

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Підвищення надійності та обґрунтування параметрів конструктивних  
елементів малогабаритних обприскувачів**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-4-24  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Правило Олександр Володимирович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Теслюк Геннадій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Степанов Станіслав Іванович

Дніпро, 2025



5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (А4). 2. Аналіз конструкцій технічних засобів (1 аркуша, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
2	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
3	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
4	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
5	Теслюк Г. В., завідувач кафедри		
Нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання і задачі досліджень	до 15. 09.2025	виконав
2	Аналітичний	до 25. 09.2025	виконав
3	Експериментальний	до 28. 10.2025	виконав
4	Охорона праці	до 10. 11.2025	виконав
5	Економічний	до 21. 11.2025	виконав
6	Демонстраційна частина	до 02. 12.2025	виконав

Студент \_\_\_\_\_ Правило О.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Теслюк Г. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

Правило О.В. Підвищення надійності та обґрунтування параметрів конструктивних елементів малогабаритних обприскувачів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У дослідженні представлено нову конструкцію пружної підвіски рами обприскувача, яка сприяє зменшенню коливань розпилювальних елементів і, відповідно, підвищує якість нанесення робочого розчину на поверхню рослин.

Розроблено математичну модель коливань обприскувача у вертикальній та поперечно-вертикальній площинах. На основі проведених досліджень отримано ключові результати польових випробувань малогабаритного обприскувача, які підтвердили його високу технологічну ефективність. Окрему увагу приділено негативному впливу жорсткої підвіски на рівномірність і якість обприскування.

Встановлено, що резонансна зона дії збурювальної сили для обприскувача з жорсткою підвіскою знаходиться в межах  $\omega > 14 \text{ Гц}$ , а для пружної підвіски - у межах  $\omega > 10 \text{ Гц}$ , тобто в діапазонах частот, які практично не виникають під час експлуатації. Таким чином, обидва варіанти підвіски функціонують у дорезонансних зонах.

Розрахований економічний ефект від упровадження запропонованого технічного рішення, з урахуванням суттєвого підвищення якості технологічного процесу, становить 2856,85 грн.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ.....	9
1.1. Огляд існуючих конструкцій малогабаритних сільськогосподарських обприскувачів.....	9
1.2. Аналіз впливу динамічних навантажень на несучі вузли малогабаритних обприскувачів та їх вплив на роботу машини.....	23
Висновки і завдання досліджень.....	27
2. ПОЛЬОВІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ НАВАНТАЖЕНОСТІ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА .....	29
2.1. Польові випробування малогабаритного обприскувача.....	29
2.2. Планування експерименту.....	36
2.3. Характеристика обладнання експериментальних досліджень малогабаритного обприскувача.....	39
Висновки до розділу.....	44
3. КОМПЛЕКСНА ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ У ПРИЧІПНОМУ МАЛОГАБАРИТНОМУ ОБПРИСКУВАЧІ	45
3.1. Методика розрахунку конструктивних параметрів малогабаритного обприскувача.....	45
3.2. Оптимізація параметрів пружних елементів у системі обприскувача малогабаритного .....	47
3.3. Розрахунок на міцність функціонально-несучих елементів штанги обприскувача.....	50
3.4. Розрахунок основного елемента рами причіпного малогабаритного обприскувача.....	54
Висновки по розділу.....	56
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58

4.1. Аналіз виробничих умов і безпечних методів роботи малогабаритних обприскувачів.....	58
4.2. Нормативно-правова база.....	59
4.3. Заходи безпеки та охорони праці.....	59
Висновки по розділу.....	61
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА.....	62
Висновки по розділу.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Агропромисловий комплекс України, у якому провідне місце займає сільське господарство, потребує оновлення технічного парку. Зокрема, актуальним є впровадження нових типів машин, у тому числі компактних моделей для фермерських господарств, а також подальше підвищення технічного рівня, надійності та якості аграрної техніки. Важливим завданням залишається і всебічна механізація процесів у рільництві. Це передусім стосується машин, призначених для хімічного захисту рослин, адже шкідники, хвороби та бур'яни спричиняють значні втрати врожаю і погіршують його якість. Оскільки агротехнічні та біологічні методи боротьби не завжди забезпечують потрібний ефект, то під час вирощування сільськогосподарських культур, особливо за інтенсивних технологій, найбільш результативним залишається застосування хімічного захисту рослин.

