

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення експлуатаційних характеристик причіпного
обприскувача з удосконаленням системи агрегаткування

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

208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

Новацький П.І.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Новацькому Павлу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення експлуатаційних характеристик причіпного
обприскувача з удосконаленням системи агрегаткування

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » 01 2024 року № 4/7-62

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи Робоча швидкість на основних операціях 6-10 км/год; витрата робочої
рідини: - при обробці пестицидам 120-300 л/га; при внесенні рідких мінеральних добрив 200-400 л/га;
ширина захвату штанги 24 м; крок встановлення розпилювачів 0,5 м; робочий тиск у напірній
системі 0.1-0,5 МПа; споживана потужність на привід насоса, не більше 6 кВт.

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

Вступ. 1. Аналіз відомих технологій та способів захисту рослин.

2. Рекомендації щодо підвищення експлуатаційної ефективності причіпного 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 напівпричіпний штанговий ОПШ-3500. СК;
Рама. СК; Підрамник. СК; Технологічна схема; Елементи причепа; Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Новацький П.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабій А.В.
(прізвище та ініціали)

Реферат

Мета і завдання дослідження – підвищити експлуатаційні характеристики причіпного обприскувача при удосконаленні системи агрегатування.

Мета досягається шляхом модернізацій причіпного пристрою напівпричіпного штангового обприскувача, що підвищує його експлуатаційні показники та надійність привода насоса.

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

проведено аналіз відомих технологій та способів захисту рослин;

визначено номінальну дотичну сили тяги трактора;

встановлено максимальну зчіпну силу для агрегатування обприскувача;

визначено опір перекочуванню трактора та його швидкості руху;

визначено навантаження на причіп;

розраховано на міцність несучого елемента причепа;

розраховано фіксуючу частину переходника та кріпильну вилку.

Об'єктом дослідження – експлуатаційні характеристики причіпного обприскувача.

Предмет дослідження – причіпний пристрій напівпричіпного обприскувача.

Практичне значення – проведене удосконалення причіпного пристрою напівпричіпного штангового обприскувача підвищує його експлуатаційні характеристики та надійність роботи.

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

Ключові слова. Хімічний захист, штанговий обприскувач, технологічний процес обприскування, причіпний пристрій, експлуатаційні характеристики.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СПОСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН.....	7
1.1 Хімічний метод – найбільш дієвий спосіб захисту рослин.....	7
1.2 Способи нанесення робочого препарату на об’єкт обробки.....	12
2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра	24
2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЧІПНОГО ОБПРИСКУВАЧА	26
2.1 Визначення номінальної дотичної сили тяги трактора	26
2.2 Визначення максимальної зчіпної сили для агрегатування обприскувача	28
2.3 Визначення опору перекочуванню трактора	31
2.4 Визначення швидкості руху трактора	32
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	41
3.1. Визначення навантаження на причіп	41
3.2 Розрахунок на міцність несучого елемента причепа.....	42
3.3 Розрахунок фіксуючої частини перехідника	55
3.4 Розрахунок кріпильної вилки	56
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	58
4.1 Основні небезпеки, що виникають при роботі обприскувача	58
4.2 Засади охорони праці при роботі з пестицидами	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	70

ВСТУП

Необхідність виконання хімічного захисту рослин за допомогою обприскувачів обумовлена цілою низкою факторів, що впливають на сільськогосподарське виробництво. Хімічний захист рослин є важливим аспектом в агрономії, який спрямований на збереження здоров'я рослин і, як наслідок, забезпечення стабільно високих урожаїв.

Захист рослин від шкідників, хвороб і бур'янів за допомогою хімічних засобів є ключовим для запобігання значних втрат урожаю. Шкідники та хвороби можуть нанести серйозну шкоду сільськогосподарським культурам, зменшуючи їхню продуктивність та якість. Так, наприклад, грибкові інфекції можуть швидко поширюватися на великі площі, якщо їх не контролювати належним чином. Обприскування дозволяє точно і рівномірно розподілити пестициди або фунгіциди по поверхні рослин, що забезпечує ефективне їх покриття і захист.

Крім того, обприскувачі дозволяють значно знизити кількість використаних хімічних речовин, оскільки сучасне обладнання дозволяє дозувати робочий розчин із великою точністю, відповідно до потреб конкретної культури та стану захворювань або шкідників. Це не тільки економить витрати на хімікати, але й сприяє зниженню навантаження на довкілля, мінімізуючи ризики забруднення ґрунту та водойм.

Ефективність хімічного захисту також залежить від своєчасності застосування захисних заходів. Обприскувачі дозволяють оперативно реагувати на виявлення шкідливих організмів або хвороб, забезпечуючи можливість швидкого та ефективного оброблення великих площ. Така операційна гнучкість критично важлива в агрономії, де затримки у застосуванні заходів захисту можуть призвести до швидкого поширення інфекції або активізації шкідників.

Отже, застосування обприскувачів для хімічного захисту рослин є важливою частиною сучасного сільськогосподарського виробництва. Це дозволяє не тільки ефективно боротися з потенційними загрозами для урожаю,

але й оптимізувати витрати та зменшити екологічний вплив використання агрохімікатів.

Також важливо зазначити, що використання обприскувачів сприяє забезпеченню більшої однорідності застосування хімічних засобів захисту. Сучасні технології, які використовуються в обприскувачах, такі як системи керування дозуванням і розподілу, GPS-навігація для точного внесення препаратів, і системи крапельного обприскування, дозволяють не тільки знизити кількість необхідного препарату, але й мінімізувати його вплив на навколишнє середовище.

Крім технічних аспектів, важливу роль відіграє також розвиток інтегрованого підходу до захисту рослин, де хімічний захист поєднується з біологічними методами та агротехнічними прийомами. Це допомагає створювати стійкі агроєкосистеми, які можуть ефективно протистояти шкідникам і хворобам при мінімальному застосуванні хімічних засобів.

Отже, застосування надійних та ефективних обприскувачів є ключовим елементом в комплексній системі захисту рослин, що спрямована на підтримання високої продуктивності і стабільності врожаїв при одночасному зниженні негативного впливу на довкілля.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СПОСОБІВ ЗАХИСТУ РОСЛИН

1.1 Хімічний метод – найбільш дієвий спосіб захисту рослин

Хімічний захист рослин включає застосування як природних, так і синтетичних хімічних речовин, які ефективно впливають на шкідливі організми, такі як шкідники, патогени хвороб та бур'яни. Ці речовини, відомі під загальною назвою пестицидів (від латинських "пест" – шкода та "цидо" – вбиваю), є невід'ємною частиною сучасної агрономії та інтенсивного сільськогосподарського виробництва завдяки їх універсальності та ефективності.

У глобальній практиці хімічного захисту асортимент пестицидів регулярно оновлюється і вдосконалюється. Перелік речовин, які дозволені до використання в даному році, щорічно переглядається і офіційно затверджується національними регуляторними органами, такими як Міністерство аграрної політики, та узгоджується з Міністерством охорони здоров'я. Цей перелік включає вказівки щодо об'єктів обробки, дозування та гігієнічні норми застосування.

Рекомендовані до використання пестициди групуються за типами в залежності від їх призначення та області застосування, що дозволяє аграріям вибирати найбільш підходящі засоби для конкретних умов та специфіки культур.

Пестициди класифікуються на основі їхнього застосування, механізму дії та хімічного складу. Основні категорії за об'єктами застосування включають:

- **Інсектициди** – використовуються для контролю шкідливих комах.
- **Акарициди** – застосовуються проти шкідливих кліщів.
- **Нематоциди** – захищають рослини від нематод.
- **Родентициди** – призначені для боротьби з гризунами.

- **Лімбаациди** – використовуються проти слимаків.
- **Фунгіциди** – застосовуються для запобігання грибковим захворюванням.
- **Бактерициди** – для боротьби з бактеріальними інфекціями.
- **Гербіциди** – використовуються для контролю бур'янів.
- **Арборициди** – спрямовані на знищення деревинних рослин.
- **Протруйники** – використовуються для обробки насіння та саджанців з метою захисту від шкідливих організмів.
- **Дефоліанти** – сприяють опаданню листя.
- **Десиканти** – викликають швидке висихання рослин.

Щодо способу проникнення активних речовин в організм шкідника, пестициди поділяються на:

- **Кишкові** – потрапляють в організм шкідника разом із їжею.
- **Контактні** – проникають через шкірні покриви.
- **Системні** – здатні проникати та переміщуватись у тканинах рослин, ефективно знищуючи шкідників, які живляться рослинами.
- **Фумиганти** – впливають на шкідників через дихальні шляхи у вигляді пари або газу.

Ця класифікація допомагає аграріям вибирати оптимальні засоби для ефективного захисту від різних типів шкідників і хвороб, враховуючи специфічні умови та потреби їхніх господарств.

Розглянемо декілька найпоширеніших категорій пестицидів, зокрема фунгіциди та гербіциди. Фунгіциди, засоби для боротьби з грибковими інфекціями, поділяють на захисні, які використовуються для профілактики захворювань, та лікувальні, які застосовуються для ліквідації вже існуючих інфекцій. За способом взаємодії з рослиною фунгіциди класифікуються на контактні, що діють на поверхні рослини та не проникають всередину, та системні, які рослина засвоює і які переносяться по її тканинах для забезпечення захисту від внутрішніх інфекцій.

Гербіциди, в свою чергу, поділяються за хімічним складом на неорганічні та органічні. Залежно від специфіки взаємодії з культурними рослинами, ці

засоби захисту класифікують на селективні, які цілеспрямовано впливають тільки на певні види бур'янів, залишаючи культурні рослини недоторканими, та невідбиркові, які впливають на всю рослинність у оброблюваній зоні. За механізмом дії гербіциди поділяють на контактні, що діють локально на ті ділянки рослини, з якими вступають у контакт, та системні, які проникають і поширюються всередині рослини. За способом застосування розрізняють ґрунтові гербіциди, які вносяться в ґрунт до початку вегетаційного періоду, та поствегетаційні, що використовуються під час росту культурних рослин.

Поряд з пестицидами, вчені активно досліджують використання синтезованих біологічно активних речовин у захисті рослин, які включають такі категорії:

- **Феромони** – це біохімічні маркери, які комахи випускають для взаємодії з іншими особинами свого виду.
- **Атрактанти** – речовини, що приваблюють комах і інших тварин, зазвичай використовуються як статеві та харчові атрактанти в практиці захисту рослин.
- **Репеленти** – відштовхуючі речовини, чий запах чи смак відлякують шкідників, таких як комахи, кліщі, гризуни.
- **Інгібітори** – хімічні засоби, які блокують діяльність ферментів або метаболічні процеси у шкідливих організмах.
- **Стериланти** – речовини, які впливають на репродуктивну систему організмів, перешкоджаючи їх здатності до розмноження.
- **Гормони** – потужні біологічні речовини, що регулюють ключові процеси розвитку організмів, як у комах, так і в рослин.
- **Ретарданти** – агенти, які модулюють ріст рослин, сприяючи компактному зростанню і підвищуючи їх стійкість до певних зовнішніх впливів, наприклад, до полягання злаків.

Ці речовини можуть мати складні інтеракції з рослинами та шкідниками, тому їх включення у комплексний захист культур вимагає детального розуміння та точного дозування.

Щодо класифікації пестицидів, вона є умовною, оскільки багато препаратів мають широкий спектр дії, вражаючи різні типи шкідників та збудників захворювань. Так, інсектоакарициди, акарофунгіциди та інші комбіновані форми пестицидів здатні впливати на комах, кліщів і збудників хвороб одночасно. Деякі пестициди мають комбінований механізм дії (кишковий, контактний, фумігаційний), що робить їх вкрай ефективними у боротьбі з різноманітними загрозами.

Пестициди за хімічним складом діючих речовин розділяють на три основні категорії:

1. **Неорганічні сполуки** – це включає сполуки таких елементів, як мідь, сірка, фтор, ртуть.
2. **Пестициди природного походження** – включають речовини, отримані з рослин, бактерій і грибів, такі як піретрини, антибіотики, бактеріальні та грибкові фітонциди.
3. **Органічні сполуки** – велика група синтетично синтезованих пестицидів, які вирізняються високою біологічною активністю.

Ці органічні сполуки поділяються за хімічним походженням на:

- **Хлорорганічні сполуки** (наприклад, ділор, поліхлорпінен);
- **Фосфорорганічні сполуки** (такі як хлорофос, карбофос);
- **Похідні карбамінових, тіо- та дітіокарбамінових кислот** (наприклад, севін, перимор);
- **Нітропохідні фенолів** (наприклад, ДНОК, нітрафен);
- **Органічні сполуки ртуті** (наприклад, гранозан);
- **Похідні сечовини** (такі як монурон, діурон);
- **Сим-триазини** (атразин, симазин);
- **Фтальгіміди** та інші подібні речовини.

Ефективність пестицидів залежить не лише від хімічного складу активних речовин, а й від форми їх препаратів. Також на дію пестицидів впливають умови навколишнього середовища, фізіологічний стан шкідливого організму,

характеристики культур, проти яких вони використовуються, і якість виконання захисних заходів.

