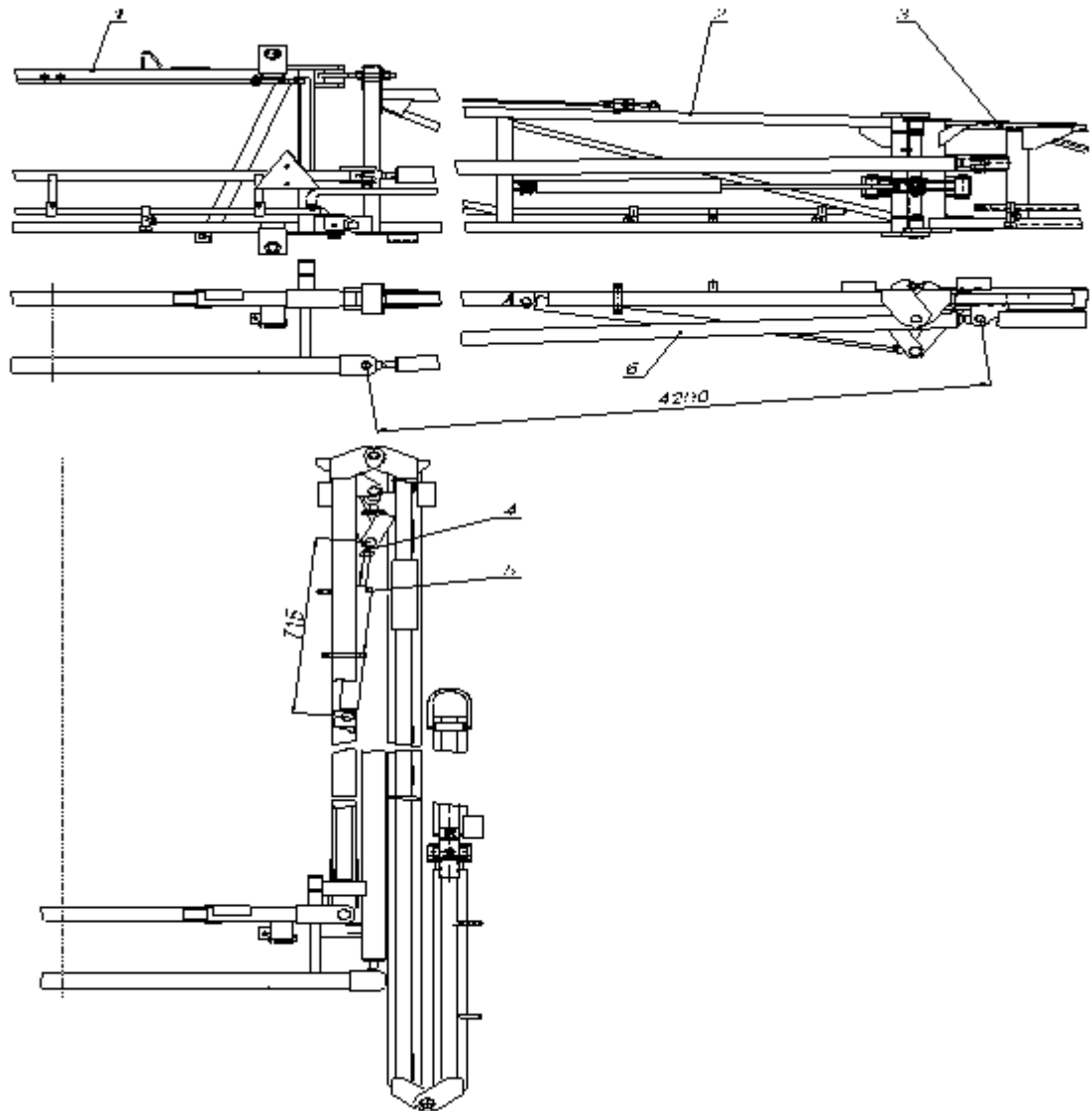
Промивка комунікацій виконується за допомогою окремої ємності з чистою водою. Вода засмоктується через триходовий кран, подається на сопла розмивача та через ВМ – на штангу.

2.2 Регулювання штанги обприскувача: налаштування, контроль і правила безпечної експлуатації

Штанга обприскувача – це ключовий робочий елемент, від якості регулювання якого залежить рівномірність внесення робочого розчину, ефективність обробки посівів та мінімізація втрат препарату. Її правильна установка і точне налаштування забезпечують стабільну роботу навіть у складних польових умовах.

На рис. 2.4 зображено схему елементів конструкції штанги, зокрема:

центральна секція (1), бокові секції I (5) та II (6), вузли кріплення (2, 4, 7, 8, 9, 10), гідроциліндр (11), а також елементи безпеки й візуального контролю (світлоповертачі 3, 12, 13).



- 1 – секція середня; 2 – скоба; 3 – світлоповертач; 4 – гайка самоконтруюча М20;
 5 – секція І; 6 – секція ІІ; 7 – болт М16х50; 8 – гайка М16; 9 – вухо; 10 –
 гайка М18х1,5; 11 – гідроциліндр Ц40.25.360.02.1; 12 – світлоповертач ФП
 315”О”; 13 – світлоповертач ФП 316”О”; 14 – болт М6х20;
 15 – гайка самоконтруюча М6.

Рисунок 2.4 – Регулювання штанги

Алгоритм регулювання штанги:

Перед початком роботи перевіряється герметичність з’єднань, фіксація вузлів, справність гідроциліндрів та вільний хід крайніх секцій. З особливою увагою слід поставитися до симетричності розгортання обох бокових секцій штанги – це запорука рівномірного покриття оброблюваної площі.

Розрахунок витрати робочої рідини

Для правильного налаштування витрати розчину потрібно враховувати кілька факторів: витрату через розпилювач, крок між форсунками та швидкість руху агрегату. Витрата розчину (V) розраховується за формулою:

$$V = \frac{600Q}{L \nu},$$

де V – витрата робочої рідини, л/га;

Q – витрата через один розпилювач, л/хв;

L – міжфорсункова відстань, см;

ν – швидкість агрегату, км/год.

У разі зношування розпилювачів необхідно фактично виміряти витрату Q при стандартному робочому тиску, щоб внести корективи в параметри обприскування.

Налаштування обприскувача для промивання системи

Після закінчення робіт або при зміні препарату необхідно обов'язково промити систему. Етапи промивання:

Перекрити крани подачі розчину на штангу (позиція 12 на рис. 2.3) та міксер (13).

Перемкнути триходовий кран (23) на 45° для з'єднання промивної ємності (2) з всмоктуючою магістраллю.

Відкрити кран (11) на подачу рідини до сопел промивки.

Дати обприскувачу попрацювати в режимі циркуляції 10 хв, після чого відкрити кран подачі на штангу і випустити воду через розпилювачі.

Після завершення промивання крани повертають у вихідне положення.

Рекомендації щодо руху та регулювання висоти штанги

Починаючи рух, уникайте різкого прискорення – це запобігає коливанням штанги та зменшує ризик механічних пошкоджень.