На сьогодні в українському аграрному секторі спостерігається нестача сучасної й ефективної техніки. Тому розвиток науково-технічного прогресу в галузі сільськогосподарського машинобудування має бути спрямований на проектування та виробництво надійних, продуктивних, маневрених і економічно вигідних машин. До ключових вимог, що висуваються до нової техніки, належать уніфікація агрегування, раціональність конструктивних рішень, зменшена маса та зниження собівартості.

Сучасні умови ведення дрібнотоварного сільського виробництва висувають до малогабаритних обприскувачів низку вимог. До основних належать: підвищення технічного рівня, забезпечення високої якості виконання технологічних процесів, а також уніфікація конструкцій для можливості агрегування з різними типами робочих органів з метою комплексної механізації польових робіт.

Особливістю експлуатації малогабаритних машин є їхня робота в складних агротехнічних, рельєфних і кліматичних умовах — на пересіченій місцевості, на схилах, при підвищеній вологості ґрунту тощо. У таких умовах суттєво зростають

динамічні навантаження на несучі та функціональні елементи техніки. Це, у свою чергу, потребує удосконалення конструкційних рішень, спрямованих на підвищення надійності, довговічності та стабільності обприскувачів.

**Мета досліджень** - зміцнення надійності конструктивних і робочих елементів малогабаритного обприскувача на основі моделювання дії експлуатаційних навантажень і створення раціональної методики розрахунку.

**Об'єктом дослідження** є штанговий малогабаритний обприскувач.

**Предметом дослідження** є динамічні характеристики руху, а також функціональні та конструктивні параметри малогабаритного сільськогосподарського обприскувача.

**Завдання досліджень.** Для реалізації поставленої мети були сформульовані такі основні завдання дослідження:

1. Систематизувати теоретичні основи визначення ресурсу роботи несучих і функціональних елементів малогабаритного обприскувача.

2. Створити математичну модель руху обприскувача по нерівній поверхні оброблюваного поля.

3. Вивчити вплив фактичних динамічних навантажень на міцність і несучу спроможність конструктивних елементів обприскувача.

4. Розробити раціональний підхід до інженерного розрахунку конструктивних елементів рами і робочо-опорних компонентів штанги обприскувача.

5. Виконати експериментальні дослідження динамічних навантажень, що виникають під час роботи малогабаритного обприскувача в реальних умовах експлуатації. Розробити конструкцію рами та функціонально-несучої штанги, забезпечивши їхню надійність і ефективність під час роботи машини.

Таким чином, розроблення нових або модернізованих конструкцій малогабаритних обприскувачів є актуальним напрямом інженерних досліджень, що має важливе значення для підвищення ефективності фермерського виробництва та забезпечення сталого розвитку сучасного рослинництва.

# 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

## 1.1. Огляд існуючих конструкцій малогабаритних сільськогосподарських обприскувачів

Застосування інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур можливе лише за умови своєчасного та ефективного захисту посівів від шкідників, хвороб і бур'янів. Для цього необхідно використовувати комплексну систему захисту рослин, яка включає агротехнічні, біологічні, фізичні та хімічні методи впливу. Це пояснюється тим, що, наприклад, за допомогою сільськогосподарських машин і обладнання неможливо повністю знищити бур'яни, які ростуть у рядках або гніздах культурних рослин. Крім того, потужна коренева система багаторічних бур'янів не завжди руйнується навіть при проведенні глибокої оранки. У посівах із суцільною сівбою зернових, технічних, кормових чи овочевих культур використання механічних засобів часто неможливе, тому видалення бур'янів у таких випадках доводиться здійснювати вручну. Але ручне прополювання дуже трудомістке, тому для припинення розвитку і знищення багатьох видів бур'янів використовують хімічні препарати – гербіциди. У боротьбі з бур'янами, шкідниками та хворобами рослин хімічний метод в наш час є основним, він передбачає вплив хімічних препаратів на шкідників, хвороби та бур'яни. Для його використання створено шлейф машин і різних хімічних препаратів захисту рослин під узагальненою назвою пестициди.