Основними формами сучасних пестицидів є:

- **Концентрати емульсій** – це розчини пестициду в маслі, дрібно дисперговані і стабілізовані за допомогою поверхнево-активних речовин. При додаванні води вони формують стабільні емульсії, що забезпечує їх однорідне розподілення під час обприскування.
- **Змочувальні порошки** – порошкоподібні форми пестицидів, які при змішуванні з водою створюють стійкі суспензії. Вони складаються з активної речовини, нейтралізуючого наповнювача та поверхнево-активних агентів. Ці порошки не проникають у плоди і легко змиваються, забезпечуючи зниження ризику залишків на продуктах.
- **Розчинні порошки** – подібні до змочувальних порошків за виглядом і способом застосування, але відрізняються відсутністю наповнювачів. Ці вискодисперсні порошки змішуються з водою, формуючи розчин, який ефективно розподіляє активну речовину.
- **Гранульовані препарати** – складаються з гранул, які можуть містити мінеральні наповнювачі, такі як перліт або вермикуліт, просочені пестицидом, або зі склеювальних агентів для кращої зчепленості. Гранули застосовуються для точного дозування в місцях, де необхідно проникнення пестициду через густі насадження, наприклад, в лісах або на багаторічних галявинах.
- **Мікрокапсульовані препарати** – містять мікроскопічні капсули з пестицидом в напівпроникній оболонці, яка забезпечує поступове вивільнення активної речовини. Це дозволяє подовжити час дії препарату і зменшити його вплив на довкілля, особливо коли мова йде про високотоксичні речовини.

Ці форми пестицидів розроблені таким чином, щоб максимізувати ефективність при мінімальному ризику для культурних рослин і довкілля, одночасно забезпечуючи зручність і безпеку використання.

Додавання поверхнево-активних речовин до пестицидів дозволяє їх застосування через обприскування або обпилення. Розчини пестицидів у воді або органічних розчинниках готуються з водорозчинних пестицидів і застосовуються для захисту рослин шляхом обприскування. Після розбавлення до потрібної концентрації до них додають поверхнево-активні речовини для покращення змочування поверхонь. Пестициди у органічних розчинниках, таких як керосин або дизельне паливо, з їх низьким поверхневим натягом, використовуються для обприскування малого об'єму, забезпечуючи ефективне покриття.

Порошки, або дусти, являють собою механічні суміші пестициду і дрібно подрібненого наповнювача. Ефективними наповнювачами служать мінерали зі шаруватою структурою, такі як тальк чи пірофіліт, які не впливають на хімічні властивості активних речовин. Додавання 3–5% мінерального масла до порошків зменшує рознесення найдрібніших частинок вітром під час обпилювання.

Забезпечення безпеки праці при роботі з хімічними та біологічними засобами захисту рослин досягається шляхом механізації і автоматизації процесів, дотримання санітарних правил, впровадження рекомендацій та гігієнічних нормативів, а також використання засобів індивідуального захисту.

1.2 Способи нанесення робочого препарату на об'єкт обробки

Обприскування виконується шляхом нанесення пестицидів у формі розчинів, суспензій, або емульсій на оброблювану поверхню. Цей метод є ефективним та економічно вигідним способом застосування пестицидів, оскільки забезпечує рівномірне розподілення активної речовини навіть при її невеликих дозах, оптимізуючи покриття оброблюваних поверхонь. Різні техніки обприскування включають:

- Обпилення рослин за допомогою сухих порошоків (дусти), що містять пестициди, змішані з наповнювачем;
- Обприскування з використанням суспензій та емульсій;
- Застосування розчинів пестицидів, приготовлених на водній або органічній основі;
- Використання аерозолів, штучних туманів чи димів, а також фумігація, що включає використання газів або парів;
- Застосування отруйних приманок.

Обприскування здійснюється за допомогою спеціалізованих обприскувачів, які можуть бути наземними або авіаційними, що дозволяє обробляти великі площі ефективно і швидко [2-5].

При обприскуванні застосовують як причепні, так і навісні агрегати, які монтуються на тракторах. Розпилення рідин може відбуватися за допомогою гідравлічних систем (через форсунки під тиском) або використанням вентиляторних систем, що створюють аерозолі. Ефективність обприскування залежить від часу доби – рекомендовано проводити ці заходи вранці або ввечері, коли вітер слабший, для зниження ризику розносу пестицидів повітряними потоками. Важливо також враховувати напрям вітру, щоб уникнути потрапляння пестицидів на населені пункти, водойми та інші чутливі території.

Авіаційне обприскування застосовується для швидкої обробки великих площ, включно з полями та лісовими масивами, і виконується за допомогою літаків (наприклад, АН-2, АН-2М, ЯК-12) та вертольотів (МІ-1, МІ-2, КА-15). Залежно від методу обприскування, диференціюють багатолітражне, малооб'ємне та ультрамалооб'ємне обприскування. Багатолітражне обприскування передбачає використання великої кількості рідини на одиницю площі, наприклад, для полів витрати складають 400-600 л/га, для плодових культур – 1500–2000 л/га, для ягідників – 1000–1500 л/га.

Малооб'ємне обприскування, яке забезпечує економічну витрату рідини в межах 100–150 л/га для різних культур, а також 250–500 л/га і 150–200 л/га

залежно від типу вегетації, підвищує ефективність обробки завдяки створенню високодисперсних крапель. Це сприяє збільшенню токсичності інсекто-акарицидів, підвищуючи їхню активність. Ще більшу ефективність продемонструвало ультрамалооб'ємне обприскування, яке застосовується з розрахунку 1–2 л/га і 5–10 л/га. Така методика забезпечує триваліший захист завдяки підтримці концентрації активних речовин, відмінної від тієї, яка спостерігається при використанні розбавлених емульсій [33–34].

Значним мінусом малооб'ємного та особливо авіаційного обприскування є рознесення 20–60% крапель пестициду за межі цільової ділянки, особливо при високій швидкості вітру. Це призводить до забруднення довкілля і зниження загальної ефективності обробки. Використання штангових обприскувачів мінімізує цей недолік, зменшуючи витрати пестицидів приблизно на 25% і забезпечуючи точніше нанесення хімікатів.

Обприскувач напівпричіпний штанговий ОПШ-3500 розроблений для застосування в агрономії, зокрема для захисту польових культур від шкідників, хвороб і бур'янів, а також для аплікації рідких мінеральних добрив, таких як карбамідно-аміачна селітра (КАС). Цей обприскувач ефективно використовує робочі рідини у вигляді розчинів, суспензій і емульсій для проведення хімічної обробки.

Призначений для роботи в районах з помірним кліматом, ОПШ-3500 може бути зчеплений з тракторами класу 1,4, такими як МТЗ-80/82, МТЗ-100/102 та ПМЗ6Л/М, які оснащені пневмогальмівною системою. Ця інтеграція з тракторами забезпечує високу маневреність і продуктивність обприскування на великих площах.

Детальні технічні параметри і характеристики обприскувача представлено в таблиці 1.1 [30].

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика ОПШ – 3500

Назва	Значення
Робоча швидкість на основних операціях, км/год Робоча ширина захвату, м Агрегатування	6-10 21/24 МТЗ-80/82; МТЗ-100/102; ПМЗ-6Л/6М (з пневмогальм. системою)
Ємкість бака, м ³ (л)	3,5±0,1 (3500±100)
Витрата робочої рідини: - при обробці пестицидами, л/га - при внесенні рідких мінеральних добрив, л/га	120 – 300 200 – 400
Робочий тиск у напірній системі, МПа	0,1 - 0,5
Транспортна швидкість, не більше (з порожнім баком), км/год	16
Агротехнічний просвіт, не менше мм	500
Ширина колії, мм	1800±40/2100±40
Кількість персоналу, що обслуговує агрегат при заправці, людей	1 тракторист 2 чол.
Маса машини суха (конструкційна) з повним комплектом робочих органів і приладів, кг	2200
Габаритні розміри, не більше мм у робочому положенні довжина ширина висота	5600 20700/24150 3080
Споживана потужність на привод насоса, не більше кВт	6
Оперативна трудомісткість переустаткування обприскувача на інші міжряддя, не більше люд-година	1,1
Насос: Тип Тиск, не більше МПа Об'ємна подача, не менше л/хв Номінальні оберти об/хв	діафрагмовий 2,0 250 540,5

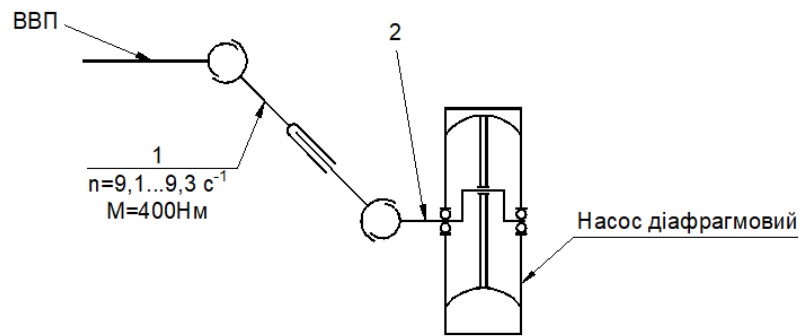
Обприскувач включає в себе кілька основних компонентів: шасі, зазначене на рисунку 1.1 під номером 4, бак із гідрозмішувачами (позиція 5 на рисунку), діафрагмовий насос, виконавчий механізм (позиція 2), карданну передачу та штангу з шириною захвату 21 або 24 метри (позиція 3 на рисунку). Також система включає всмоктувальні (позиція 6 на рисунку) і напірні (позиція 1 на рисунку) комунікації.

Вал діафрагмового насоса обертається за допомогою вала відбору потужності трактора, що передає крутний момент через карданну передачу. Робоча рідина із бака через всмоктувальний фільтр надходить до діафрагмового насоса, де вона перекачується через напірний фільтр до виконавчого механізму та далі до робочих органів обприскувача. Частина рідини система перенаправляє через гідрозмішувачі назад у бак для забезпечення постійного перемішування. Встановлену норму виливу підтримує виконавчий механізм, що дозволяє точно дотримуватись необхідних параметрів обприскування



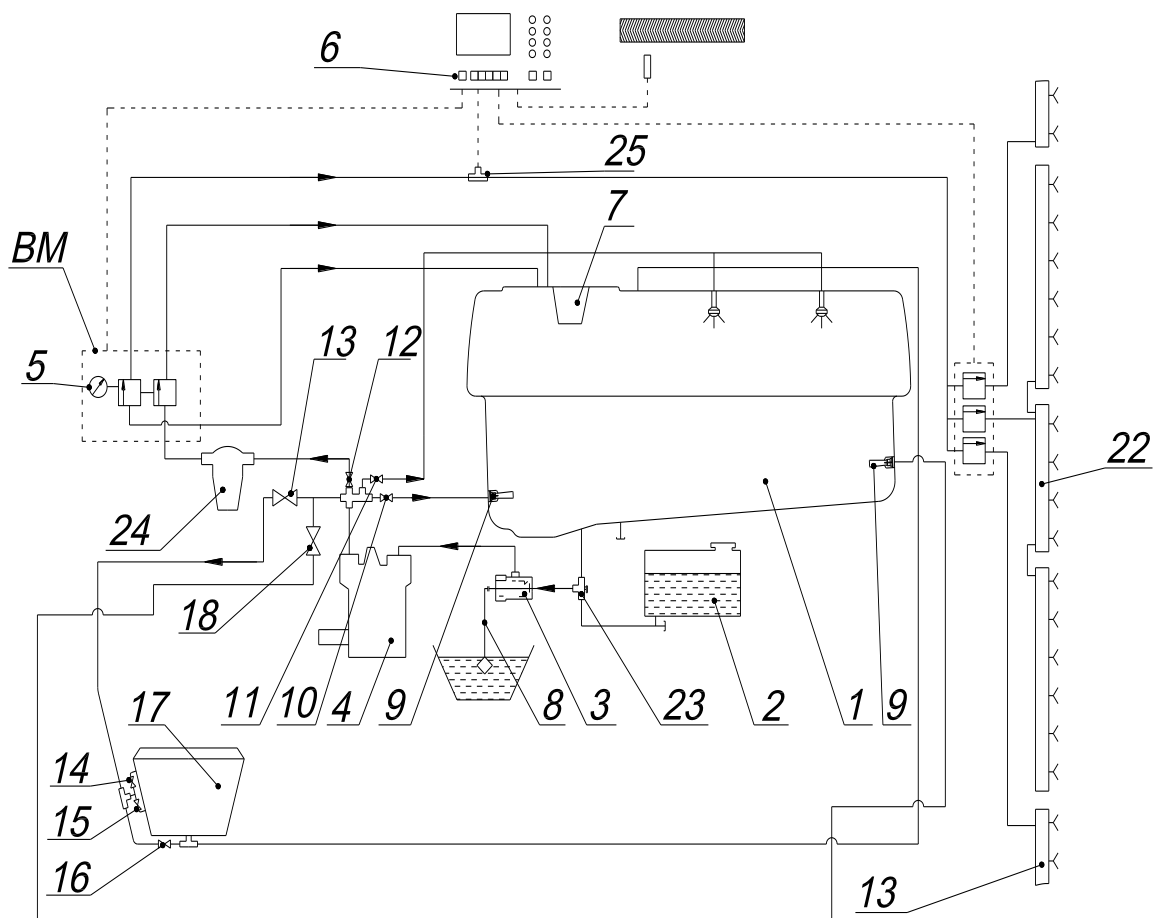
1 – напірна комунікація; 2 – виконавчий механізм; 3 – штанга; 4 – шасі; 5 – бак;
6 – всмоктувальна комунікація

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ОПШ – 3500



1 – передача карданна; 2 – вал насоса.