Під час поворотів або виїзду з гону слід зменшити швидкість та вимкнути ВВП трактора.

Висота розташування штанги над рослинами повинна становити не менше 500 мм. Це дозволяє створити стабільне поле розпилу й зменшує втрати препарату через знесення вітром.

Електронне керування.

Робота електронного контролера, який забезпечує автоматичне керування нормою внесення та моніторинг параметрів обприскування, виконується згідно з окремим технічним посібником. Оператор повинен бути ознайомлений з алгоритмами запуску, перевірки діагностики та аварійного зупину, а також вміти використовувати функції самотестування та калібрування приладу.

2.3 Визначення деяких експлуатаційних характеристик обприскувача

До основних параметрів, що враховуються під час технологічного розрахунку машин для хімічного захисту рослин, належать робоча ширина захвату, продуктивність агрегату, витрата робочої рідини та інші показники.

Розглянемо методику визначення робочої ширини захвату штангового обприскувача.

$$B = z \cdot l = 48 \cdot 0,5 = 24 \text{ м}, \quad (2.1)$$

де z – кількість розпилювачів, $z=48$ шт.;

l – відстань між розпилювачами, $l=0,5$ м.

У системах обприскування з робочим тиском у межах 0,3...1,0 МПа використовуються переважно польові наконечники, які класифікують за діаметром вихідного отвору на економічні ($d = 1,0\text{--}1,2$ мм) та стандартні або нормальні ($d = 1,5; 2,0; 2,5$ мм). У свою чергу, для садових обприскувачів застосовуються наконечники, розраховані на робочий тиск до 2,0 МПа. Максимальна витрата робочої рідини через один наконечник (л/хв) визначається.

$$q_H = 600 \mu S_0 \sqrt{2gH} \quad (2.2)$$

де μ —коефіцієнт витрати: $\mu=0,37\dots0,43$ для нормальних наконечників;
 $\mu=0,22\dots0,27$ – для економічних наконечників;

$S=\pi d^2/4$ – площа поперечного перерізу вихідного отвору, м²;

H – тиск в системі, Па;

g – прискорення вільного падіння;

З врахуванням максимального тиску

$$q_H = 600 \cdot 0,4 \cdot \frac{\pi \cdot 0,002^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2000000} = 4,72 \text{ л/хв.}$$

Найбільший об'єм робочої рідини, який може бути поданий обприскувачем за одиницю часу

$$Q_{\max} = q_H \cdot z = 4.72 \cdot 48 = 226.6 \text{ л/хв.} \quad (2.3)$$

Норма внесення робочої рідини Q (л/га) встановлюється згідно з табличними даними. Робоча продуктивність обприскувача W (га/год) розраховується за відповідною аналітичною залежністю

$$W = 0.1B \cdot V = 0.1 \cdot 24 \cdot 10 = 24 \text{ га/год,} \quad (2.4)$$

де V – швидкість агрегату, $V=10$ км/год.

Виходячи з заданої норми внесення робочої рідини, за формулою (2.5) обчислимо витрату рідини через один розпилювач у розрахунку на хвилину

$$q_H = \frac{QBv}{600z}, \quad (2.5)$$

На основі значення хвилинної витрати визначається необхідний тиск H (МПа) у системі подачі робочої рідини

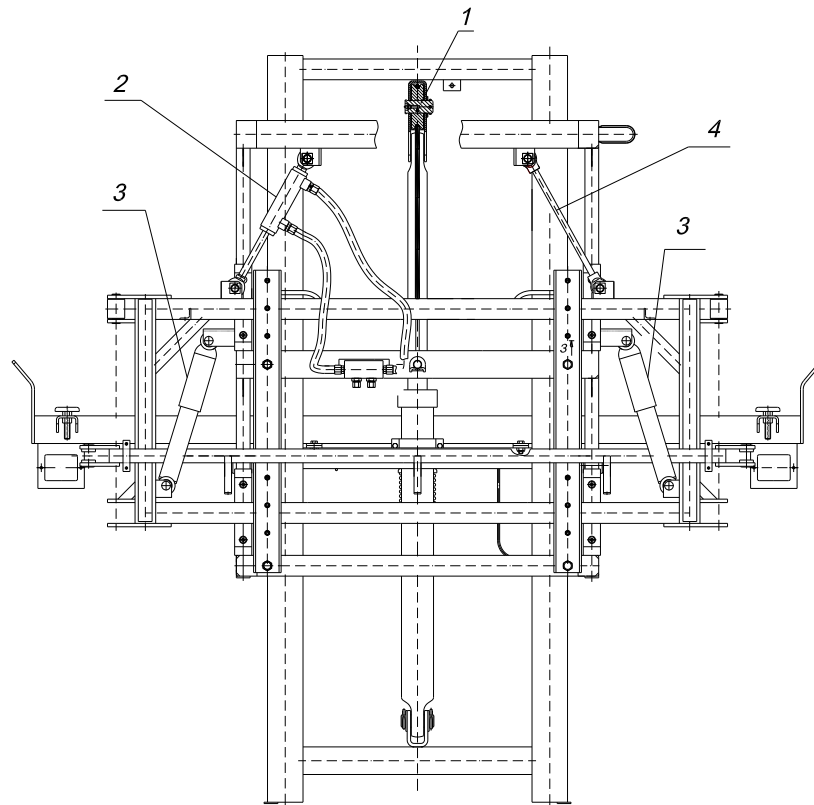
$$H = \frac{q_H^2}{0.72 \mu^2 S_0^2 g}. \quad (2.6)$$

2.4 Розрахунок робочих характеристик гідравлічної системи штангового механізму

У стандартній конструкції підвіски штанги передбачено регулювання її положення за висотою, а також розгортання секцій за допомогою блочно-тросового механізму, який приводиться в дію гідроциліндрами. При цьому штанга жорстко фіксується і не має можливості вільного осьового обертання.

Запропонована модернізація полягає у вдосконаленні конструкції підвіски шляхом впровадження маятникової системи, що забезпечує зміну положення штанги залежно від кута її нахилу в поперечно-вертикальній площині.

На початковому етапі передбачено заміну існуючої системи підйому штанги з гідроциліндром на комбіновану гідравлічно-тросову конструкцію. Такий механізм дає змогу здійснювати вертикальне переміщення штанги з одночасним забезпеченням її вільного обертання в горизонтальній площині (рис. 2.3).



1 – гідроциліндр з тросовою системою; 2 – допоміжний гідроциліндр;
3 – амортизатори; 4 – розтяжка

Рисунок 2.3– Креслення вдосконаленої конструкції підвіски штанги обприскувача

У межах розрахункових задач передбачено визначення основних характеристик гідроциліндра, необхідної товщини троса та параметрів кріпильних елементів. Вихідною величиною для виконання розрахунків є маса штанги, яка становить $P_1=700$ кг .

Для забезпечення підйому конструкції використано гідроциліндр із діаметром $D_1 = 80$ мм та ходом штока $H_1 = 800$ мм.