За своїм призначенням хімічні засоби захисту рослин поділяються на кілька основних груп. Інсектициди застосовують для боротьби зі шкідниками, які пошкоджують культурні рослини; фунгіциди — для запобігання або ліквідації грибкових хвороб; гербіциди використовують з метою знищення бур'янів; депоненти сприяють прискоренню опадання листя, а десиканти — підсушують рослини перед збиранням урожаю, що полегшує технологічний процес.

Пестициди можуть наноситися на різні об'єкти: насіння перед висівом, листову поверхню та стебла рослин, ґрунт, а також на стінки складських або тепличних приміщень. Зазвичай їх застосовують у вигляді водних розчинів, емульсій чи суспензій, що забезпечує рівномірне покриття оброблюваної поверхні та ефективну дію препарату.

Для виконання операцій із внесення хімічних препаратів використовуються машини для хімічного захисту рослин. Їх основне завдання — забезпечити точне дозування, рівномірний розподіл робочої рідини та мінімальні втрати препарату під час обприскування. Серед цього типу техніки особливе місце займають штангові та вентиляторні обприскувачі, які відрізняються конструкцією системи розпилу, робочим тиском і сферою застосування.

Штангові обприскувачі найчастіше використовують у відкритому ґрунті — на полях зернових, технічних і овочевих культур, де потрібна широка смуга обприскування та висока продуктивність. Вентиляторні обприскувачі, навпаки, ефективніші при догляді за садами, виноградниками й ягідниками, оскільки створюють потужний повітряний потік, який забезпечує проникнення робочої рідини у важкодоступні частини рослин.

Обприскувачі складаються з ряду робочих і допоміжних вузлів, кожен із яких виконує свою специфічну функцію відповідно до технологічного процесу обприскування.

До робочих органів належать основні елементи, що безпосередньо забезпечують процес нанесення робочої рідини: насос, який створює необхідний тиск; розпилювальні пристрої, що формують струмінь і дрібнодисперсний факел; заправні пристрої для подачі рідини в бак; а також мішалки, які підтримують однорідність робочого розчину.

Допоміжні органи забезпечують стабільну роботу системи та зручність її експлуатації. До них відносять раму, на якій закріплюються всі складові частини; резервуар для робочої рідини; фільтри, що очищують розчин від домішок; регулятори тиску; всмоктувальні та нагнітальні магістралі, через які циркулює рідина; органи керування та контролю, що забезпечують точність і безпеку

роботи. Для причіпних обприскувачів додатково передбачена ходова частина, яка забезпечує їх переміщення по полю.

Усі ці елементи працюють у взаємозв'язку, утворюючи єдину систему, призначену для ефективного, рівномірного та економного внесення засобів захисту рослин [9, 11].

На світовому ринку представлено широкий асортимент обприскувачів, що різняться між собою конструкцією, принципом дії, розмірами, системами регулювання й контролю, рівнем витрати робочих речовин та іншими технічними характеристиками.

В роботі [10] досліджуються конструктивні і технологічні параметри, які впливають на якість обприскування вище зазначених обприскувачів.

Методом обприскування вноситься 75% всіх застосованих в землеробстві препаратів. Окрім цього застосовують ультрамалооб'ємне розпилення, розсіювання, розкидання і протруювання [9].

Для зниження витрати робочої рідини почав широко застосовуватися метод дрібнокраплинного обприскування в Голландії, Бельгії, Скандинавії та інших країнах.

Штангові обприскувачі одержали найбільше поширення через якісні, економічні й ефективні показники. Провідне місце в світі з виробництва обприскувачів займають Англія, Німеччина, Франція, Італія, Голландія, США і Канада.

Вибір відповідного типу машини має велике значення для раціональної організації роботи [9].

На якість обприскування впливають конструктивні і технологічні чинники [6]. Тут до конструктивних чинників відноситься вдала розробка конструкції обприскувача, раціональне розташування його основних конструктивних елементів, вдалий вибір типу підвіски штанги, ємності для робочого препарату, мішалки насоса, фільтрів, контрольно-реєструючої апаратури, пристроїв для забезпечення необхідної дози препарату в залежності від швидкості руху агрегату

та контролю за функціями розпилювачів, а також вибір маркера, слідовказівника тощо.