Рисунок 1.2 – Кінематична схема ОПШ – 3500



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 1.3 – Технологічна схема ОПШ – 3500

Для самозаправки обприскувача робоча рідина з зовнішньої ємності через заправний рукав (8, рис.1.3) підключається до системи через всмоктувальний фільтр (3). Насос (4) засмоктує рідину через заправний рукав (8, рис.1.3) підключається до системи через всмоктувальний фільтр (3). Рідина засмоктується насосом (4) і направляється до бака (1) через виконавчий механізм і гідрозмішувач (9). Щоб здійснити самозаправку, необхідно виконати наступні дії:

За допомогою пульта (6) перекрити подачу робочої рідини до штанги (22).

Відкрити клапан всмоктувального фільтра, повернути його проти годинникової стрілки на 90 градусів і витягти.

Приєднати заправний рукав (2) до відповідного вивільного отвору та закріпити гайкою (5).

Відкрити кран гідрозмішувача (10, рис.1.3) і утримувати його відкритим під час роботи та самозаправки.

Після завершення заправки:

Від'єднати заправний рукав від зовнішньої ємності, включити насос для видалення залишків рідини з рукава.

Виключити вал відбору потужності трактора і від'єднати заправний рукав.

Промивка комунікацій виконується шляхом подачі води з ємності (2, рис.1.3) через триходовий кран (23), яка засмоктується насосом (4) і направляється через кран (11) на сопла розмивача, а далі через виконавчий механізм виводиться через штангу (22).

Обприскувачі з штангами представляють собою ефективні агрегати, які використовуються в рослинництві і існують у різних модифікаціях, адаптованих до специфічних умов експлуатації. Місткість резервуарів для робочих рідин варіюється залежно від моделі та продуктивності обприскувача, при цьому спостерігається тенденція до збільшення ємностей баків, що дозволяє забезпечити достатній запас рідини на період від півзміни до повної зміни роботи без дозаправки [27-28].

Розпилювачі в обприскувачах відповідають за дозування та дроблення пестицидів перед їх нанесенням на рослини. Від якості роботи цих елементів безпосередньо залежить рівномірність та ефективність покриття оброблюваних поверхонь пестицидами. Розпилювачі класифікуються за принципом дії на відцентрові, струменеві, пневматичні, і обертові, що можуть створювати розпил у формі суцільного або порожнистого конуса, віяла, а також суцільного чи відбивного струменя.



Рисунок 1.4 – Штанговий обприскувач компанії BERTHOUD

Ефективність захисту культурних рослин від шкідників та захворювань залежить від трьох основних аспектів: ефективності використовуваних хімічних препаратів, правильного обраного часу обробки, та якості розпилення робочої рідини. Останній фактор, у свою чергу, залежить від дисперсності рідини, що вимагає високотехнічного обладнання.

Штангові та вентиляторні обприскувачі є основним обладнанням для нанесення захисних засобів на польові культури. Зокрема, для обробки зернових, технічних та овочевих культур рекомендуються штангові обприскувачі, які забезпечують найкращу однорідність розподілу робочої рідини.

Компанія BERTHOUD, яка є лідером у розробці та впровадженні механізації хімічного догляду за рослинами, виробляє кілька моделей штангових обприскувачів. Серед них, моделі PRIMER, RACER, MAJOR та MAXXOR вирізняються за параметрами місткості та ширини захвату.

Наприклад, модель RACER забезпечена баком на 2000, 2500 чи 3200 літрів і штангами шириною від 15 до 24 метрів, а модель MAXXOR оснащена штангою на 36 метрів та додатковим баком для промивання системи, що підкреслює її універсальність та продуктивність.

Ширина колії моделей обприскувачів варіюється від 1600 до 2250 мм. Кожен з них оснащений двома насосами: відцентровим насосом, який працює від вала відбору потужності (ВВП) трактора та виконує кілька функцій – наповнення бака, перемішування робочої рідини і промивання системи, а також двопоршневим насосом VOLUX, який активується від опорних коліс обприскувача і забезпечує створення робочого тиску. Ця конфігурація насосів має кілька переваг: вона дозволяє забезпечувати постійний розподіл рідини навіть під час зупинки трактора та не створює додаткового опору двигуну, що сприяє зниженню споживання палива.

Нові причіпні обприскувачі John Deere серії 700 розроблені для точного та рівномірного внесення хімічних засобів. Вони доступні у трьох модифікаціях з основними баками об'ємом 2400, 3200 і 4000 літрів і можуть мати ширину захвату від 18 до 28 метрів. Стійкість цих машин забезпечує міцне шасі та двоважільна підвіска, що забезпечує плавність пересування, водночас більшість маси розподіляється на причіпний пристрій трактора.

John Deere пропонує широкий вибір осей та барабанних гальм, з можливістю налаштування ширини колії, включаючи варіанти з регульованою осі. Новий дизайн штанги з Z-подібним механізмом дозволяє регулювати висоту, що забезпечує тривалу високу ефективність роботи. Обприскувач оснащено штангами двох типів: двоколінною штангою з шириною захвату 18–28 м і триколінною штангою з шириною захвату 24–28 м. Маятникова система обприскувача оснащена амортизаторами для стабілізації.

John Deere також акцентує увагу на системі контролю витрат та системі подачі пестицидів, підвищуючи точність роботи обприскувачів. Водночас, обприскувачі від датської компанії HARDI, зокрема моделі серії Commander, вирізняються застосуванням новітніх конструкторських рішень. Ці машини

мають трапецієподібну маятникову підвіску штанги, що мінімізує небажані коливання. Використовуються різні типи штанг, включно з Delta, стабільною штангою Force та TwinForce з повітряною підтримкою, які приводяться в дію через гідравлічну систему трактора. Регулювання висоти штанг над полем забезпечується за допомогою односторонніх гідроциліндрів.

Матеріал головного резервуару для робочої рідини в обприскувачах серії Commander стійкий до хімічних реагентів, ультрафіолету та механічних пошкоджень. Ці моделі дозволяють встановлювати ємкості об'ємом 3200, 4400 та 6600 літрів, з поплавковим індикатором рівня рідини. Вони оснащені новою віссю ходової системи, яка забезпечує підвищений кліренс. Діафрагмові насоси HARDI, які використовуються в цих обприскувачах, розроблені спеціально для використання з рідкими добривами та розчинами пестицидів.

Обприскувач напівпричіпний штанговий ОПШ15-01 призначений для роботи з легкорозчинними гербіцидами. Він виготовлений як одноосьовий напівпричіп та може бути агрегований з тракторами класу 1.4 і 2. Складається з шасі, бака зі склопластику з механічною мішалкою, карданної передачі, насоса, регулятора тиску та нагнітальної комунікації. Обладнаний відсічними пристроями діафрагмового типу, шліцевими та вихровими розпилювачами. Управління штангою (складання, розкладання та підйом) виконується з кабіни трактора за допомогою гідравліки. Штанга стабілізована паралельно до поверхні ґрунту і оснащена полозами для захисту кінців штанги від зачеплення за ґрунт.



Рисунок 1.5 – Обприскувач причіпний штанговий ОПШ 15

Обприскувач штанговий причіпний ADVANCE 3000/24(рис.1.6) призначений для полів великої площі. Повністю гідрофікована штанга, комп'ютерний контроль роботи обприскувача. Нова штанга, виготовлена з легкосплавних матеріалів за технологією "Flexible". Об'ємна форма штанги та 6 систем захисту підвищують надійність роботи та продуктивність [18].



Рисунок 1.6 – Обприскувач штанговий причіпний ADVANCE 3000/24

Усі обприскувачі Jacto оснащені незалежною гідравлічною системою з замкнутим контуром, що не потребує підключення до гідросистеми трактора. Це дозволяє використовувати високоякісні масла, що сприяє збільшенню терміну служби компонентів гідравліки. Управління всіма процесами гідравлічної системи здійснюється через дистанційний пульт, розміщений у кабіні трактора.



Рисунок 1.7 – Гідросистема обприскувача штангового причіпного
ADVANCE 3000/24

Безступінчате регулювання ширини колії (рис.1.8) дає змогу адаптувати обприскувач для роботи в різних міжряддях.

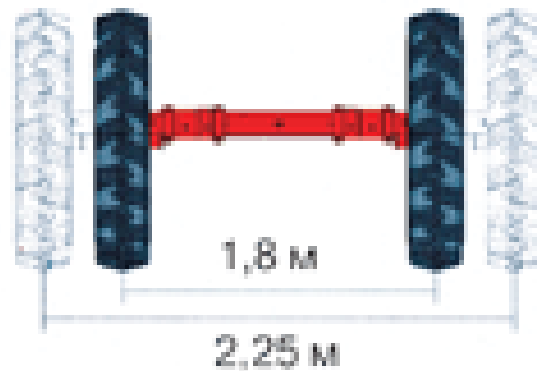


Рисунок 1.8 – Регулювання ширини колії

Обприскувач оснащений двома видами мішалок для робочого розчину: механічною та гідравлічною. Ці мішалки забезпечують постійне перемішування робочого розчину, запобігаючи його осіданню і розшаруванню під час експлуатації та заправки агрегату.

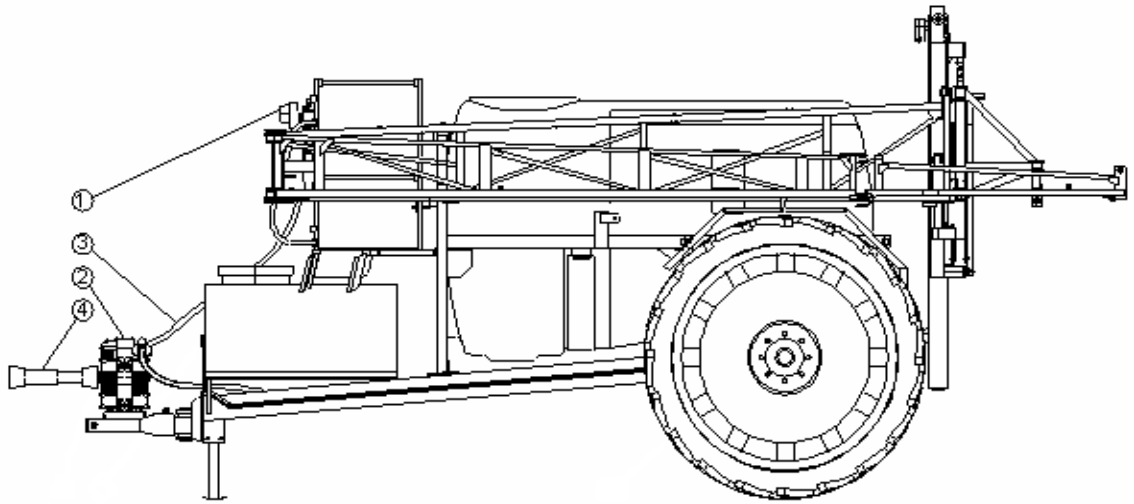
Основні переваги обприскувача включають гідрофіковані штанги, які забезпечують точне і рівномірне розпилення, крайні секції обладнані беззупинним захистом від перешкод, автономна гідросистема, здатна працювати незалежно від трактора, регулювання положення штанги по висоті, поршневий насос з керамічними гільзами, що забезпечує надійність та довговічність, шестиступінчаста система фільтрації рідини для забезпечення чистоти робочої суміші. Також має прилад для самозаправки, безступінчате регулювання колії, револьверний форсунок-міксер для приготування робочого розчину та миття тари, а також можливість установки пінного маркеру для кращої візуалізації оброблюваних ділянок [7, 8, 13, 16].

2.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи бакалавра

Оригінальна конструкція напівпричіпного штангового обприскувача ОПШ-3500 мала декілька значних недоліків, які обмежували його ефективність та надійність в експлуатації. Одним із основних недоліків було використання масивної причіпної скоби для з'єднання з трактором, що було не лише складно у виготовленні, але й недостатньо багатофункціональне під час експлуатації. Це обмежувало гнучкість використання обприскувача, а також підвищувало витрати на його обслуговування.

Другою проблемою було кріплення насоса безпосередньо на рамі обприскувача, що вимагало використання довгого карданного валу. Таке розташування часто призводило до викривлення вала та пошкодження корпусу насоса, особливо при помилковому невимкненні ВВП трактора під час розворотів чи інших маневрів, коли кут зламу карданного валу ставав критичним. Це не лише знижувало надійність машини, але й збільшувало ризик аварійних ситуацій.