На наступному етапі проведемо обчислення часу, необхідного для здійснення повного ходу поршня основного гідроциліндра.

$$t_1 = \frac{H_1}{v_{n1}}, \quad (2.7)$$

де H_1 – хід штоку, $H_1=800$ мм.

v_{n1} - швидкість поршня, $v_{n1} = 0.08$ м/с.

Тоді

$$t_1 = \frac{0,8}{0,08} = 10 \text{ с.}$$

Розрахуємо робочий тиск масла, необхідний для функціонування основного гідроциліндра.

Окрім цього, визначимо швидкість потоку робочої рідини в нагнітальному трубопроводі за заданого внутрішнього діаметра магістралі $d_1=12,5$ мм:

$$v_1 = \frac{D_1^2}{d_1^2} v_{n1}. \quad (2.8)$$

Тоді

$$v_1 = \frac{0,08^2}{0,0125^2} \cdot 0,08 = 3.28 \text{ м/с.}$$

Отримане значення швидкості не перевищує допустимий рівень $v=3,5$ м/с, що свідчить про відповідність умовам експлуатації. Далі обчислимо тиск масла, необхідний для забезпечення роботи основного гідроциліндра

$$p_{y1} = \frac{4P_1k}{\pi D_1^2}. \quad (2.9)$$

Підставляючи значення

$$p_{y1} = \frac{4 \cdot 7000 \cdot 1,1}{3,14 \cdot 0.08^2} = 1.53 \text{ МПа.}$$

Обчислимо тиск, необхідний для компенсації втрат, спричинених шкідливими опорами в системі.

Для проведення розрахунків приймаємо: умовну (розрахункову) довжину маслопроводу $l'=12$ м; кінематичну в'язкість робочої рідини (масла ДП-11) за температури $+20^{\circ}\text{C}$, $\nu=350$ сст; об'ємну вагу масла за тієї ж температури – $+20^{\circ}\text{C}$ $\gamma=896$ кг/м³

Наступним кроком визначимо значення числа Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{v_1 d_1}{\nu} 10^3, \quad (2.10)$$

тоді

$$\text{Re} = \frac{3.28 \cdot 0.0125}{350} 10^3 = 0.117 < 2300.$$

На основі розрахункового значення можна зробити висновок, що режим потоку є ламінарним і характеризується стійкістю.

Переходимо до визначення динамічного коефіцієнта в'язкості.

$$\mu = \frac{10^{-6} \nu \gamma}{g} \quad (2.11)$$

визначаємо

$$\mu = \frac{10^{-6} \cdot 350 \cdot 896}{9.81} = 0.032 \text{ кг} \cdot \text{с} / \text{м}^2,$$

Розрахуємо тиск, необхідний для подолання гідравлічних втрат у маслопроводі, зумовлених опором потоку робочої рідини.

$$p_{c1} = \frac{32 l' \nu \mu}{d_1^2}, \quad (2.12)$$

отримаємо

$$p_{c1} = \frac{32 \cdot 12 \cdot 3.28 \cdot 0.032}{0.0125^2} = 2.579 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Розрахуємо величину тиску, потрібну для забезпечення підйому штангової конструкції

$$P_1 = p_{u1} + p_{c1} = 1.53 + 0.258 = 1.79 \text{ МПа.} \quad (2.13)$$

Для регулювання положення штанги застосовується гідроциліндр із діаметром поршня $D_2 = 40$ мм та ходом $H_2 = 160$ мм.

Використовуючи рівняння (2.7), визначимо тривалість повного робочого ходу гідроциліндра, призначеного для коригування положення штанги.

$$t_2 = \frac{0.16}{0.08} = 2.0 \text{ с.}$$

Скориставшись рівнянням (2.8), обчислимо швидкість переміщення масла в нагнітальному маслопроводі циліндра

$$v_2 = \frac{0.04^2}{0.0125^2} \cdot 0.08 = 0.819 \text{ м/с.}$$

Отримане значення є меншим за гранично допустиму швидкість $v = 3.5$ м/с. Розрахуємо тиск масла в циліндрі.

$$p_{u2} = \frac{4P_2k}{\pi D_2^2} = \frac{4 \cdot 3500 \cdot 1.1}{3.14 \cdot 0.04^2} = 3.065 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

де P_2 – зусилля, потрібне для регулювання положення штанги, $P_2 = 3500$ Н;

D_2 – діаметр поршня гідроциліндра, $D_2 = 40$ мм.

Розрахуємо тиск, необхідний для подолання гідравлічних опорів у маслопроводі циліндра. У розрахунках приймемо еквівалентну (розрахункову) довжину трубопроводу $l''=4$ м.

$$p_{c2} = \frac{32 \cdot 4 \cdot 0.819 \cdot 0.032}{0.0125^2} = 2.147 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Встановимо тиск, який необхідний для коректування штанги

$$p_2 = 3.07 + 0.02 = 3.09 \text{ МПа.}$$

Виконаємо подібний розрахунок для гідроциліндрів, які забезпечують розкриття штанги. У цьому випадку застосовано циліндри з діаметром $D_3 = 40$ мм та ходом поршня $H_3 = 500$ мм.

Скориставшись рівнянням (2.8), обчислимо час, необхідний для повного ходу циліндра, що забезпечує розкриття штанги.

$$t_3 = \frac{0.5}{0.08} = 6.25 \text{ с.}$$

Обчислимо швидкість потоку масла в нагнітальному трубопроводі циліндрів, що відповідають за розкриття

$$v_3 = \frac{0.04^2}{0.0125^2} \cdot 0.08 = 0.819 \text{ м/с.}$$

Таким чином, це менше допустимого $v=3.5$ м/с.

Тоді тиск масла в порожнинах гідроциліндра розкриття

$$p_{ц3} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 200 \cdot 1.1}{3.14 \cdot 0.04^2} = 3.5 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Розрахуємо тиск, необхідний для подолання гідравлічних втрат у трубопроводі циліндрів розкриття. У якості розрахункової довжини маслопроводу приймемо приведені значення $l'''=4$ м..

$$p_{c3} = \frac{32 \cdot 4 \cdot 0.819 \cdot 0.032}{0.0125^2} = 2.147 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Розрахунковий тиск, що необхідний для повороту штанги

$$p_3 = 0.35 + 0.021 = 0.371 \text{ МПа.}$$

Аналогічно для управління штангою

$$P_n = p_1 + p_2 + p_3, \quad (2.14)$$

тоді

$$P_n = 1.79 + 3.09 + 0.371 = 5.25 \text{ МПа.}$$

Обчислимо потужність, яку витрачає насос у складі гідросистеми. Значення споживаної насосом потужності визначається за наступною формулою

$$N = \frac{P_n}{450 \cdot \eta_m} Q_n \cdot 0.736 = \frac{5.25 \cdot 10}{450 \cdot 0.8} 32 \cdot 0.736 = 3.435 \text{ кВт}, \quad (2.15)$$

де P_n – тиск в системі, $P_n = 52.5 \text{ кг/см}^2$;

Q_n – номінальна продуктивність насоса, $Q_n = 32 \text{ л/хв}$;