Останнім часом до роботи обприскувачів висувається багато вимог, спрямованих на зменшення забруднення навколишнього середовища та підвищення безпеки працівників, які виконують обробку посівів. До таких вимог належать точне дозування, недопущення неконтрольованого знесення крапель, а також максимально раціональна витрата препарату та води. Як показує практика, приблизно чверть обприскувачів перевитрачають засоби захисту рослин у середньому на 30%. Лише 50–70% робочого розчину потрапляє безпосередньо на цільову поверхню, а решта перетворюється на втрати. Такі втрати знижують ефективність обробки та спричиняють додаткове забруднення довкілля.

До основних і найчастіше застосовуваних технологій штангового обприскування належать:

1. Внесення робочої рідини стандартними типами розпилювачів (щілинними, конусними, порожнистими, суцільними, дисковими та ін.);
2. Імпульсне або переривчасте подавання, що здійснюється за допомогою магнітного клапана, який швидко спрацьовує та встановлюється безпосередньо перед розпилювачем;
3. Обприскування із застосуванням електростатично заряджених крапель, а також малооб'ємне (МО), ультрамалооб'ємне (УМО) та надультрамалооб'ємне (НУМО) внесення;
4. Краплинне нанесення з керованим розміром крапель (технологія КІР, що отримала значне поширення у США);
5. Електродинамічний спосіб обприскування;
6. Нанесення препарату в полі дії іонізуючих електричних зарядів;
7. Метод електростатичної індукції;
8. Контактне нанесення препарату на рослини;
9. Стрічкове обприскування;

10. Використання обприскувачів з обмеженням зносу крапель, зокрема аерозольних генераторів аеродинамічної дії;
11. Хімічне знищення бур'янів.

У результаті ефективного розпилювання при зменшених обсягах витрати краплинний метод обприскування регульованого розміру виключає з розпилення краплі великих розмірів, які безповоротно губляться, і малих розмірів, що зносяться вітром. Електростатично зарядженим краплям надається визначена сила притягання до поверхні обробітку, у зв'язку з чим поліпшується ступінь осідання крапель.

Метод краплинного обприскування з використанням навісного обладнання отримав широке застосування, передусім у США. Останніми роками було зроблено значні кроки у розробленні електростатичних та електродинамічних систем внесення препаратів. В електростатичних обприскувачах краплі робочого розчину наділяють електричним зарядом за допомогою коронного, контактного або індукційного способу (наприклад, у системах фірми "Roederstein"). Проте головним недоліком таких технологій є необхідність використання високовольтного обладнання.

Усвідомлення недостатньої ефективності традиційного внесення пестицидів, а також проблеми з водозабезпеченням, потреба у швидкому та своєчасному виконанні обробок і зростання вартості препаратів стали поштовхом для розвитку нових технологій. До них належать малооб'ємне (МО), ультрамалооб'ємне (УМО) та надультрамалооб'ємне (НУМО) обприскування. Такі методи доцільно застосовувати там, де... (можу продовжити, якщо надасте наступну частину тексту).

Застосування рециркуляційного способу обприскування (американська система Recycling-Sprayer) дає можливість уловлювати краплі препарату, що не осіли на поверхні, і повертати їх назад в обприскувач для повторного нанесення. Такий підхід є ефективним у випадках великих норм витрати та використання крапель значного діаметра.

Важливим кроком у напрямі екологічної безпеки та зменшення забруднення ґрунту стало впровадження технології роздільної подачі препарату й води, коли їх витрата автоматично коригується залежно від швидкості руху агрегату.

Поряд з модернізацією обприскувачів, що працюють із зниженою нормою внесення, значну увагу приділяють розвитку контактного способу застосування гербіцидів, тобто роботі контактних обприскувачів. Такий метод дозволяє зменшити витрати хімічних засобів, мінімізувати знос препарату, підвищити рівень екологічної безпеки, а також забезпечити ефективну роботу на підвищених швидкостях і за будь-яких погодних умов.

Певна частина робочого розчину при обприскуванні не потрапляє на цільові поверхні через недоліки конструкції розпилювальних елементів. Неправильно налаштовані або технічно несправні розпилювачі, а також вплив зовнішніх чинників - таких як вітер, опади, підвищена температура - погіршують якість нанесення препарату на рослини. Тому дуже важливо суворо дотримуватися агротехнічних вимог щодо проведення обприскування.