Відповідно до нової конструкції, причіпна скоба була перероблена так, що насос тепер монтується безпосередньо на ній. Це рішення дозволяє утримувати карданний вал під постійним кутом до вала відбору потужності трактора, незалежно від положення рами, зменшуючи таким чином ризики пошкодження вала і насоса та збільшуючи загальну надійність конструкції. Окрім того, це забезпечує більш стабільну роботу насоса, знижуючи витрати палива і загальне навантаження на двигун трактора.



1 – пульт керування; 2 – насос; 3 – рукав; 4 – карданна передача
 Рисунок 1.10 – Загальний вигляд обприскувача напівпричіпного штангового
 ОПШ – 3500

Ці зміни в конструкції вимагають детального розрахунку міцності нових конструкційних елементів, а також проведення експериментальних випробувань для підтвердження розрахункових даних. Це важливо для забезпечення безпеки, довговічності та ефективності машини в умовах інтенсивного використання.

2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЧІПНОГО ОБПРИСКУВАЧА

2.1 Визначення номінальної дотичної сили тяги трактора

Ми визначимо номінальну дотичну силу тяги трактора для передач від 1 до 9 згідно джерела [9, 10, 12]. Використовуючи технічні характеристики трактора, зазначені в таблиці 2.1, ми можемо встановити передаточні числа трансмісії для кожної передачі, а також номінальну потужність двигуна та номінальну частоту обертання колінчастого вала, що є критичними параметрами для аналізу тягових зусиль трактора.

Трактор МТЗ-100 є потужним аграрним механізмом, оснащеним двигуном з номінальною потужністю 77,2 кВт (105 к.с.) та частотою обертання колінчастого вала 2200 об/хв ($36,7 \text{ c}^{-1}$). Ця модель має експлуатаційну масу 4200 кг, що відповідає 41,1 кН, та додатково може бути оснащена водою в шинах та тягарами з вагою до 560 кг, що забезпечує додаткову стабілізацію при роботі на важких ґрунтах.

Трактор має довжину 4,12 м, ширину 1,97 м, висоту 2,79 м та може здійснювати маневри з мінімальним радіусом повороту лише 4,1 метра, що робить його ідеальним для роботи у вузьких просторах. Поздовжня база трактора становить 2,5 м, а ширина колії може варіюватись від 1,3 м до 2,1 м, що забезпечує високу стабільність на різноманітних поверхнях.

Трансмісія трактора має кілька передаточних чисел, що змінюються в залежності від передачі, починаючи від 350,6 до 1456,5 на першій передачі та знижуючись до 208,0/502,5 на п'ятій. Це дає можливість ефективно використовувати двигун у різних робочих умовах. Також, трактор обладнаний двома до чотирьох пар циліндричних шестерень та однією парою конічних шестерень у зчепленні, що забезпечує надійне передавання потужності до коліс.

Номінальну дотичну силу тяги $P_{\text{дн}}$ у кілоньютонах (кН), що діє на ободі ведучого колеса трактора, розраховують для кожної вибраної передачі. Цей показник визначається за спеціальною формулою, яка враховує ряд критичних параметрів, таких як передаточне число трансмісії, крутний момент двигуна та радіус колеса. Використання даної формули дозволяє точно оцінити тягові можливості трактора при різних умовах роботи, що є ключовим для ефективного виконання задач на сільськогосподарських або будівельних ділянках. Цей розрахунок допомагає визначити оптимальну передачу для забезпечення максимальної продуктивності трактора без перевантаження двигуна.

$$P_{\text{дн}} = \frac{10 N_{\text{ен}} i_T \eta_{\text{мз}}}{n_n r_k}, \quad (2.1)$$

де $N_{\text{ен}}$ – номінальна потужність двигуна, $N_{\text{ен}} = 77,2 \text{ кВт}$;

i_T – передаточне число трансмісії: $i_1=350,6$; $i_2=284,5$; $i_3=233,8$; $i_4=193,9$; $i_5=208$; $i_6=168,9$; $i_7=140$; $i_8=115$; $i_9=120,8$;

$\eta_{\text{мз}}$ – механічний ККД трансмісії (для колісних тракторів $\eta_{\text{мз}} = 0,78-0,92$) приймаємо $\eta_{\text{мз}} = 0,8$;

n_n – номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна, $n_n=2200 \text{ хв}^{-1}$;

r_k – радіус кочення ведучого колеса (зірочки) трактора для колісних тракторів на пневматичних шинах

$$r_k = r_{\text{пк}} + k_{\text{ш}} h_{\text{ш}} \quad (2.2)$$

де $r_{\text{пк}}$ – радіус посадочного кола сталевго обода колеса, $r_{\text{пк}}=0,483 \text{ м}$;

$k_{\text{ш}}$ – коефіцієнт усадки пневматичних шин низького тиску: на зораному полі – 0,80;

$h_{\text{ш}}$ – висота поперечного профілю шини, $h_{\text{ш}}=0,305 \text{ м}$.

Тоді

$$r_k = 0,483 + 0,8 \cdot 0,305 = 0,727 \text{ м}.$$

Тоді номінальна дотична сила тяги на кожній передачі буде

$$P_{\partial n1} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 350,6 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 135,4 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n2} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 284,5 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 109,9 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n3} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 233,8 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 90,3 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n4} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 193,9 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 74,9 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n5} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 208 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 80,3 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n6} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 168,9 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 65,2 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n7} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 140 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 54,1 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n8} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 115 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 44,4 \text{ кН};$$

$$P_{\partial n9} = \frac{10 \cdot 77,2 \cdot 120,8 \cdot 0,8}{2200 \cdot 0,727} = 46,7 \text{ кН}.$$

2.2 Визначення максимальної зчіпної сили для агрегування обприскувача

Максимальну силу зчеплення $P_{зч}$ у кілоньютонах (кН) ведучого механізму, або рушія, трактора визначають за допомогою спеціалізованої

формули, яка інтегрує важливі технічні параметри. Ця формула може включати такі змінні, як коефіцієнт тертя між шинами трактора та поверхнею, вагу трактора, а також використовувану передачу. Розрахунок максимальної сили зчеплення дозволяє оптимізувати роботу трактора, забезпечуючи максимальну тягову ефективність при мінімальних затратах енергії та зносі обладнання. Використання цього показника критично для планування сільськогосподарських робіт, особливо при роботі на складних або слизьких поверхнях, де ефективне зчеплення відіграє ключову роль у запобіганні пробуксовці [14, 15, 22].

$$P_{зч} = \mu \cdot G_{зв} \quad (2.3)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення ведучого механізму з ґрунтом для стерні нормальної вологості, приймаємо $\mu = 0,8$;

$G_{зв}$ – зчіпна вага трактора з усіма ведучими колесами дорівнює їхній експлуатаційній вазі. Для колісних тракторів з однією ведучою віссю

$$G_{зв} \approx (2/3)G \quad (2.4)$$

де G – експлуатаційна вага трактора, $G=41,1$ кН.

Тоді

$$G_{зв} \approx (2/3) \cdot 41,1 = 27,4 \text{ кН}.$$

Тоді максимальна сила зчеплення $P_{зч}$ (кН) ведучого механізму буде

$$P_{зч} = 0,8 \cdot 27,4 = 21,92 \text{ кН}.$$

Рушійну силу $P_{руш}$ знаходять порівнянням числових значень $P_{дн}$ та $P_{зч}$. Вона дорівнює меншій з них.

При $P_{\partial n} < P_{зч}$ зчеплення достатнє й $P_{руш} = P_{зч}$. Якщо $P_{\partial n} > P_{зч}$, то зчеплення недостатнє і $P_{руш} = P_{зч}$. У першому випадку $P_{\partial n}$ може бути повністю використана для тягової роботи, а в іншому – тільки частина її, що дорівнює $P_{зч}$. Так, як зчеплення недостатнє, то $P_{руш}$ для всіх передач буде 21,92 кН.

Частина дотичної сили тяги $P_{нзч}$ (кН), яка не може бути використана при недостатньому зчепленні рушіїв трактора з ґрунтом, становить [29]

$$P_{нзч} = P_{\partial n} - P_{зч} \quad (2.5)$$

Тоді

$$P_{узч1} = 135,4 - 21,92 = 113,5 \text{ кН};$$

$$P_{узч2} = 109,9 - 21,92 = 88 \text{ кН};$$

$$P_{узч3} = 90,3 - 21,92 = 68,4 \text{ кН};$$

$$P_{узч4} = 74,9 - 21,92 = 53 \text{ кН};$$

$$P_{узч5} = 80,3 - 21,92 = 58,4 \text{ кН};$$

$$P_{узч6} = 65,2 - 21,92 = 43,3 \text{ кН};$$

$$P_{узч7} = 54,1 - 21,92 = 32,2 \text{ кН};$$

$$P_{узч8} = 44,4 - 21,92 = 22,5 \text{ кН};$$

$$P_{узч9} = 46,7 - 21,92 = 24,8 \text{ кН}.$$

2.3 Визначення опору перекочуванню трактора

Опір пересуванню P_f (кН) трактора дорівнює [19]

$$P_f = fG, \quad (2.6)$$

де f – коефіцієнт опору коченню трактора, $f=0,08$.

Тоді

$$P_f = 0,08 \cdot 41,1 = 3,3 \text{ кН}.$$

Опір руху трактора на підйом P_a (кН) визначають за формулою

$$P_a = \pm iG \quad (2.7)$$

де i - нахил місцевості в сотих частках одиниці, приймаємо $i=0,03$.

Тоді

$$P_a = 0,03 \cdot 41,1 = 1,23 \text{ кН}.$$

У формулі, що використовується для розрахунку тягового зусилля трактора, знак плюс застосовується при русі трактора на підйом, тоді як знак мінус використовується при спуску. Тягове зусилля трактора у кілоньютонках (кН) на кожній з передач визначається за допомогою цієї формули, що дозволяє точно обчислити силу, необхідну для переміщення робочої машини в різних робочих умовах.

Ця формула враховує такі параметри, як кут нахилу поверхні, на якій рухається трактор, його масу, а також властивості та стан дорожнього покриття, що мають значний вплив на тягову ефективність. Розуміння і правильне використання цього розрахунку дозволяє оптимізувати використання трактора,

забезпечуючи ефективне виконання різноманітних задач, від оранки до транспортування вантажів, з мінімальними втратами потужності і підвищеною продуктивністю [6, 11, 17].

$$P_T = P_{руш} - P_f \pm P_a \quad (2.8)$$

Тоді

$$P_{T1,2,3,4,5,6,7,8,9} = 21,92 - 3,3 + 1,23 = 19,9 \text{кН}.$$

2.4 Визначення швидкості руху трактора

Поряд із тяговим зусиллям, яке є критичною енергетичною характеристикою трактора, велике значення має також швидкість його руху. Існують два основних види швидкостей: теоретична та робоча. Теоретична швидкість руху, яка вимірюється в кілометрах за годину, розраховується за формулою, що включає діаметр коліс, передаточне число трансмісії, та частоту обертання двигуна. Цей розрахунок дозволяє встановити максимальну потенційну швидкість, яку трактор може досягнути на різних передачах в ідеальних умовах.

Робоча швидкість, в свою чергу, враховує реальні умови експлуатації, такі як стан дорожнього покриття, тип та вологість ґрунту, наявність схилів, та загальне навантаження на трактор. Вона часто відрізняється від теоретичної, оскільки в реальних умовах різні зовнішні фактори можуть значно впливати на швидкісні показники. Важливо розуміти обидва ці показники для адекватного планування роботи та максимізації продуктивності трактора, що дозволить ефективно виконувати заплановані агротехнічні чи транспортні операції.

Робоча швидкість трактора часто відрізняється від теоретичної через вплив реальних умов експлуатації. Вона залежить від таких факторів, як якість дорожнього покриття, тип і властивості ґрунту, навантаження на трактор, а також від кліматичних умов і наявності перешкод на маршруті. Ці зовнішні умови можуть суттєво вплинути на швидкість та ефективність тракторних робіт.

Знання різниці між теоретичною та робочою швидкостями є важливим для планування та проведення агротехнічних робіт. Це дозволяє адаптувати робочі процеси до конкретних умов, оптимізуючи тим самим використання трактора та забезпечуючи його максимальну продуктивність. Розуміння цих параметрів допомагає агрономам і машиністам правильно налаштовувати обладнання, обирати оптимальні швидкості для виконання різних задач, що в кінцевому результаті знижує витрати на паливо та знос обладнання, а також підвищує загальну ефективність роботи.

$$g_T = 0,377 \frac{n_n r_k}{i_m} \quad (2.9)$$

Тоді

$$g_{T1} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{350,6} = 1,7 \text{ км/год};$$

$$g_{T2} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{284,5} = 2,1 \text{ км/год};$$

$$g_{T3} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{233,8} = 2,6 \text{ км/год};$$

$$g_{T4} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{193,9} = 3,1 \text{ км/год};$$

$$g_{T5} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{208} = 2,9 \text{ км/год};$$

$$g_{T6} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{168,9} = 3,6 \text{ км/год}$$

$$g_{T7} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{140} = 4,3 \text{ км/год};$$

$$g_{T8} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{115} = 5,2 \text{ км/год};$$

$$g_{T9} = 0,377 \frac{2200 \cdot 0,727}{120,8} = 5 \text{ км/год}.$$

Робочу швидкість v_p (км/год.) на всіх передачах обчислюють за формулою

$$g_p = 0,377 \frac{n_d r_k}{i_m} \left(1 - \frac{\delta}{100}\right), \quad (2.10)$$

де n_d – фактична частота обертання колінчастого вала двигуна, при недостатньому зчепленні рівна на кожній передачі

$$n_d = n_n + (n_{xx} - n_n) \frac{P_{\partial n} - P_{зч}}{P_{\partial n}}, \quad (2.11)$$

де n_{xx} – максимальна частота обертання колінчастого вала на холостому ході двигуна, $n_{xx} = 2300 \text{ хв}^{-1}$.