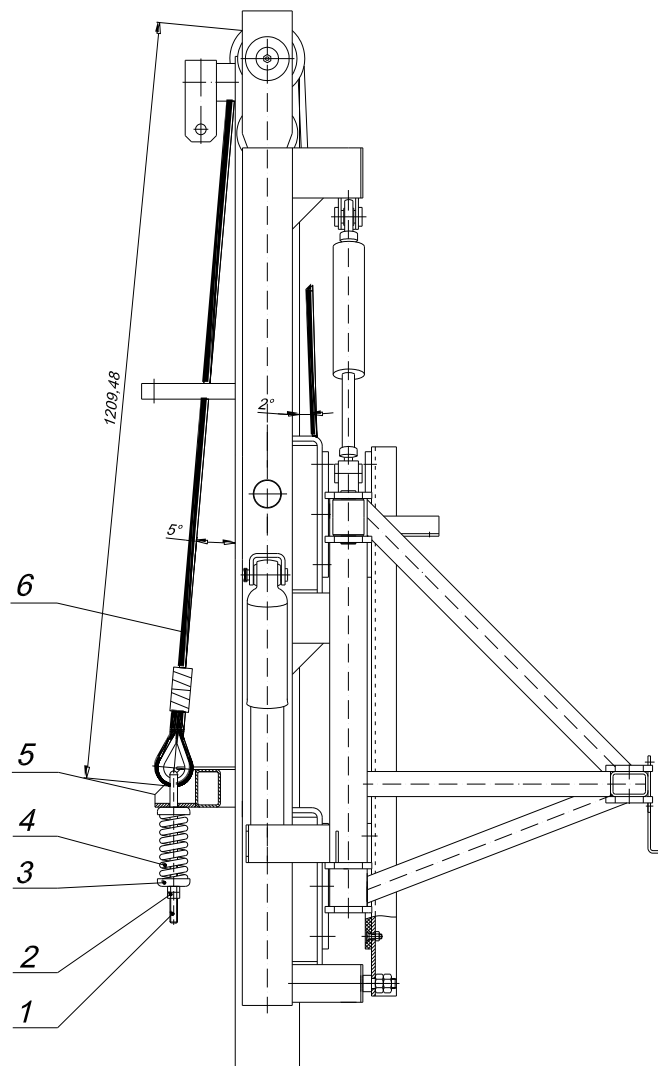
η_m – ККД насоса, $\eta_m = 0.8$.

Таким чином, для забезпечення сервісного керування штангою, тобто для функціонування гідросистеми штанги, необхідно 3,435 кВт потужності для приводу шестеренного гідронасоса типу НШ-32.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок нової конструкції підвісу штанги

Для забезпечення вільного переміщення штанги навколо осі, що спрямована по ходу руху обприскувача, в механізмі підйому штанги крім гідроциліндра використано ще тросовий підвіс штанги, рис. 3.1.



1 – стяжка; 2 – гайки; 3 – шайба; 4 – пружина; 5 – упор; 6 – трос
Рисунок 3.1 – Тросовий підвіс штанги в конструкції підвіски

На першому етапі розрахуємо необхідну товщину троса для підйому і утримування штанги в робочому положенні. Вихідним параметром буде вага

штанги, яка становить $P_1 = 7000$ Н. Крім того не слід забувати, що обприскувач машина мобільна і свій технологічний процес виконує в русі, тому неминуче виникають динамічні перевантаження, які характеризуються коефіцієнтами динамічності. З практичного досвіду, значення такого коефіцієнта в центрі ваги штанги приймемо $k_d = 2$, тому вага штанги для розрахунку становитиме

$$P_d = P_1 k_d \text{ Н.} \quad (3.1)$$

Тоді

$$P_d = 7000 \cdot 2 = 14000 \text{ Н.}$$

Представимо розрахункову схему блочної системи, рис. 3.2.

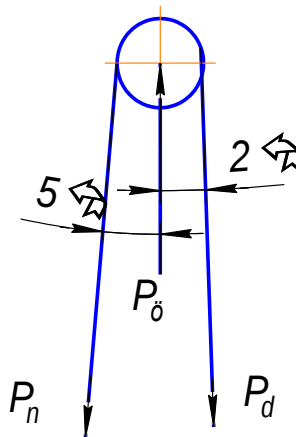


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема блочної системи

Визначимо навантаження в ланках блочної системи. Користуючись рівняннями статички, запишемо

$$\sum Y = 0. \quad P_y = P_d \cos 2^\circ + P_n \cos 5^\circ, \quad (3.2)$$

де P_n – зусилля на трос від дії пружини.

Тут, оскільки це блочна система, то складові від дії ваги штанги і пружини є однаковими, тобто $P_d \cos 2^\circ = P_n \cos 5^\circ$, звідки знайдемо

$$P_n = \frac{P_d \cos 2^\circ}{\cos 5^\circ} = \frac{14000 \cos 2^\circ}{\cos 5^\circ} = 14040 \text{ Н.} \quad (3.3)$$

Тоді на вісь блока і шток гідро циліндра буде діяти сила, що рівна

$$P_y = 14000 \cos 2^\circ + 14040 \cos 5^\circ = 27980 \text{ Н.}$$

За більшим значенням зусиль, які є у вітках троса знайдемо його перетин

$$\sigma_p = \frac{P_n}{A} \leq [\sigma], \quad (3.4)$$

де A – площа поперечного перетину троса

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.5)$$

тут d - діаметр троса;

$[\sigma]$ - допустиме напруження розтягу троса, $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$.

З умови міцності (3.4)

$$d \geq \sqrt{\frac{4P_n}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14040}{3.14 \cdot 200 \cdot 10^6}} = 0.0095 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр троса $d = 0.01 \text{ м}$.

Розрахуємо далі параметри пружини 4, рис. 3.1 для пружних стримувань руху штанги по висоті. Вихідним параметром залишається сила $P_n = 14040 \text{ Н}$.

3.2 Розрахунок пружини тросового підвісу

Проведемо розрахунок гвинтової циліндричної пружини стиску з витками круглого поперечного перерізу (рис. 3.3), яка виконує роль пружного елемента при динамічних навантаженнях на штангу.

Гвинтові циліндричні пружини стиску характеризуються такими основними геометричними параметрами (рис. 3.3): діаметрами дроту d , середнім D , зовнішнім D_3 ; індексом C ; кроком h ; кутом підйому витка α ; висотою H_0 ; робочою довжиною H_p ; кількістю витків i ; довжиною дроту L .

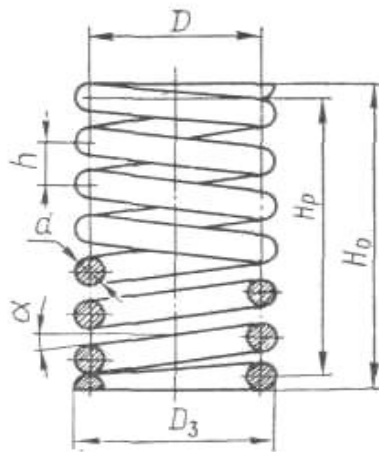


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема для розрахунку пружини стиснення

Пружність циліндричних пружин прямо залежить від їхнього індексу C . Щоб підвищити податливість, індекс C обирають якомога більшим. На практиці використовують пружини з індексом у межах $C=4\dots12$.