Світова практика демонструє прагнення до підвищення ефективності застосування техніки для внесення засобів захисту рослин. Головною умовою при цьому є рівномірне розподілення препарату, що дозволяє мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Особливо помітні коливання швидкості руху агрегатів під час роботи на схилах чи при використанні великогабаритних обприскувачів.

Конструкція та тип обраних розпилювачів мають відповідати висоті розташування штанги над поверхнею обробки. Лише за цієї умови можна забезпечити якісне й рівномірне внесення робочого розчину.

Мінімальна висота встановлення штанги над поверхнею обробки для щілинних розпилювачів із конусним факелом розпилення повинна становити не менше 0,35 м.

Неправильно відрегульована по висоті штанга або недосконала конструкція її навіски часто призводять до нерівномірного внесення препарату. Це проявляється у появі необроблених смуг або, навпаки, ділянок із надмірною кількістю робочого

розчину. Лише обприскувачі, у яких норма витрати точно налаштована, здатні забезпечити коректну та ефективну роботу.

На рівномірність розподілу препарату значний вплив мають коливання штанги та самого агрегату. Штанги зі стійкою конструкцією забезпечують не лише кращу рівномірність обприскування, а й підвищують продуктивність. Їх можна розташовувати ближче до поверхні ґрунту, що сприяє кращому проникненню препарату в рослини та зменшує ризик знесення крапель вітром.

Колівання штанги виникають переважно через нерівності рельєфу поля. Вертикальні коливання інколи досягають значної амплітуди, що спричиняє як надмірну, так і недостатню щільність нанесення розчину. У результаті відбувається відхилення від заданої норми внесення, що знижує врожайність і може негативно впливати на довкілля.

Горизонтальні коливання штанги, викликані зміною робочої швидкості обприскувача, також порушують рівномірність нанесення. Уздовж напрямку руху виникають зони з надлишковою або недостатньою подачею препарату, що проявляється хвилястістю у поздовжньому розподілі робочої рідини.

Горизонтальні коливання штанги зазвичай виникають через наявність люфтів у шарнірах або недостатню жорсткість конструкції. При жорсткому закріпленні штанги рівномірність розпилення значно покращується. Згинання та рух секцій у місцях з'єднань не є єдиними причинами посилення коливань під час нерівномірного руху обприскувача. Згідно з теорією коливань, ключовим фактором є співвідношення власної частоти коливань штанги та частоти збудження обприскувача, яку створює агрофон. Чим ближчі ці частоти, тим більша амплітуда коливань. Особливе значення має частота зміни швидкості обприскувача.

Помітні помилки у розподілі робочого розчину виникають вже при амплітуді коливань 0,15–0,2 м. При сильних коливаннях штанга польового обприскувача може вдаритися або стикатися з ґрунтом, що може призвести до її поломки. Найнижчі гармоніки коливань (менше 3 Гц) найбільше сприяють деформації штанги і є основним джерелом нерівномірного розподілу препарату.

Підсумовуючи, можна сказати, що головними причинами зниження якості нанесення робочого розчину та зменшення міцності і надійності штанги є динамічні перевантаження, що виникають під час роботи обприскувача.

На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва, через розподіл земельних ділянок, значно зросла кількість дрібних фермерських господарств із земельними наділами приблизно 4–15 га. Хімічний захист рослин є обов'язковою технологічною операцією у будь-якій системі вирощування сільськогосподарської продукції. Такі операції виконуються обприскувачами, проте використання великих тракторних обприскувачів на невеликих ділянках є нераціональним. Причини цього полягають у високій продуктивності та великих габаритах техніки, а також у її значній вартості. У результаті завантаженість таких машин буде далекою від оптимальної, тобто вони використовуються неефективно.

Щоб уникнути цих проблем та забезпечити можливість придбання техніки, доцільно застосовувати малогабаритні обприскувачі. Вони мають меншу продуктивність, компактні розміри та, відповідно, нижчу вартість, що робить їх більш придатними для обробки невеликих земельних ділянок.

Тому основна увага приділяється саме малогабаритним обприскувачам. Завдання полягає в тому, щоб спроектувати або вдосконалити такий обприскувач, який був би універсальним для виконання різних технологічних операцій і водночас надійним у роботі. Досягти цих характеристик можна завдяки вдалій конструкції та використанню відповідних теоретичних моделей розрахунку.