Тоді

$$n_{d1} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{135,4 - 21,92}{135,4} = 1928 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{d2} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{109,9 - 21,92}{109,9} = 1841 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{d3} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{90,3 - 21,92}{90,3} = 1742 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{d4} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{74,9 - 21,92}{74,9} = 1627 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{05} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{80,3 - 21,92}{80,3} = 1672 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{06} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{65,2 - 21,92}{65,2} = 1527 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{07} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{54,1 - 21,92}{54,1} = 1368 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{08} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{44,4 - 21,92}{44,4} = 1165 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{09} = 2200 + (2300 - 2200) \frac{46,7 - 21,92}{46,7} = 1220 \text{ хв}^{-1}.$$

δ – буксування ведучого механізму, %.

Для аналізу буксування трактора МТЗ-100 використовується таблиця 2.1, яка містить тягові характеристики даної моделі. За допомогою цієї інформації будується графік, який дозволяє візуально оцінити залежність між тяговим зусиллям і потенційним буксуванням на конкретній передачі при праці на заданому агрофоні.

Графік допомагає виявити критичні точки, де ризик буксування є найбільшим, та адаптувати режим роботи трактора, щоб мінімізувати цей ризик. На основі отриманих даних можна коригувати вибір передачі, регулювати навантаження на ведучі колеса та за необхідності змінювати робочі параметри, такі як швидкість руху чи глибину обробітку ґрунту, щоб оптимізувати тягову ефективність та зменшити буксування.

Такий підхід забезпечує більш ефективне та безпечне використання агротехніки, підвищуючи продуктивність робіт і знижуючи знос обладнання, що є особливо важливим при виконанні складних агротехнічних задач.

Таблиця 2.1 – Тягові показники трактора МТЗ-100

Режим експлуатації	Показник	Робота на стерні на передачах			
		17	18	19	20
1	2	3	4	5	6
При $P_T = 0$	v_p , км/год	К.Х	10,8	13,1	15,9
	n , хв ⁻¹	2310	2305	2300	2295
	G_n , кг/год	6,0	6,5	6,9	8,0
При $N_T = 0,8N_{T\max}$	N_T , кВт	31,6	35,6	38,0	36,8
	P_T , кН	14,0	13,1	11,3	8,9
	v_p , км/год	8,1	9,8	12,1	14,9
	δ , %	9,5	9,0	8,0	5,0
	G_n , кг/год	9,5	11,1	13,8	14,8
При $N_T = 0,9N_{T\max}$	N_T , кВт	35,5	40,0	42,8	40,4
	P_T , кН	17,2	15,7	13,7	10,4
	v_p , км/год	7,45	9,15	11,2	14,0
	δ , %	11,0	10,0	9,0	6,0
	G_n , кг/год	П,1	12,5	15,2	16,0
При $N_T = N_{T\max}$	N_T , кВт	39,5	44,5	47,6	46,0
	P_T , кН	20,5	19,5	16,5	12,6
	v_{pn} , км/год	6,95	8,2	10,3	13,1
	δ , %	15,0	12,0	10,0	8,0
	G_n , кг/год	2260	2200	2125	2100
	n , хв ⁻¹	13,6	16,9	16,3	16,1
При $P_{T\max}$	N_T , кВт	34,5	43,0	45,0	41,0
	$P_{T\max}$, кН	23,5	22,0	20,0	15,0
	v_p , км/год	5,3	7,0	8,1	9,85
	δ , %	2200	2000	1690	1550
	G_n , кг/год	32,0	20,0	15,0	10,0
	n , хв ⁻¹	16,2	16,0	15,1	14,9

Будуємо графік $\delta = f(P_T)$ (рис.2.10).

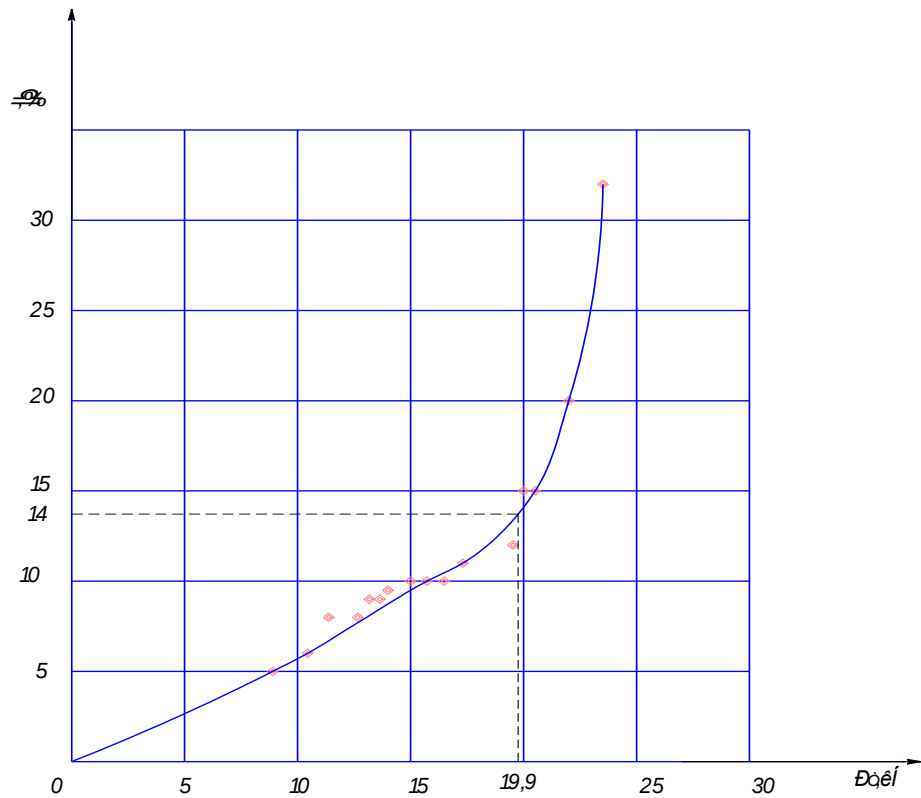


Рисунок 2.1 – Зміна буксування трактора МТЗ-100 залежно від сили тяги

Згідно графіка, буксування трактора становить 14%.

Тоді робоча швидкість v_p (км/год.) на всіх передачах буде

$$g_{p1} = 0,377 \frac{1928 \cdot 0,727}{350,6} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 1,3 \text{ км/год};$$

$$g_{p2} = 0,377 \frac{1841 \cdot 0,727}{284,5} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 1,5 \text{ км/год};$$

$$g_{p3} = 0,377 \frac{1742 \cdot 0,727}{233,8} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 1,8 \text{ км/год};$$

$$g_{p4} = 0,377 \frac{1627 \cdot 0,727}{193,9} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 2,9 \text{ км/год};$$

$$g_{p5} = 0,377 \frac{1672 \cdot 0,727}{208} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 1,9 \text{ км/год};$$

$$g_{p6} = 0,377 \frac{1527 \cdot 0,727}{168,9} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 2,1 \text{ км/год};$$

$$g_{p7} = 0,377 \frac{1368 \cdot 0,727}{140} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 2,3 \text{ км/год};$$

$$g_{p8} = 0,377 \frac{1165 \cdot 0,727}{115} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 2,4 \text{ км/год};$$

$$g_{p9} = 0,377 \frac{1220 \cdot 0,727}{120,8} \left(1 - \frac{14}{100}\right) = 2,4 \text{ км/год}.$$

Тягова потужність N_T (кВт) дорівнює

$$N_T = P_T g_p / 3,6. \quad (2.12)$$

Тоді на всіх передачах буде

$$N_{T1} = 19,9 \cdot 1,3 / 3,6 = 7,2 \text{ кВт};$$

$$N_{T2} = 19,9 \cdot 1,5 / 3,6 = 8,3 \text{ кВт};$$

$$N_{T3} = 19,9 \cdot 1,8 / 3,6 = 9,95 \text{ кВт};$$

$$N_{T4} = 19,9 \cdot 2 / 3,6 = 11 \text{ кВт};$$

$$N_{T5} = 19,9 \cdot 1,9 / 3,6 = 10,5 \text{ кВт};$$

$$N_{T6} = 19,9 \cdot 2,1 / 3,6 = 11,6 \text{ кВт};$$

$$N_{T7} = 19,9 \cdot 2,3 / 3,6 = 12,7 \text{ кВт};$$

$$N_{T8} = 19,9 \cdot 2,4 / 3,6 = 13,3 \text{ кВт};$$

$$N_{T9} = 19,9 \cdot 2,4 / 3,6 = 13,3 \text{ кВт}.$$

Таким чином було отримано основні експлуатаційні характеристики вибраного енергетичного засобу.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1. Визначення навантаження на причіп

Вихідним параметром при розрахунку причепа є сила на перекочування обприскувача ОПШ-3500, яка визначається за формулою [1, 20]

$$F_{пер} = f \cdot G_m \cdot k_d, \quad (3.1)$$

де f – коефіцієнт, $f = 0,1 \div 0,15$, приймаємо $f = 0,12$;

G_i – вага машини, $G_m = 53500 \text{ Н} = 53,5 \text{ кН}$;

k_d – коефіцієнт динамічності у вертикальній площині по осі коліс за рекомендацією [31] при значних перевантаженнях приймаємо, $k_d = 6$.

Тоді

$$F_{пер} = 0,12 \cdot 53,5 \cdot 6 = 38,52 \text{ кН}.$$

Розглянемо інше можливе навантаження в повздовжньому напрямку, яке можливе при агрегуванні.

Коли обприскувач ОПШ-3500 разом з трактором МТЗ-100, рушаючи з місця наїде на перешкоду виникне раптове перевантаження, тоді зусилля на перекочування обприскувача через неї буде рівне гаковому зусиллю $P_{гак} = 18 \text{ кН}$ на 1 передачі при швидкості на зрушення $v = 3 \text{ км/год}$.

Для випадку раптового перевантаження використовуємо коефіцієнт перевантаження [1] $k = 3$. Тоді зусилля буде

$$P_{гак} = 18 \cdot 3 = 54 \text{ кН}.$$

Так , як $P_{зак} = 54кН > F_{пер} = 38,52кН$, то причеп при такому перевантажуванні не повинен вийти з ладу. Тому в розрахунках далі будемо використовувати максимальне зусилля $F = 54кН$.

3.2 Розрахунок на міцність несучого елемента причепа

Розраховуємо деталь причепу - перехідник на розтяг [20] :

- розбиваємо його на ділянки у відповідності до перетинів (рис.3.1);
- визначаємо необхідні площі поперечних перетинів ділянок за формулою

$$A_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}, \quad (3.2)$$

де d_i – діаметр на кожній розглядуваній ділянці, мм.