Збільшуючи індекс при фіксованій жорсткості, можна зменшити загальну довжину пружини за рахунок збільшення її діаметра. Навпаки, зменшуючи індекс, досягається зменшення діаметра пружини шляхом збільшення її довжини.

Для проведення розрахунку на міцність розглянемо дії силових факторів у перерізі витка, на який діє зовнішнє зусилля F (рис. 3.4). Виходячи з умови рівноваги нижньої частини пружини, у будь-якому перерізі витка виникає крутний момент.

$$T = 0.5FD \quad (3.6)$$

Крутний момент і поперечна сила F викликають відповідно скручування та зсув витка. Оскільки кут підйому витків, як правило, не перевищує $10\text{--}12^\circ$, ним можна знехтувати. Також нехтують зсувними напруженнями, спричиненими поперечною силою. За цих умов напруження від кручення у витках визначаються за наступною формулою

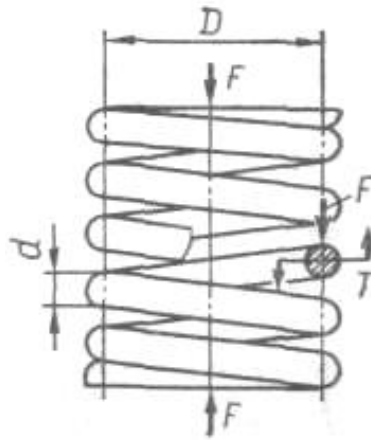


Рисунок 3.4 – Схема навантаження для витків пружини

$$\tau = \frac{TK}{W_p} = \frac{8FDK}{\pi d^3}, \quad (3.7)$$

де K – коефіцієнт кривини витків;

W_p – полярний момент опору перерізу витка.

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт K вибирають залежно від індексу C пружини та користуються співвідношенням

$$K = 1 + \frac{1.4}{C}. \quad (3.9)$$

Тоді міцність пружини буде характеризуватись дотичними напруженнями

$$\tau = \frac{8FDK}{\pi d^3} \leq [\tau]. \quad (3.10)$$

З виразу (3.10) знаходимо діаметр дроту пружини

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8FDK}{\pi[\tau]}}. \quad (3.11)$$

Або за виразом

$$d \geq \sqrt{\frac{8FCK}{\pi[\tau]}}. \quad (3.12)$$

Встановлене значення діаметра приймають відповідно до стандартного ряду.

За отриманим значенням визначаємо середній та зовнішній діаметри пружини

$$D = Cd; \quad (3.13)$$

та

$$D_3 = D + d. \quad (3.14)$$

Осьова пружна деформація пружини (при стиску або розтягуванні) під впливом сили F визначається як добуток кута скручування витків θ на середній радіус пружини, що дорівнює $0,5D$

$$\lambda = 0.5D\theta = \frac{0.5DT\pi Di}{GI_p} = \frac{0.25F\pi D^3 i}{GI_p}, \quad (3.15)$$

Перейдемо до конкретного розрахунку необхідної для нас пружини.

З конструктивних міркувань приймемо зовнішній діаметр пружини $D_3 = 45$ мм, максимальний стиск $\lambda_{\max} = 32$ мм, решту параметрів визначимо за наведеною вище методикою.

Максимальне навантаження, яке сприйматиме пружина $F_{rp} = 14040$ Н, робоче навантаження $F = 7000$ Н.

Індекс пружини приймаємо $C = 4$, тоді за (3.9)

$$K = 1 + \frac{1.4}{4} = 1.35.$$

Для дроту II – го класу, приймемо $\sigma_B = 2500$ МПа.

$$[\tau] = 0.5\sigma_B K_L = 0.5 \cdot 2500 \cdot 1.0 = 1250 \text{ МПа}, \quad (3.17)$$

де K_L – коефіцієнт довговічності, $K_L = 1$.

Виходячи з цього, діаметр дроту пружини

$$d \geq \sqrt{\frac{8 \cdot 7000 \cdot 4 \cdot 1.35}{3.14 \cdot 1250}} = 8.8 \text{ мм.}$$

Остаточно $d = 9$ мм.

Тоді середній діаметр пружини

$$D = 4 \cdot 9 = 36 \text{ мм.}$$

Відповідно кількість робочих витків пружини

$$i = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0.009 \cdot 0.032}{8 \cdot 7000 \cdot 4^3} = 6.4,$$

Приймаємо $i = 7$.

У загальному кількість витків

$$i_0 = 7 + (1,5 \dots 2) = 8,5 \dots 9,$$

округлюємо $i_0 = 9$ витків.

Максимальне навантаження спричинить мінімальний зазор

$$\Delta = (0.1 \dots 0.2) \cdot 32 / 6 = 0.53 \dots 1.06,$$

приймаємо $\Delta = 0.53$ мм.

Крок витків ненавантаженої пружини

$$h = \frac{32}{6} + 9 + 0.53 = 14.9 \text{ мм.}$$

Мінімальна довжина пружини

$$H_{rp} = (9 - 0.5)9 = 76.5 \text{ мм.}$$

Ненавантажена пружина, її довжина

$$H_0 = 76.5 + 6(14.9 - 9) = 111.9 \text{ мм.}$$

Необхідна довжина дроту на дану пружину

$$L = \frac{3.14 \cdot 36 \cdot 9}{\cos 10^0} = 1033 \text{ мм.}$$

Отже, для виготовлення пружного елементу – пружини стиснення для утримування троса підвіски необхідно дріт діаметром 9 мм та довжиною 1033 мм. Пружина матиме зовнішній діаметр 40 мм, довжина в ненавантаженому стані 111.9 мм.

3.3 Розрахунок зварного з'єднання упору тросового підвісу штанги

Проведемо розрахунок зварного з'єднання упору 5, рис. 3.5. Навантаження, що діють на зварні шви виберемо з визначених значень попереднього пункту ($P_n = 14040$).

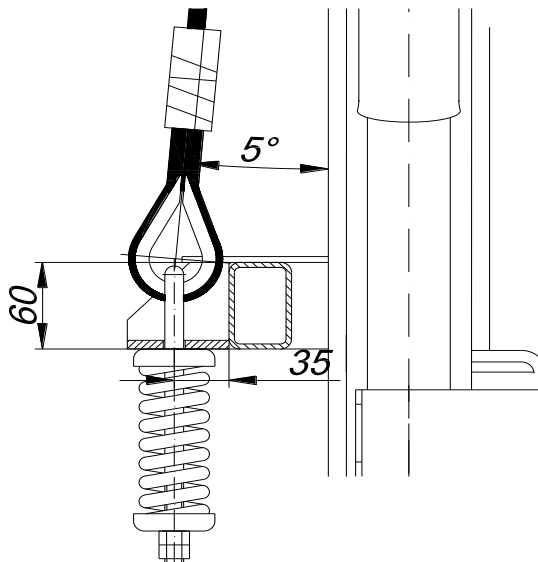


Рисунок 3.5 – Схема до розрахунку зварного з'єднання упору до рами підвіски

Таке з'єднання належить до типу таврових. У випадках, коли кромки елементів попередньо оброблені, напруження в зварних швах визначають за методикою, аналогічною до розрахунків для монолітних (суцільних) конструкцій. Однак отримані значення порівнюють не із загальними

граничними напруженнями, а з допустимими значеннями для конкретного виду зварних з'єднань, що регламентуються відповідними стандартами.