Ключову роль у цьому відіграють розпилювальні пристрої та їхнє кріплення, тобто шасі та штанга, якщо мова йде про штангові обприскувачі. У роботі [4] запропонована конструкція універсального малогабаритного обприскувача ОМППШ–150–1, який здатний виконувати широкий спектр технологічних операцій хімічного захисту. На рисунку 1.1 показано загальний вигляд цього обприскувача.



Рисунок 1.1 - Малогабаритний спеціалізований обприскувач ОМПШ–150–1  
(базовий варіант)

Таблиця 1.1 - Короткий опис технічних параметрів ОМПШ–150–1

Конструкційний тип обприскувача	причіпний
Місткість бака, л	150
Ефективна ширина захоплення, м	4
Обсяг виконаної роботи за годину (при $V=6$ км/год), га/год	2.28
Діапазон регулювання подачі робочої рідини, л/га	50-300
Тип насоса	мембранно-поршневий серії МР 30
Робочий тиск у трубопроводі, МПа	до 3
Привід насоса	ВВП енергозасобу
Штанга: виконання матеріал	двосекційна базальтопластик
Затрати потужності на приведення в дію насоса, к.с.	не більше 2.3

Проаналізуємо ще ряд існуючих конструкцій таких обприскувачів.





Рисунок 1.2 - Конструктивні особливості сучасних малогабаритних обприскувачів

На рисунку 1.2, а показано малогабаритний обприскувач, призначений для хімічного захисту рослин у теплицях, а також для поливу кущів, клумб і газонів.

Цей малогабаритний обприскувач може виконувати широкий спектр робіт там, де через великі габарити звичайний польовий обприскувач застосувати неможливо. Він оснащений електричним двигуном і 12-вольтовим акумулятором, має продуктивність 8,5 л/хв та бак об'ємом 45 л, виготовлений із поліетилену. Маса порожнього обприскувача становить 20 кг. Рама виконана у вигляді плоскої ферми з профільної труби і жорстко спирається на гумові колеса. Штанга-розпилювач закріплена на гнучкому подовжувачі.

На рисунку 1.2, б показано тепличний малогабаритний обприскувач «ОТ-210». Цей тачковий обприскувач призначений для захисту рослин у теплицях від бур'янів, шкідників та хвороб сільськогосподарських культур.

Цей обприскувач складається з мембранно-поршневого насоса, що має регулятор тиску і запобіжний клапан, привід якого здійснюється від електричного двигуна не більше 2,0 кВт; бак місткістю 210 л виготовлений з поліетилену, який кріпиться на сталевій рамі з колесами; брендспойта або іншого розпилюючого пристрою довжина рукава якого становить 50 м.

На рисунку 1.2, в показано дезінфікуючу установку УД-320. Вона застосовується для обробки тваринницьких приміщень та прилеглих територій, забійних цехів, м'ясопереробних підприємств, холодильних камер, транспортних засобів і обладнання для завантаження тварин. Крім того, установку можна використовувати для дезінфекції зерносховищ та овочесховищ, обробки шкіряного покриття тварин проти паразитів, хімічного захисту сільськогосподарських культур у відкритому та закритому ґрунті, а також для побілки приміщень і їх санітарного миття.

На рисунку 1.2, г показано тачковий обприскувач, призначений для обробки рослин у теплицях та інших спорудах захищеного ґрунту робочими рідинами, що містять пестициди проти шкідників і хвороб, а також для внесення рідких добрив. Обприскувач складається з бака об'ємом 220 л, який кріпиться на рамі, насоса, електродвигуна потужністю 2 кВт та двох брендспойтів із рукавами довжиною 25 м. Маса порожнього обприскувача становить 80 кг.

Рама обприскувача виконана як жорстка зварна конструкція, яка спирається на невеликі прогумовані колеса. На рисунку 1.2, д показано навісний малогабаритний обприскувач, призначений для поливу або внесення хімічних препаратів на клумби, газони та сільськогосподарські культури. Штанга розкладна, складається з двох секцій, кріпиться на двох стійках рами та регулюється по висоті разом із навісним енергозасобом. Насос (італійського виробництва) призначений для застосування у польових обприскувачах і приводиться в дію механічно від ВВП трактора. Форсунки можна замінювати залежно від виду хімікату. Бак виконаний у вигляді металевої бочки об'ємом 80 л, змонтованої на зварній рамі, що кріпиться до навіски трактора.