Тоді площа першої ділянки

$$A_1 = \frac{3,14 \cdot 60^2}{4} = 2827 \text{ мм}^2;$$

Площа другої ділянки

$$A_2 = \frac{3,14 \cdot 80^2}{4} = 5027 \text{ мм}^2;$$

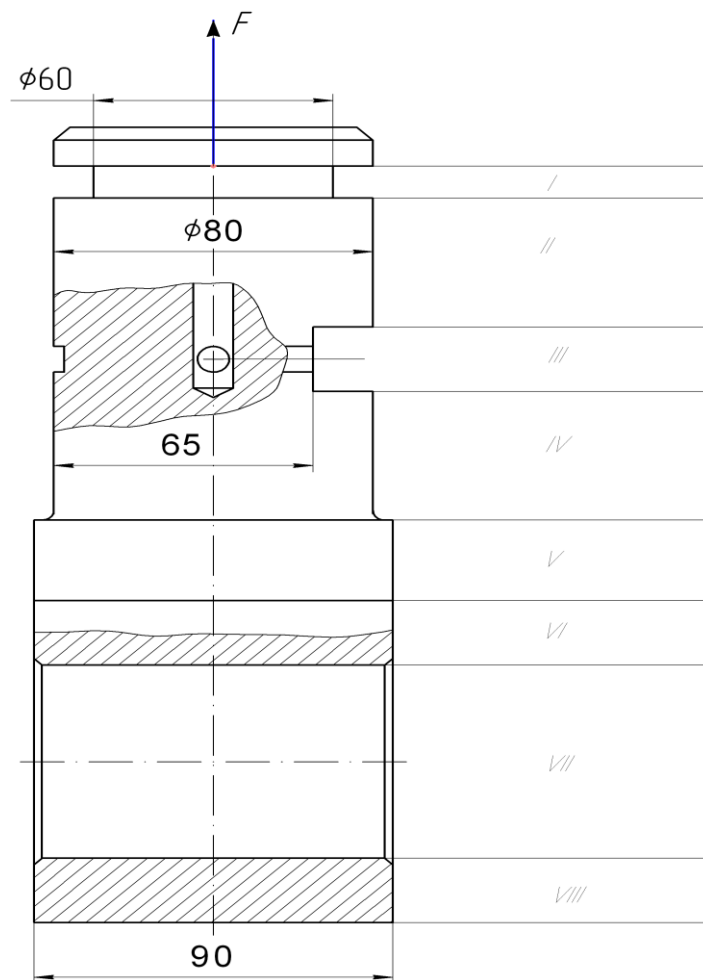


Рисунок 3.1 – Перехідник розбитий на ділянки

Площа третьої ділянки за усередненим діаметром

$$A_3 = \frac{3,14 \cdot 65^2}{4} = 3318 \text{ мм}^2;$$

Площа четвертої ділянки

$$A_4 = \frac{3,14 \cdot 80^2}{4} = 5027 \text{ мм}^2;$$

Площа п'ятої ділянки

$$A_5 = \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} - A_s = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} - 294 = 7560 \text{ мм}^2,$$

де A_s – площа зрізаних сегментів, $A_s = 294 \text{ мм}^2$, рис. 3.2

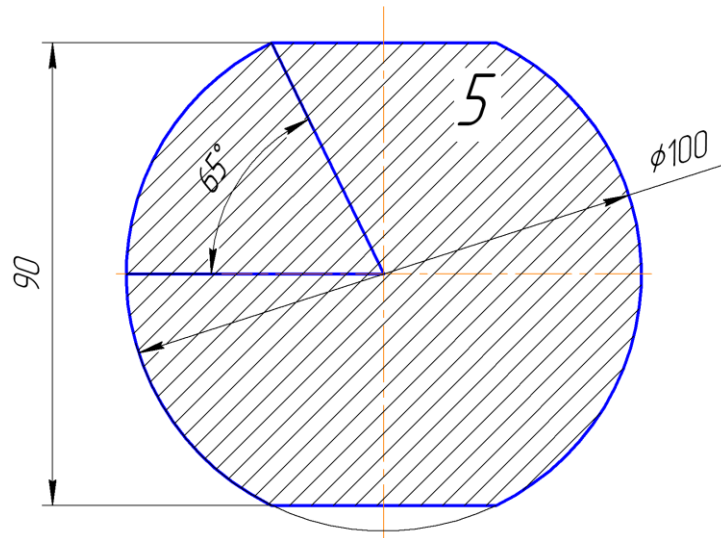


Рисунок 3.2 – Площа поперечного перетину вала на 5-й ділянці

На шостій ділянці (рис.3.3)

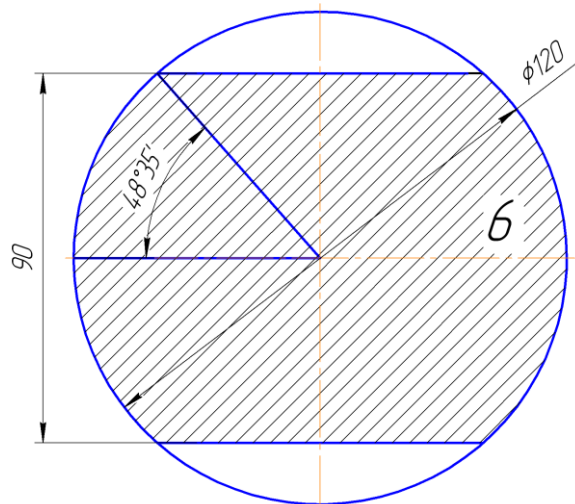


Рисунок 3.3 – Площа поперечного перетину вала на 6-й ділянці

$$A_6 = \frac{\pi \cdot d_6^2}{4} - A_{s6} = \frac{3,14 \cdot 120^2}{4} - 1629 = 9681 \text{ мм}^2, \quad (3.3)$$

де A_{s6} – площа сегментів на 6-й ділянці, $A_{s6} = 1629 \text{ мм}^2$.

Площа сьомої ділянки, рис.3.4

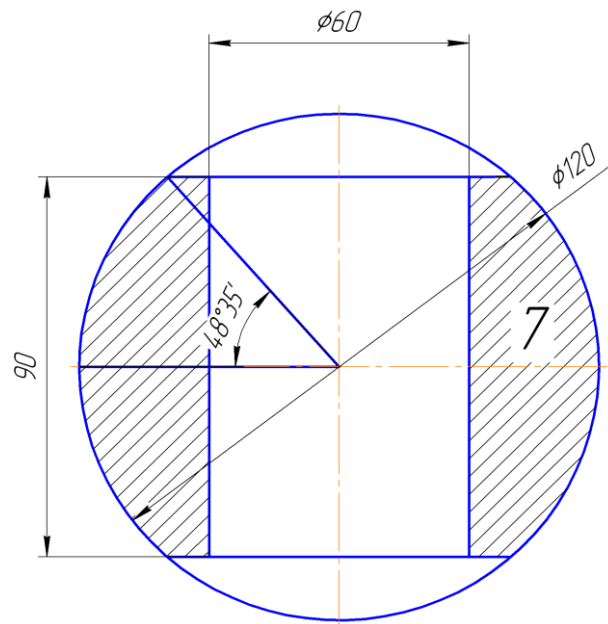


Рисунок 3.4 – Площа поперечного перетину вала на 6-й ділянці

$$A_7 = \frac{\pi \cdot d_7^2}{4} - A_{s7} - A_{p7} = \frac{3,14 \cdot 120^2}{4} - 1629 - 90 \cdot 60 = 4281 \text{ мм}^2, \quad (3.4)$$

A_{s7} – площа сегментів на 7-й ділянці, $A_{s7} = 1629 \text{ мм}^2$;

A_{p7} – площа прямокутника – отвору, $A_{p7} = 90 \cdot 60 = 5400 \text{ мм}^2$.

Площа восьмої ділянки

$$A_8 = A_6 = 9681 \text{ мм}^2.$$

Дана ділянка в процесі розтягу участі не бере.

– визначаємо напруження розтягу на кожній ділянці перехідника за формулою [20]

$$\sigma_{ip} = \frac{F}{A_i}, \quad (3.5)$$

де F – максимальне зусилля, $F = 54 \text{ кН}$;

A_i – площа поперечних перетинів ділянок, мм^2 .

Тоді на першій ділянці

$$\sigma_{1p} = \frac{54 \cdot 10^3}{2827} = 19,1 \text{ МПа};$$

На другій ділянці

$$\sigma_{2p} = \frac{54 \cdot 10^3}{5027} = 10,8 \text{ МПа};$$

На третій ділянці у зв'язку з концентрацією навантаження для зменшення напруження використовуємо коефіцієнт зниження напруження $k = 0,8$, тоді

$$\sigma_{3p} = \frac{54 \cdot 10^3}{3318 \cdot 0,8} = 20,3 \text{ МПа};$$

На четвертій ділянці

$$\sigma_{4p} = \frac{54 \cdot 10^3}{5027} = 10,8 \text{ МПа};$$

На п'ятій ділянці

$$\sigma_{5p} = \frac{54 \cdot 10^3}{7560} = 7,1 \text{ МПа};$$

На шостій ділянці

$$\sigma_{6p} = \frac{54 \cdot 10^3}{9681} = 5,6 \text{ МПа};$$

На сьомій ділянці

$$\sigma_{7p} = \frac{54 \cdot 10^3}{4279} = 12.6 \text{ МПа};$$

Висновок: отже, найбільше навантаження при розтягу буде на 1-й та 3-й ділянках так, як $\sigma_{1p} = 19,1 \text{ МПа}$, $\sigma_{3p} = 20.3 \text{ МПа}$.

Розраховуємо перехідник з врахуванням внутрішніх силових факторів при прямому поперечному згині :

– визначаємо силу, яка діє на сергу трактора і причепу, враховуючи центри ваги обприскувача ОПШ-3500 (рис.3.5).

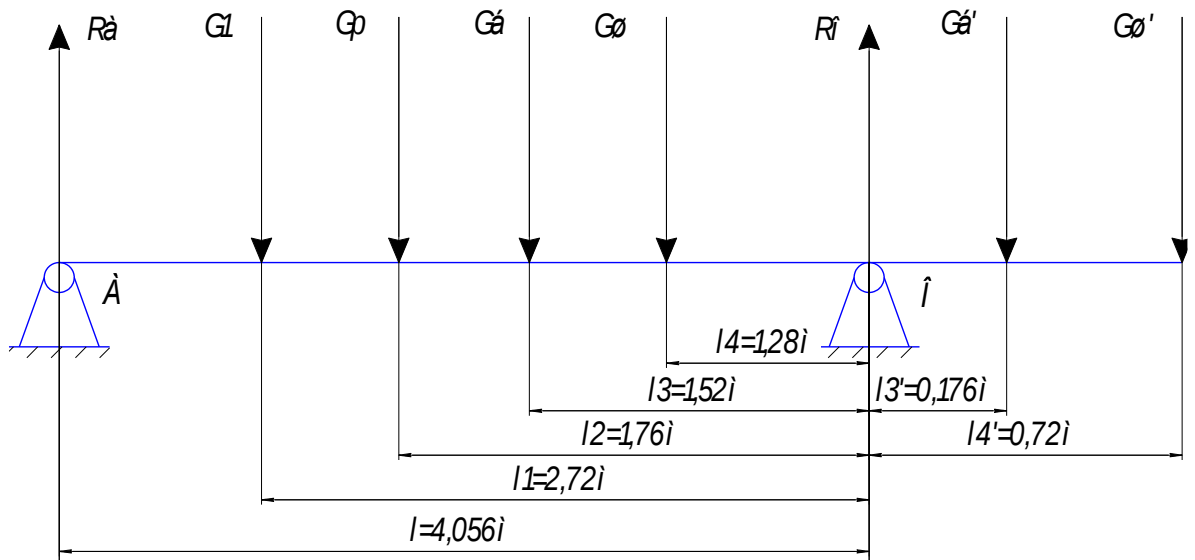


Рисунок 3.5 – Сили, що діють на обприскувач і на сергу

Складаємо рівняння моментів

$$\Sigma Mo = 0; \quad (3.6)$$

$$R_a \cdot l - G_1 \cdot l_1 - G_p \cdot l_2 - G_o \cdot l_3 - G_u \cdot l_4 + G_o' \cdot l_3' + G_u' \cdot l_4' = 0;$$

$$\Sigma M_a = 0; \quad (3.7)$$

$$R_0 \cdot l - G_a' \cdot (l_3' + l) - G_{\emptyset}' \cdot (l_4' + l) - G_{\emptyset} \cdot (l - l_4) - G_a \cdot (l - l_3) - G_p \cdot (l - l_2) - G_1 \cdot (l - l_1) = 0.$$

Тоді

$$R_a = \frac{G_1 \cdot l_1 + G_p \cdot l_2 + G_{\emptyset} \cdot l_3 + G_{\emptyset}' \cdot l_4 - G_{\emptyset}' \cdot l_3' - G_{\emptyset}' \cdot l_4'}{l}; \quad (3.8)$$

$$R_0 = \frac{G_{\emptyset}' \cdot (l_3' + l) + G_{\emptyset}' \cdot (l_4' + l) + G_{\emptyset} \cdot (l - l_4) + G_a \cdot (l - l_3) + G_p \cdot (l - l_2) + G_1 \cdot (l - l_1)}{l}, \quad (3.9)$$

де R_a – сила, яка діє на сергу причепа;

R_0 – сила, яка діє на обприскувач;

G_1 – сила ваги ємкості для води, $G_1 = 2 \text{ кН}$;

G_p – сила ваги рами, $G_p = 5,5 \text{ кН}$;

$G_{\emptyset}$ – сила ваги баку до точки О, $G_{\emptyset} = 10 \text{ кН}$;

$G_{\emptyset}'$ – сила ваги штанги до точки О, $G_{\emptyset}' = 2 \text{ кН}$;

$G_{\emptyset}'$ – сила ваги баку після точки О, $G_{\emptyset}' = 30 \text{ кН}$;

$G_{\emptyset}'$ – сила ваги штанги після точки О, $G_{\emptyset}' = 4 \text{ кН}$;

l – відстань від сили, яка діє на сергу до точки О, $l = 4,056 \text{ м}$;

l_1 – відстань від сили ваги ємкості для води до точки О, $l_1 = 2,72 \text{ м}$;

l_2 – відстань від сили ваги рами до точки О, $l_2 = 1,76 \text{ м}$;

l_3 – відстань від сили ваги баку до точки О, $l_3 = 1,52 \text{ м}$;

l_4 – відстань від сили ваги штанги до точки О, $l_4 = 1,28 \text{ м}$;

l_3' – відстань від сили ваги баку після точки О, $l_3' = 0,176 \text{ м}$;

l_4' – відстань від сили ваги штанги після точки О, $l_4' = 0,72 \text{ м}$.