У разі використання кутових зварних швів без підготовки кромки, що є типовим для таврових з'єднань, розрахунок міцності виконується за напруженнями зсуву, які виникають у площині зварного шва.

Таким чином, для оцінки напруженого стану в даному з'єднанні скористаємося формулою для обчислення дотичних напружень зсуву в зварному шві :

$$\tau_p = \frac{P_n \cos 5^\circ}{0.7k \cdot l} \leq [\tau], \quad (3.18)$$

де k – катет шва;

l – загальна довжина зварних швів,

$[\tau]$ – допустиме напруження зрізу зварного шва

Гранично допустиме напруження для матеріалу зварного шва визначається на основі допустимих значень напружень для основного металу конструкції. Відповідно до рекомендацій, це значення розраховується за наступною формулою:

$$[\tau] = 0,6 \cdot \frac{\sigma_m}{n \cdot \beta}, \quad (3.19)$$

де σ_m – межа текучості матеріалу труби, $\sigma_m = 250$ МПа;

n – коефіцієнт запасу, $n = 1.5$;

$\beta = 1.8$,

тоді

$$[\tau_{зв}] = 0,6 \cdot \frac{250}{1.5 \cdot 1.8} = 55.6 \text{ МПа}.$$

Довжина обвару

$$l = 2B + 2H = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 60 = 280 \text{ мм.} \quad (3.20)$$

Довжина катета шва

$$k = \frac{P_n \cos 5^\circ}{0.7 \cdot [\tau] \cdot l} = \frac{14040 \cdot \cos 5^\circ}{0.7 \cdot 55.6 \cdot 10^6 \cdot 0.28} = 0.0013 \text{ м.} \quad (3.21)$$

Як показують результати обчислень, для забезпечення необхідної міцності такого з'єднання при обварюванні по периметру труби слід передбачити розмір катета шва приблизно 2 мм. Варто зауважити, що в розрахунку розглядалася лише одна складова навантаження — вертикальна сила F .

У такому випадку дотичні напруження в зварному шві визначаються за формулою (3.18):

$$\tau_p = \frac{14040 \cdot \cos 5^\circ}{0.7 \cdot 0.002 \cdot 0.28} = 35.7 \cdot 10^6 \text{ МПа} < [\tau].$$

Отриманий запас міцності буде враховувати крім чистого зрізу ще додаткові навантаження, що не враховані.

Друга складова навантаження - це момент від вертикальної сили.

$$M = P_n \cdot L = 14040 \cdot 0.035 = 491.4 \text{ Нм.}$$

При такому навантаженні максимальне напруження в з'єднанні запишемо у вигляді

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_p^2} \leq [\tau], \quad (3.22)$$

де τ_M – напруження, що виникає від дії моменту;

τ_P – напруження, що виникає від дії сили P_n в даному перетині.

Напруження, що виникає від дії моменту τ_M

$$\tau_M = \frac{M}{W_{3\theta}}, \quad (3.23)$$

де $W_{3\theta}$ - осьовий момент опору перетину зварного шва.

Для спрощення розрахунку приймаємо, що форма поперечного перетину зварного з'єднання упора з рамою машини є прямокутником зі сторонами $B = 80 \text{ мм}$, $H = 60 \text{ мм}$ (рис. 3.6)

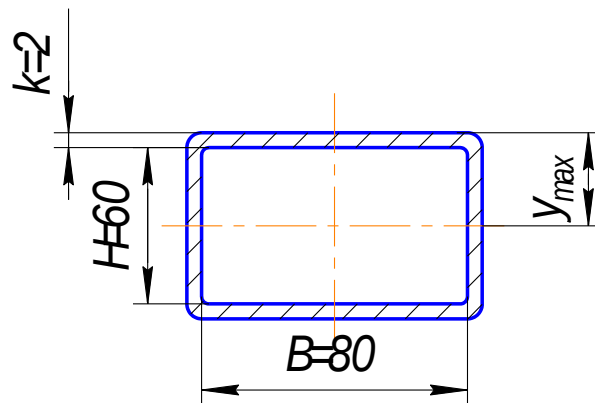


Рисунок 3.6 – Розрахунковий переріз зварного з'єднання

Момент опору зварного шва, визначається за залежністю

$$W_{3\theta} = \frac{j_{3\theta}}{y_{\max}}, \quad (3.24)$$

де $j_{3\theta}$ – момент інерції зварного шва, мм^4 ,

$$j_{3\theta} = \frac{(B + 2 \cdot 0,7 \cdot k)(H + 2 \cdot 0,7 \cdot k)^3}{12} - \frac{B \cdot H^3}{12},$$

де k – катет зварного шва, $k = 2 \text{ мм}$;

$y_{\max}$ – максимальна відстань від крайніх волокон шва до нейтральної осі перерізу, що визначається за формулою

$$y_{\max} = \frac{H}{2} + k = \frac{60}{2} + 2 = 32 \text{ мм}, \quad (3.25)$$

Підставляючи значення, знайдемо момент інерції перетину

$$j_{36} = \frac{(80 + 2 \cdot 0,7 \cdot 2)(60 + 2 \cdot 0,7 \cdot 2)^3}{12} - \frac{80 \cdot 60^3}{12} = 2.689 \cdot 10^5 \text{ мм}^4,$$

Момент опору перетину

$$W_{36} = \frac{2.689 \cdot 10^5}{32} = 8403 \text{ мм}^3.$$

Напруження, що виникає від дії моменту τ_M

$$\tau_M = \frac{491.4 \cdot 10^3}{8403} = 58.5 \text{ МПа}.$$

Такі напруження є вищими від допустимих, тому рекомендувати катет шва 2 мм не можна, оскільки діючий момент є визначальним для міцності шва.

В другому наближенні перевіримо міцність з'єднання при катеті шва 3 мм.

Момент інерції перетину

$$j'_{36} = \frac{(80 + 2 \cdot 0,7 \cdot 3)(60 + 2 \cdot 0,7 \cdot 3)^3}{12} - \frac{80 \cdot 60^3}{12} = 416700 \text{ мм}^4,$$

Момент опору перетину

$$W'_{36} = \frac{416700}{33} = 12630 \text{ мм}^3,$$

$$\text{тут } y'_{\max} = \frac{H}{2} + k = \frac{60}{2} + 3 = 33 \text{ мм.}$$

Напруження, що виникає від дії моменту τ_M при катеті шва 3 мм

$$\tau_M = \frac{491.4 \cdot 10^3}{12630} = 38.9 \text{ МПа.}$$

Таке напруження лежить в допустимих межах.