На рисунку 1.2, е, є та ж показані малогабаритні причіпні сільськогосподарські обприскувачі, які агрегатуються з міні-енергозасобами і призначені для обробки сільськогосподарських культур. Характерною особливістю цих машин є жорстке кріплення пластикових баків на зварній рамі. Рама, у свою чергу, спирається на гумові колеса з високим профілем. Хоча високий профіль коліс частково компенсує нерівності ґрунту, невеликий діаметр самих коліс не дозволяє повністю вирішити цю проблему.

Зростання попиту на малогабаритні обприскувачі пояснюється сучасними змінами в земельному законодавстві та проведенням земельної реформи. Розпаювання земель призвело до появи великої кількості власників паїв, які ведуть особисте господарство.

На невеликих ділянках ефективно вирощуються польові культури, створюються сади та виноградники, ведеться підсобне тваринництво і тепличне господарство. Для таких малих господарств продуктивності малогабаритної техніки для хімічного захисту рослин є цілком достатньо. Тому сьогодні особливо актуально розробити багатофункціональний, недорогий і надійний обприскувач [4]. Серед відомих моделей малогабаритних обприскувачів можна виділити типові відмови, такі як руйнування елементів рами та штанги, що призводить до виходу машини з ладу і значного зниження її надійності. Аналіз існуючих моделей показує, що більшість малогабаритних обприскувачів мають жорстку

підвіску: раму на гумових колесах і жорстко закріплену штангу. На рисунку 1.3 представлені приклади сучасних моделей малогабаритних обприскувачів.

На рис. 1.3, а, в, г представлені професійні моторні малогабаритні обприскувачі серії CR 50\80\125, які призначені для обробки рослин в спорудах захищеного ґрунту робочими рідинами пестицидів проти шкідників і хвороб оброблюваних культур, а також рідкими добривами при позакореневій підгодівлі.

Такі обприскувачі також можуть застосовуватися для хімічної обробки та дезінфекції складських і тваринницьких приміщень, а також для миття сільськогосподарської техніки. Їх баки виготовлені з поліпропілену і закріплені на металевій рамі. Ці моделі можуть комплектуватися як електричними двигунами, так і двигунами внутрішнього згоряння для приводу насоса, який створює робочий тиск від 2,5 до 4 МПа. Штанга в таких обприскувачах має обмежені функціональні можливості, оскільки не передбачено повного набору регулювань. Вони агрегатуються з міні-енергозасобами, наприклад мотоблоками.

Тачкові обприскувачі призначені для захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб у важкодоступних місцях, де немає водопостачання або джерела електроживлення. За їх допомогою можна застосовувати пестициди у формі розчинів, емульсій або суспензій.

Обприскувач може виконувати різноманітні завдання з розпилювання там, де звичайний польовий обприскувач застосувати неможливо. Його можна використовувати як у закритих приміщеннях, так і на відкритому повітрі: на фермах, клумбах, газонах у парках, спортивних майданчиках, а також в оранжереях, садах і поблизу будівель.

Модель SMT-120 оснащена мембранно-поршневым насосом із регулятором тиску та запобіжним клапаном, привод якого здійснюється від бензинового або електричного двигуна. Бак об'ємом 120 л виготовлений із поліетилену та закріплений на сталевій рамі з колесами. До обприскувача підключається брандспойт або інший розпилювальний пристрій. На рисунку 1.2, е, є показані обприскувачі вітчизняного виробництва з характерними конструктивними особливостями рами.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



є)



ж)



з)

Рисунок 1.3 - Сучасні малогабаритні обприскувачі:

а, в, г – моторні малогабаритні обприскувачі серії CR 50\80\125;

б – обприскувач для закритого ґрунту “SMT – 120”;

д, ж, з - моделі малогабаритних обприскувачів фірми “Hardi”;

е – обприскувач ОМТ-0.3;

є – обприскувач для закритого ґрунту ОЗГ – 120.

Обприскувач для закритого ґрунту “SMT – 120”, рис. 1.3, б.

Обприскувач ОМТ-0.3 (рис. 1.3, е) призначений для хімічного захисту рослин. Він виконаний у вигляді одновісного напівпричепи і агрегатується з міні-трактором типу “Гольдоні 718”. До складу обприскувача входять шасі, склопластиковий бак об’ємом 300 л із гідравлічною мішалкою, насос, регулятор тиску, всмоктувальні та нагнітальні трубопроводи, а також карданна передача.