Тоді

$$R_a = \frac{2 \cdot 2,72 + 5,5 \cdot 1,76 + 10 \cdot 1,52 + 2 \cdot 1,28 - 30 \cdot 0,176 - 4 \cdot 0,72}{4,056} = 6,09 \text{ кН};$$

$$R_0 = \frac{30 \cdot (0,176 + 4,056) + 4 \cdot (0,72 + 4,056) + 2 \cdot (4,056 - 1,28) + 10 \cdot (4,056 - 1,52)}{4,056} + \\ + \frac{5,5 \cdot (4,056 - 1,76) + 2 \cdot (4,056 - 2,72)}{4,056} = 47,41 \text{ кН}.$$

Перевіряємо правильність визначення опорних реакцій

$$\Sigma Y = R_a - G_1 - G_p - G_{\bar{o}} - G_{\text{ш}} + R_0 - G_{\bar{o}}' - G_{\text{ш}}' = 0; \quad (3.10)$$

Тоді

$$6,09 - 2 - 5,5 - 10 - 2 + 47,41 - 30 - 4 = 0,$$

тобто, розрахунок виконаний вірно.

– визначаємо максимальний згинальний момент, який діє на перехідник (рис.3.6). Записуємо загальні вирази згинальних моментів для цієї ділянки. Враховуючи в розрахунках коефіцієнт динамічності, який ми приймаємо в першому наближенні $K_o = 1$ (його значення буде уточнятися) сила, яка діє на сергу причепа буде рівна

Визначаємо значення згинальних моментів на границях ділянки [31]

$$R_a = 6,09 \cdot 1 = 6,09 \text{ кН}.$$

$$M(x) = R_a \cdot x = 6.09x;$$

$$M(x=0) = 0;$$

$$M(x=0.59) = 6.09 \cdot 0.59 = 3.6 \text{ кНм}.$$

– за отриманими результатами будемо епюру згинальних моментів на несучому елементі причепа (рис. 3.6).

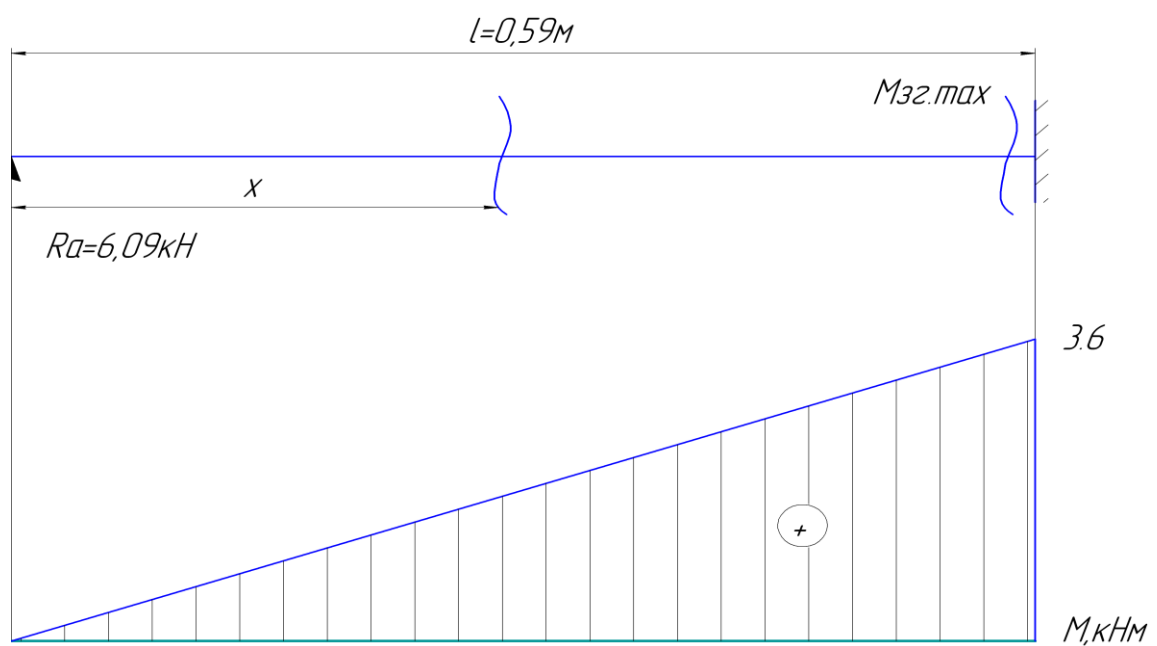


Рисунок 3.6 – Еп'юра згинальних моментів

Величина максимального згинального моменту рівна

$$M_{зг.мах} = 3.6 \text{ кНм}.$$

– від дії згинального моменту виникає напруження, які визначають за формулою

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{M_{\text{зг}}^{\text{max}}}{W_0} \leq [\sigma]; \quad (3.11)$$

де $M_{\text{зг}}^{\text{max}}$ – максимальний згинальний момент;

$[\sigma]_{\text{зг}}$ – допустиме нормальне напруження для конструкційної сталі,
 $[\sigma]_{\text{зг}} = 160 \text{ МПа}$;

W_0 – осьовий момент опору для круглого перетину, який рівний [20]

$$W_{0i} = \frac{\pi \cdot d_i^3}{32}, \quad (3.12)$$

Визначаємо осьові моменти опору для кожної ділянки перехідника, за формулою (3.12).

На першій ділянці

$$W_1 = \frac{3,14 \cdot 60^3}{32} = 21206 \text{ мм}^3 = 0,021206 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

На другій ділянці

$$W_2 = \frac{3,14 \cdot 80^3}{32} = 50265 \text{ мм}^3 = 0,050265 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

На третій ділянці

$$W_3 = 0,8 \frac{3,14 \cdot 65^3}{32} = 21569 \text{ мм}^3 = 0,021569 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

На четвертій ділянці

$$W_4 = \frac{3,14 \cdot 80^3}{32} = 50240 \text{ мм}^3 = 0,050265 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

На п'ятій ділянці [13]

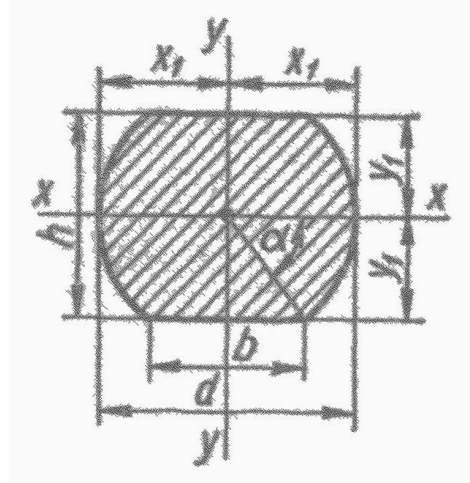


Рисунок 3.7 – До визначення моменту опору на 5-й і 6-й ділянках

$$W_5 = \frac{d_5^3}{16 \sin \alpha} \left(\alpha - \frac{\sin 4\alpha}{4} \right) = \frac{0,1^3}{16 \sin 65^\circ} \left(65^\circ \cdot \frac{3,14}{180} - \frac{\sin 4 \cdot 65^\circ}{4} \right) = 0,09519 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.13)$$

На шостій ділянці

$$W_6 = \frac{d_6^3}{16 \sin \alpha} \left(\alpha - \frac{\sin 4\alpha}{4} \right) = \frac{0,12^3}{16 \sin 48,5^\circ} \left(48,5^\circ \cdot \frac{3,14}{180} - \frac{\sin 4 \cdot 48,5^\circ}{4} \right) = 0,1307 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

На сьомій ділянці

$$W_7 = \frac{I_{x1} - I_{x2}}{h/2} = \frac{\frac{d_7^4}{32} \left(\alpha - \frac{\sin 4\alpha}{4} \right) - \frac{bh^3}{12}}{d/2} =$$

$$= \frac{\frac{0,12^4}{32} \left(48,5 - \frac{\sin 4 \cdot 48,5}{4} \right) - \frac{0,06 \cdot 0,09^3}{12}}{0,12 / 2} = 0,04957 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3.14)$$

Визначаємо напруження для кожної з ділянок, момент визначаємо із геометричної подібності відповідно до рис. 3.6

$$\sigma_{321} = \frac{2,41 \cdot 10^3}{0,021206 \cdot 10^{-3}} = 113 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{322} = \frac{2,653 \cdot 10^3}{0,050265 \cdot 10^{-3}} = 52,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{323} = \frac{2,777 \cdot 10^3}{0,021569 \cdot 10^{-3}} = 128,7 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{324} = \frac{3,02 \cdot 10^3}{0,050265 \cdot 10^{-3}} = 60,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{325} = \frac{3,173 \cdot 10^3}{0,09519 \cdot 10^{-3}} = 33,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{326} = \frac{3,295 \cdot 10^3}{0,1307 \cdot 10^{-3}} = 25,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{327} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{0,04957 \cdot 10^{-3}} = 72,6 \text{ МПа}.$$

Визначаємо еквівалентні напруження перехідника [20] за формулою

$$\sigma_{екв} = \sigma_p + \sigma_{32}, \quad (3.15)$$

де σ_p – напруження розтягу, МПа;

σ_{32} – напруження згину, МПа.

Визначаємо еквівалентне напруження для кожної з ділянок

$$\sigma_{екв1} = 19,1 + 113 = 132,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв2} = 10,8 + 52,8 = 63,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв3} = 20,3 + 128,7 = 149 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв4} = 10,8 + 60,1 = 70,9 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв5} = 7,1 + 33,3 = 40,4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв6} = 5,6 + 25,2 = 30,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{екв7} = 12,7 + 72,6 = 85,3 \text{ МПа}.$$

Отже, найбільш навантаженими залишаються 1-ша та 3-тя розрахункові ділянки перехідника, але їх напруження не перевищують допустимих, міцність забезпечена.

3.3 Розрахунок фіксуючої частини перехідника

Розраховуємо частину валу на зріз (рис. 3.8) [31].

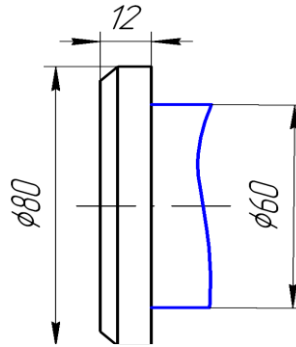


Рисунок 3.8 – Частина валу (перехідника)

Напруження зрізу визначаємо за формулою

$$\tau_{зр} = \frac{F}{A_{зр}}, \quad (3.16)$$

де F – максимальне зусилля, $F = 54 \text{ кН}$;

d – діаметр вала по площині зрізу, $d = 60 \text{ мм}$;

δ – товщина виступу, $\delta = 12 \text{ мм}$.

$$A_{зр} = \pi d \delta = 3.14 \cdot 60 \cdot 12 = 2260.8 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$\tau_{зр} = \frac{54 \cdot 10^3}{2260,8} = 23,9 \text{ МПа}.$$

Так, як допустимі напруження розтягу, наприклад для конструкційних сталей, можна прийняти $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$, тоді допустимі напруження зрізу будуть

$$[\tau_{зр}] = 0,6 \cdot [\sigma]_p = 0,6 \cdot 160 = 96 \text{ МПа}, \quad (3.17)$$

Перевіряємо умову міцності

$$\tau_{\text{сд}} \leq [\tau_{\text{сд}}], \quad (3.18)$$

Тоді

$$23,9 \text{ МПа} \leq 96 \text{ МПа}.$$

Так, як умова міцності виконується, то несуча частина вала витримує навантаження зрізу.

3.4 Розрахунок кріпильної вилки

Розраховуємо вухо на розтяг (рис. 3.9)

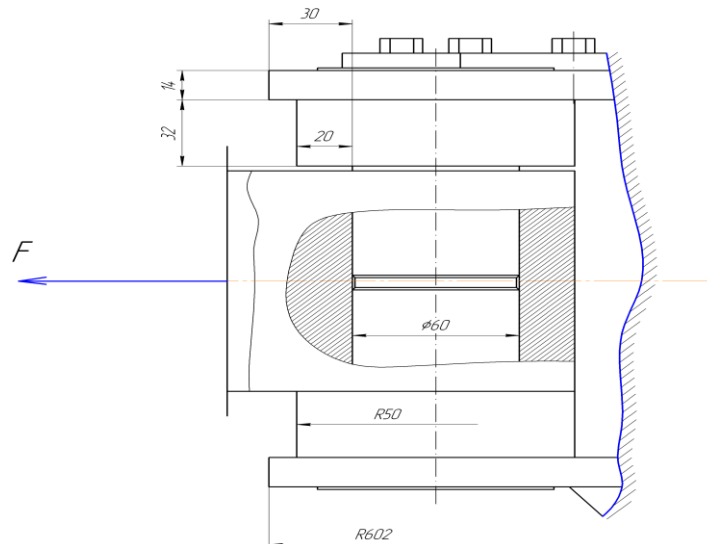


Рисунок 3.9 – Розрахункова схема вуха, яке сприймає навантаження розтягу

Напруження розтягу становитимуть

$$\sigma'_p = \frac{F}{A_B}, \quad (3.19)$$

де F – максимальне зусилля, $F = 54 \text{ кН}$;

A_B – площа поперечного перетину вуха, мм^2 ,

$$A_B = 4 \cdot 20 \cdot 32 + 4 \cdot 30 \cdot 14 = 4240 \text{ мм}^2.$$

Напруження розтягу

$$\sigma'_p = \frac{54000}{4240} = 12.7 \text{ МПа}.$$

Отже, вуха вилки мають достатню міцність.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Основні небезпеки, що виникають при роботі обприскувача

Штангові обприскувачі використовуються в сільському господарстві для рівномірного розпилення пестицидів, гербіцидів та інших речовин на полях. Цей тип машини складається з декількох важливих механічних компонентів, таких як штанги, насоси, карданні вали і причіпні пристрої. Однак, складність конструкції та її використання в суворих польових умовах можуть призвести до значних небезпек [21, 23].