Далі перевіримо напруження від дії сили P_n

$$\tau'_P = \frac{14040 \cdot \cos 5^\circ}{0.7 \cdot 3 \cdot 280} = 38.7 \text{ МПа,} \quad (3.26)$$

де $k = 3$ катет шва.

Максимальне напруження в з'єднанні

$$\tau_{\max} = \sqrt{35.7^2 + 38.7^2} = 52.7 \text{ МПа,} \quad (3.27)$$

Отже,

$$\tau_{\max} = 52.7 \text{ МПа} < [\tau] = 55.6 \text{ МПа}$$

умова міцності виконується, приймаємо зварний шов з катетом $k = 3$ мм.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Небезпеки, що виникають при роботі обприскувача сільськогосподарських культур

Робота з обприскувачами сільськогосподарських культур є важливою складовою сучасного аграрного виробництва, проте вона супроводжується рядом серйозних небезпек для здоров'я працівників та довкілля. Основну загрозу становлять хімічні речовини, які застосовуються для захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. Більшість засобів захисту рослин мають токсичні властивості і, залежно від рівня токсичності, можуть спричиняти як гострі отруєння, так і віддалені хронічні наслідки для організму людини, зокрема алергічні реакції, ураження дихальної системи, шкіри, а також функціональні порушення внутрішніх органів. При недотриманні правил безпеки отруйні речовини можуть проникати до організму працівника через органи дихання, шкіру або слизові оболонки.

Під час обприскування виникає аерозольне забруднення повітря, що значно підвищує ризик інгаляційного надходження шкідливих речовин, особливо у випадках відсутності або неправильного використання засобів індивідуального захисту. Крім того, температура повітря, сонячна радіація та швидкість вітру є чинниками, що впливають на ступінь небезпеки, адже при високій температурі та сильному вітрі обробка може призводити до більшого розповсюдження хімікатів у повітрі, включаючи занос їх за межі поля обробки.

Окрему небезпеку становить технічний стан обприскувача, адже зношені або несправні вузли можуть стати причиною аварійних ситуацій, таких як розрив шлангів під тиском, протікання робочої рідини або несподіване вивільнення рідини під час технічного обслуговування. Всі ці ситуації можуть спричинити нещасні випадки, опіки хімікатами або інші травми. До того ж, тривале перебування в кабіні трактора або поруч з працюючою технікою супроводжується фізичним навантаженням, підвищенням температури тіла,

втомою та зниженням уваги, що також впливає на ймовірність виникнення аварійної ситуації.

Варто також зазначити, що при роботі обприскувачів виникають екологічні ризики. Забруднення ґрунтових вод, річок, озер або навіть атмосферного повітря є наслідком неправильного зберігання, транспортування чи застосування пестицидів. Особливо небезпечною є ситуація, коли обробка культур проводиться поблизу пасік, населених пунктів, джерел водопостачання або на вітряних ділянках рельєфу. У таких випадках отруйні речовини можуть мимовільно потрапляти за межі оброблюваної території та завдавати шкоди як навколишньому середовищу, так і людям, які не беруть безпосередньої участі в технологічному процесі.

Таким чином, робота обприскувача в аграрному виробництві є потенційно небезпечною діяльністю, яка вимагає неухильного дотримання правил техніки безпеки, відповідної підготовки персоналу, а також належного технічного обслуговування обладнання, що в сукупності дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я та довкілля.

4.2 Вимоги безпеки праці при обприскуванні сільськогосподарських культур

Проведення хімічного захисту сільськогосподарських культур є невід'ємною частиною сучасного аграрного виробництва. Зокрема, застосування обприскувачів для внесення пестицидів, гербіцидів, інсектицидів та фунгіцидів передбачає обробку значних площ агроценозів. Однак такий технологічний процес супроводжується підвищеним ризиком для здоров'я працівників, які безпосередньо контактують із агрохімікатами, а також для довкілля. Відтак, забезпечення безпечних умов праці в процесі обприскування є критично важливим і повинно здійснюватися згідно з нормами чинного законодавства України, зокрема положеннями Закону України «Про охорону

праці», Державними санітарними правилами та нормативами, а також міжгалузевими стандартами техніки безпеки.

Професійна небезпека при роботі з обприскувачами зумовлена кількома ключовими факторами. По-перше, це токсичність використовуваних речовин. Хімічні засоби захисту рослин мають гостру або хронічну токсичну дію, викликаючи алергічні, нейротоксичні, канцерогенні, мутагенні ефекти залежно від класу токсичності. Згідно з «Гігієнічною класифікацією пестицидів» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001), засоби захисту поділяються за ступенем небезпеки, і всі роботи з ними повинні виконуватись відповідно до класу небезпеки, який обов'язково вказується на етикетці препарату.

По-друге, під час обприскування виникає ризик інгаляційного та дермального впливу на працівника. Аерозольна форма робочої рідини легко проникає в організм через дихальні шляхи, тому обов'язковим є застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), включаючи фільтрувальні респіратори класу не нижче FFP2, захисні окуляри, спецодяг, хімічностійкі рукавиці та чоботи. Ці вимоги закріплені у «Правилах охорони праці в сільськогосподарському виробництві» (НПАОП 01.0-1.78-18), де зазначається, що працівники, які працюють із пестицидами, повинні бути забезпечені ЗІЗ згідно з нормами безоплатної видачі.

Крім того, суттєве значення має правильна організація робочого процесу. Роботи з обприскування дозволяється проводити лише за наявності допуску у вигляді наряду-завдання, в якому вказуються обсяг, межі та умови обробки. Не дозволяється проведення обприскування в умовах сильної спеки, туману або при швидкості вітру понад 3–5 м/с, оскільки це може спричинити знос робочого розчину за межі оброблюваної площі, що створює додаткову небезпеку як для персоналу, так і для мешканців прилеглих територій. Дотримання цих вимог регламентується ДСТУ ISO 16119-2:2016 «Обприскувачі. Вимоги до екологічної безпеки. Частина 2. Польові обприскувачі».

Перед початком робіт обов'язковим є проходження медичного огляду, а також відповідного інструктажу з охорони праці. Згідно з «Порядком

проведення медичних оглядів працівників певних категорій» (Наказ МОЗ № 246 від 21.05.2007), особи, які мають справу з отруйними речовинами, повинні проходити щорічні профілактичні огляди з метою виявлення можливих професійних захворювань. Працівники, які не пройшли медогляд або мають обмеження за станом здоров'я, до робіт не допускаються.

Особливу увагу слід приділяти технічному стану обприскувального обладнання. Відповідно до ДСТУ EN ISO 4254-6:2017 «Машини сільськогосподарські. Вимоги щодо безпеки», всі обприскувачі повинні регулярно проходити технічний огляд. Перед кожним виїздом у поле оператор зобов'язаний перевірити справність насосної установки, герметичність шлангів, відсутність протікань, справність форсунок і систем управління. Робота несправного обприскувача заборонена, оскільки це може призвести до витоку концентратів або розпилення поза зоною контролю.

Після завершення робіт необхідно провести повне очищення ємностей, фільтрів і шлангів відповідно до інструкції виробника та з дотриманням екологічних вимог. Забруднені води та залишки пестицидів не можна зливати у відкриті водойми або поблизу джерел питної води. Очищення техніки повинно проводитись у спеціально облаштованих місцях (майданчиках), згідно з вимогами ДБН В.2.2-12:2019 «Планування і забудова сільських територій», які передбачають санітарно-захисні зони навколо господарських об'єктів.

Крім технічних і організаційних аспектів, важливу роль відіграє психологічна та фізіологічна готовність працівників до виконання небезпечних робіт. Тривале перебування на відкритому повітрі під час дії сонячної радіації, фізичне навантаження в умовах підвищеної температури, монотонність операцій можуть призводити до втоми, зниження уваги та ризику помилок. Відтак, нормування тривалості робочого часу та встановлення регламентованих перерв має критичне значення. Відповідно до вимог Кодексу законів про працю України (ст. 50–52), праця у шкідливих умовах не повинна перевищувати встановленої тривалості, а режим праці має бути адаптований до фізіологічних можливостей працівника.

Таким чином, забезпечення безпеки праці при обприскуванні сільськогосподарських культур є багатофакторним процесом, що вимагає системного підходу, поєднання організаційних, технічних і гігієнічних заходів. Виконання встановлених нормативів і стандартів, таких як НПАОП 01.0-1.78-18, ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001, ДСТУ EN ISO 4254-6:2017 та інших, є не лише гарантією збереження життя та здоров'я працівників, але й передумовою ефективного та екологічно безпечного ведення агровиробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Стандартна конструкція підвіски штанги передбачає регулювання її висоти та розгортання секцій за допомогою блочно-тросового механізму, що приводиться в дію гідроциліндрами. При цьому штанга закріплена жорстко і не має можливості вільного обертання навколо осі. Запропонована модернізація полягає у впровадженні маятникової підвіски, яка дозволяє змінювати положення штанги залежно від кута нахилу в поперечній та вертикальній площинах.

На початковому етапі було оновлено систему підйому: замість гідравлічної реалізовано гідравлічно-тросову схему, яка забезпечує вертикальне переміщення штанги та дозволяє їй вільно обертатися у горизонтальній площині.

В результаті розрахунків встановлено:

для підйому штанги використано гідроциліндр діаметром $D_1 = 80$ мм, при ході штока $H_1 = 800$ мм;

для коректування штанги використаємо гідроциліндр діаметром поршня $D_2 = 40$ мм, хід поршня $H_2 = 160$ мм;

необхідний в маслопроводі для піднімання штанги становить 1.79 МПа;

час розкриття штанги становить 6.25 с;

тиск, необхідний для управління штангою 5.25 МПа;

потужність, що споживається гідронасосом насосом для управління штангою становить 3.4 кВт;

діаметр троса для підняття штанги становить 10 мм;

параметри амортизаційної пружини стиску переміщення штанги: необхідний діаметр дроту – 9 мм; загальна кількість витків - 9; довжина 1033 мм; зовнішній діаметр пружини $D_3 = 45$ мм;

розрахунок зварного з'єднання упора кріплення пружини показав, що необхідним є забезпечити зварний шов з катетом 3 мм.

В роботі у розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» розглянуто питання: небезпеки, що виникають при роботі обприскувача сільськогосподарських культур; вимоги безпеки праці при обприскуванні сільськогосподарських культур.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
2. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
3. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
4. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.
5. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.
6. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.
7. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. *Materials Science*, 2021, 56(4), P. 466–471.
8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Бабій А.В. Закономірності впливу високомодульних наповнювачів на розподіл полів напружень в поверхневих шарах деталей машин, виготовлених з полімерних композитних матеріалів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 55-70.
9. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural*

Production Research. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

10. Бабій А.В. Дослідження впливу горизонтальних коливань штанги на рівномірність обприскування. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників, 16 червня 2020 р. Редкол. : Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. Умань : ВПЦ «Візаві», 2020. С. 121–123.
11. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.
12. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.
13. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.
14. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проектування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.
15. Бабій А.В., Брошак І.С., Мартинюк В.В. Пристрій для прикореневого підживлення вегетуючих рослин. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.68-69.

16. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральнотуристський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 216-226.
17. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.
18. Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. Причіпний пристрій широкозахватної машини. Деклараційний патент на корисну модель 140142 А01В 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.
19. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Аналітична модель збурення вертикальних коливань штанги сільськогосподарського обприскувача Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин. “ ФОП Паляниця ВА. 23-24 вересня 2021. С. 57-58.
20. Бабій А.В., Левицький Б.Б. Підвищення ефективності хімічного захисту рослин при використанні міні обприскувачів. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.158-159.
21. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гамрач В.О. Норма внесення робочого препарату як чинник ефективності хімічного захисту рослин. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк [Електронний ресурс] – Луцьк: ЛНТУ, 2023. С.5-6.

22. Бабій А.В., Левицький Б.Б., Гладь Ю.Б., Андрейків О.Є. Підвіска штанги обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель ua 157047 U A01M 7/00. Заявлено 09.01.2024, u 2024 00132, опубліковано 04.09.2024, Бюл. № 36.
23. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 A01B 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.
24. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.
25. ДБН В.2.2-12:2019. Планування і забудова сільських територій.
26. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.
27. ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. «Гігієнічна класифікація пестицидів».
28. ДСТУ EN ISO 4254-6:2017. Машини сільськогосподарські. Вимоги щодо безпеки.
29. ДСТУ ISO 16119-2:2016. Обприскувачі. Вимоги до екологічної безпеки. Частина 2. Польові обприскувачі.
30. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / За ред. Є.П. Желібо, В.М.Пічі. Львів: „Новий світ–2000”, 2002. – 328 с.
31. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-XII (зі змінами).
32. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво: підручник. За ред. О.І. Зінченка. К. : Агроосвіта, 2001. 591 с.
33. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996. 384 с.
34. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

35. Левицький Б. Причини зниження ефективності обприскування. Матеріали III Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 р.), 2020. С.33.
36. Левицький Б., Вовк І. Виокремлення задач, вирішення яких підвищує якість хімічного захисту рослин обприскувачами. V Міжнародна студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. актуальні питання». ТНТУ. 2022. С.10-11.
37. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнотернопільський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.116-125](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.116-125).
38. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральнотернопільський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.
39. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
40. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.
41. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Концептуальні рішення для проєктування малогабаритного обприскувача. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.51-52.

42. Левицький Б.Б., Бабій В.А. Система стабілізації штанги малогабаритного обприскувача. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 98-99.
43. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ. Том 58, №2. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. С. 116–121.
44. Лімонт А.С., Мельник І.І., Малиновський А.С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. К.: Кондор, 2004. 284 с.
45. Наказ Мінсоцполітики № 62 від 29.03.2018. «Типові норми безоплатної видачі засобів індивідуального захисту».
46. Наказ МОЗ України № 246 від 21.05.2007. «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів».
47. НПАОП 01.0-1.78-18. Правила охорони праці у сільському господарстві.
48. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.
49. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.
50. Хомик Н. І., Мартиню В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.
51. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 106 с.