Механічні недоліки, зокрема проблеми з карданними валами, часто є причиною аварійних ситуацій. Вони можуть викривлятися або навіть ламатися під час роботи, що викликає раптові зупинки обприскувача та потенційні аварії. Такі інциденти не тільки створюють ризики для машини і врожаю, але й загрожують фізичній безпеці оператора.

Проблеми з причіпними пристроями також є значною небезпекою. Якщо причіпна скоба неправильно закріплена або пошкоджена, це може призвести до від'єднання обприскувача від трактора. Це становить велику небезпеку, особливо при роботі на нерівних територіях або при великих швидкостях.

Крім того, неправильне використання обладнання може призвести до забруднення довкілля. Розпилення хімічних речовин має великий вплив на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси та біорізноманіття. Неправильне оброблення або витік хімікатів може викликати масштабні екологічні проблеми, що надовго залишить слід на природі.

На здоров'я операторів виникають небезпеки через вдихання або контакт із хімічними речовинами. Заходи безпеки та належне використання засобів індивідуального захисту є життєво необхідними для запобігання отруєнням та іншим здоров'я загрозливим станам.

Під час виконання обприскування пестицидами оператори можуть зазнати прямого впливу цих хімічних речовин, що створює значні ризики для здоров'я. Пестициди призначені для боротьби зі шкідниками та хворобами рослин, але вони також можуть бути небезпечними для людей, які працюють із ними. Вплив цих речовин на операторів може бути різноманітним і залежить від багатьох факторів, включаючи тип пестициду, умови використання, тривалість контакту та індивідуальні характеристики особи.

Основні аспекти впливу пестицидів на операторів включають:

1. Пестициди містять токсичні хімічні речовини, які можуть спричинити гостре або хронічне отруєння. Оператори можуть піддаватися впливу через шкіру, вдихання аерозолів або навіть через оральний шлях (наприклад, через недотримання гігієни під час їжі або куріння після обробки поля без миття рук).

2. Пестициди можуть викликати різні шкірні захворювання, включаючи дерматити, екзему та інші алергічні реакції. Часте контактування із пестицидами без належного захисту може призвести до хронічних шкірних проблем.

3. Інгаляція пестицидів може викликати широкий спектр респіраторних проблем, від тимчасового подразнення дихальних шляхів до серйозних умов, таких як астма або хронічний обструктивний захворювання легенів.

4. Деякі пестициди мають нейротоксичну дію, що може призвести до порушень нервової системи, таких як головні болі, запаморочення, слабкість та навіть більш серйозні неврологічні розлади.

5. Регулярний контакт із пестицидами підвищує ризик розвитку хронічних захворювань, таких як рак, проблеми з репродуктивною системою та порушення ендокринної системи.

Враховуючи ці ризики, дуже важливо, щоб оператори дотримувались належних заходів безпеки, включаючи використання особистих засобів захисту (ОЗЗ), дотримання процедур безпеки під час роботи з пестицидами та ретельне дотримання інструкцій з безпечного використання цих речовин.

4.2 Засади охорони праці при роботі з пестицидами

Пестициди, залежно від призначення, можуть застосовуватись у такий спосіб: обприскування, обпилювання, обпудрювання, протруювання, гідрофобізація, розсівання чи внесення у ґрунт гранул, застосування отруєних принад, фумігація, дезінсекції, дезінфекція. Найпоширенішим способом застосування пестицидів є обприскування.

Використання пестицидів в сільському господарстві, у індивідуальних садах і городах, в охороні здоров'я та побуті, а також продаж їх населенню повинно здійснюватись тільки у відповідності з Переліком пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні, і доповненнями до нього.

Адміністрація підприємства, установи, організації, господарства зобов'язані надавати в розпорядження працюючих з пестицидами засоби механізації, спеціальний одяг і спецвзуття, засоби захисту рук, органів дихання, зору, проводити навчання правилам техніки безпеки. Підбір індивідуальних засобів захисту проводиться в кожному конкретному випадку залежно від властивостей препаратів, а також характеру роботи.

Тривалість роботи з пестицидами першого і другого класів небезпеки не повинна перевищувати 4 години, з іншими – 6 годин на добу (з доробкою іншої частини робочого дня на операціях, не пов'язаних із застосуванням пестицидів). До роботи з пестицидами не допускаються особи, які не досягли 18-річного віку, вагітні і жінки, що годують груддю. Діти шкільного та дошкільного віку не допускаються до роботи з пестицидами і на оброблених ними площах.

Особи, діяльність яких пов'язана з транспортуванням, зберіганням, застосуванням та торгівлею пестицидами і агрохімікатами, повинні отримати допуск (посвідчення) на право роботи пов'язаної з транспортуванням, зберіганням, застосуванням та торгівлею пестицидами і агрохімікатами. Допуск видається Держпродспоживслужбою. Підставою для видачі допуску є посвідчення про проходження спеціальної підготовки з питань безпечного виконання роботи з пестицидами і агрохімікатами, що проводиться щорічно за

спеціальною програмою, та медична книжка за висновком медичної комісії про відсутність протипоказань за станом здоров'я. Навчання та видача допусків (посвідчень) безоплатні.

Організатори роботи видають працівникам підприємств, установ та організацій, що мають допуск, наряд на виконання роботи з пестицидами і агрохімікатами. Перед початком роботи повинен проводитися інструктаж на робочих місцях щодо заходів забезпечення безпеки, запобігання забрудненню залишками пестицидів і агрохімікатів продукції, навколишнього природного середовища, а також щодо надання першої медичної допомоги у разі отруєння, виникнення аварії.

Відповідальність за охорону праці і техніку безпеки при роботі з пестицидами покладається на керівників господарств і організацій, що їх застосовують. Усі роботи з хімічного захисту рослин проводяться під керівництвом дипломованого спеціаліста із захисту рослин. Особи, що залучаються до роботи з пестицидами (постійно чи тимчасово), щорічно в обов'язковому порядку проходять медичний огляд та інструктаж із техніки безпеки, що реєструється у спеціальному журналі.

Керівник роботи зобов'язаний познайомити осіб, що залучаються до роботи з пестицидами, з їхньою характеристикою, особливостями дії на організм людини, засобами застереження, виробничої і особистої гігієни, дати інструктаж із техніки безпеки і правил пожежної безпеки, ознайомити із заходами надання першої до лікарської допомоги при отруєнні пестицидами.

Працюючі з пестицидами повинні суворо дотримуватися правил особистої гігієни. Для обмеження забруднення пестицидами рослинницької продукції необхідно суворо дотримуватися встановлених для кожного препарату регламентів.

Обробка рослин та інших об'єктів повинна здійснюватись суворо за показаннями з обов'язковим врахуванням економічної межі шкідливості, ступеню розвитку хвороб рослин і бур'янів, а також прогнозу погоди. До всіх видів робіт, пов'язаних із застосуванням пестицидів, робітники повинні

допускатися по наряду при наявності медичної книжки та допуску встановленого зразка на право робіт із пестицидами. Медична книжка та допуск видається строком на один рік особам, що пройшли профілактичний огляд та отримали інструктаж щодо безпечного поводження з пестицидами та агрохімікатами, запобігання забрудненню їх залишками продукції, навколишнього середовища та надання першої медичної допомоги у разі отруєння, виникнення аварії. Всі роботи з пестицидами і протруєним насіннєвим матеріалом обов'язково реєструються в спеціальних журналах.

Всі роботи з пестицидами слід проводити в ранні ранкові (до 10.00) і вечірні години при мінімальних висхідних повітряних потоках. Як виняток, допускається проведення обробок у денні години у похмурі і прохолодні дні з температурою навколишнього повітря нижче $+10^{\circ}\text{C}$.

У зоні роботи з пестицидами необхідно обладнати місця для відпочинку і приймання їжі, які забезпечуються бачками з питною водою, рукомийником і медичною аптечкою. Це місце повинно розташовуватися не ближче 200 метрів від межі застосування пестицидів.

Завчасно, але не менше ніж за дві доби до початку проведення кожної хімічної обробки, адміністрація господарств сповіщає населення (сільські та селищні ради, ОТГ), власників суміжних сільськогосподарських угідь та об'єктів про місця, строки і методи застосування пестицидів. У період проведення робіт у радіусі 200 м від меж ділянок, що обробляються, повинні бути встановлені попереджувальні написи. Знаки безпеки повинні контрастно виділятися на навколишньому фоні і знаходитися в полі зору людей, прибираються вони після закінчення карантинних строків: виходу людей для польових робіт, випасу худоби і збирання врожаю.

В цілях охорони бджіл від застосування пестицидів, обробіток потрібно проводити в пізні години наземною апаратурою, при цьому пасіки вивозяться на відстань не менше ніж на 5 км, або ізолюють бджіл на необхідний строк.

Забороняється проводити хімічні обробки садів та сільгоспкультур в період цвітіння.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Оригінальна конструкція обприскувача мала значні недоліки: важка причіпна скоба для з'єднання з трактором, насос, який монтувався на раму обприскувача, потребував довгого карданного валу, що призводило до його частого викривлення. Також траплялися випадки руйнування корпусу насоса та його кріплень через помилково не вимкнене ВВП трактора під час розворотів або інших маневрів, коли кут вигину карданного валу ставав критичним. Ці проблеми були вирішені шляхом переробки причіпної скоби, забезпечивши можливість монтування на ній насоса.

У ході розрахунку були визначені ряд параметрів, зокрема: встановлено, що максимальне розрахункове тягове зусилля обприскувача становить $F = 54 \text{ кН}$;

найбільше навантаження при розтягу буде на 1-й та 3-й ділянках так, як $\sigma_{1p} = 19,1 \text{ МПа}$, $\sigma_{3p} = 20,3 \text{ МПа}$;

сила, яка діє на сергу причепа рівна 6,09 кН;

максимальний згинний момент, що сприймає несучий елемент перехідника становить 3,6 кН·м;

напруження згину максимальні на 1-й $\sigma_{зг1} = 113 \text{ МПа}$; на 3-й $\sigma_{зг3} = 128,7 \text{ МПа}$;

еквівалентне напруження для кожної з ділянок:

$$\begin{aligned} \sigma_{екв1} &= 132,1 \text{ МПа}; \sigma_{екв2} = 63,6 \text{ МПа}; \sigma_{екв3} = 149 \text{ МПа}; \sigma_{екв4} = 70,9 \text{ МПа}; \\ \sigma_{екв5} &= 40,4 \text{ МПа}; \sigma_{екв6} = 30,8 \text{ МПа}; \sigma_{екв7} = 85,3 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Отже, найбільш навантаженими залишаються 1-ша та 3-тя розрахункові ділянки перехідника, але їх напруження не перевищують допустимих, міцність забезпечена.

Фіксуюча частина вала витримує навантаження зрізу, яке становить 23,9 МПа;

напруження розтягу в небезпечному перетині кріпильної вилки переходника становлять 12.6 МПа;

при розрахунку показників тягових характеристик було визначено, що трактор МТЗ – 100, який агрегатується з ОПШ – 3500 може забезпечити тягову потужність навіть на 9 передачі $N_{T9} = 13,3 \text{ кВт}$; максимальна сила зчеплення ведучого механізму трактора становить $P_{зч} = 21,92 \text{ кН}$; буксування трактора в залежності від сили тяги – 14%, що лежить в межах допустимого; тяговий коефіцієнт корисної дії трактора з 1 по 9 передачу становить $\eta_{01-9} = 0,723 - 0,728$;

Також описано можливі небезпеки та вимоги безпеки під час роботи штангового обприскувача.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
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.; 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.
5. 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.
6. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // *Motrol*, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.
7. 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.
8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.\

12. 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.

13. 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.

14. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей X Міжнародної науковопрактичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль 24-25 листопада 2021 року. ФОП Паляниця ВА. Т.1. С. 25-26.

15. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладь Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", ЦНТУ. 2023. С.227-236.

16. Бабій А.В., Дзюра В.О., Головецький І.В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність обприскування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_І. С. 216-226.

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., 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.

19. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

20. 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.

21. 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.

22. Ільченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. Машиновикористання в землеробстві. К.: Урожай, 1996. 384 с.

23. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.
24. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41939>.
25. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.
26. Ластівка М.М. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти аграрних технікумів і коледжів зі спеціальності 208 Агроінженерія. Ладизинський коледж, 2019. 374 с.
27. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Аналіз конструктивних особливостей мініобприскувачів для невеликих фермерських господарств. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 116-125.
28. 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.
29. 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.
30. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.
31. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.
32. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
33. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

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

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

36. Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 163 с.

ДОДАТКИ