Обприскувач ОЗГ–120 (рис. 1.3, є) призначений для хімічного захисту рослин у теплицях. Циліндричний склопластиковий бак об’ємом 120 л закріплюється на ложементі на рамі машини. Триплунжерний насос приводиться в дію електродвигуном, змонтованим на рамі, а брандспойт використовується як розпилюючий пристрій.

На рисунку 1.3, д, ж, з показані моделі малогабаритних обприскувачів фірми “Hardi”, які відзначаються подібними конструктивними особливостями рам та розпилюючих елементів.

Підсумовуючи аналіз конструкцій досліджуваних обприскувачів, можна зробити висновок, що рама обприскувача виконана у вигляді жорсткої зварної конструкції, яка спирається на гумові колеса відносно невеликого діаметра. Штанга (у моделях, де вона передбачена) жорстко закріплена на рамі, що не дозволяє компенсувати її переміщення під час динамічних навантажень чи перевантажень.

## 1.2. Аналіз впливу динамічних навантажень на несучі вузли малогабаритних обприскувачів та їх вплив на роботу машини.

Основними факторами виникнення динамічних навантажень на основні вузли обприскувача є стан поверхні по якій він рухається та конструкція підвіски цих вузлів разом з ходовою частиною. Всі ці фактори в достатній мірі впливають на ці процеси.

Одним із найперших завдань при проектуванні машини для хімічного захисту у рослинництві необхідно враховувати рух обприскувача по горбистій поверхні, потрібно забезпечити міцність та довговічність таких відповідальних

збірних одиниць як рама та штанга обприскувача, від яких безпосередньо залежить надійність та роботоздатність машини в цілому. При проектуванні оптимальних за міцністю, металоємкістю і довговічністю тримких рам причіпних обприскувачів задача зводиться до визначення тріщинотривкості їх матеріалу (в тому числі із структурною зміною від зварювання), котрі є основними елементами цих конструкцій. Оцінка міцності з позиції тріщинотривкості матеріалу рами (яка дозволяє враховувати можливу дефектність її виготовлення) базується на методах лінійної механіки руйнування [1]. Практична реалізація цієї методики включає наступні операції: визначення напружено-деформованого стану конструкції при дії статичного навантаження; заміри прискорень і динамічних реакцій при експлуатації і визначення робочих навантажень.



Рисунок 1.4 - Характерні поломки типових секцій штанг сільськогосподарських обприскувачів: 1 – крайня секція є підсилена косинцями; 2 – підсилення проміжної секції.

З рисунка 1.4 добре видно, що від невідповідності напружень, що виникають в характерних перетинах утворюються тріщини, які розвиваючись руйнують штангу. Великий спектр напружень виник в наслідок достатньої ваги крайніх секцій штанг та динамічних напружень при русі обприскувача.

По різному таку проблему можна вирішити: на рис. 1.4 показано, що в польових умовах просто підсилили небезпечні перетини; звичайно, проблему потрібно викоринювати ще на етапі проектування. Достатньо ефективне рішення розвинуто в роботах професора Рибак Т.І., де автор пішов шляхом зниження ваги крайньої секції, що звичайно, призвело до суттєвого зниження інерційних сил, а отже і напружень. На рис. 1.5 представлено штангу причіпного обприскувача ОПШ-15 з крайніми секціями з базальтопластику.



Рисунок 1.5 - Вдосконалена штанга причіпного обприскувача ОПШ-15: 1- функціонально-несучі крайні секції штанги з базальтопластику; 2 – проміжна секція; 3 – центральна секція.

Звичайно рішення є достатньо ефективним, але навіть тут існує небезпека руйнування, оскільки спостерігаються великі плечі, які утворюють моменти. Тому проблему необхідно розглядати більш широко. Суть розгляду повинна полягати у достатньо точному моделюванні руху обприскувача польовими нерівностями та розробці компенсаторів при виникненні динамічних перевантажень.

Машини для заправки, приготування робочих розчинів чи для транспортування або ж обприскувачі різних габаритних розмірів знаходяться в достатньо рівних умовах, тобто підходи до їх розрахунку будуть аналогічними. В [12] наведено приклад руйнування лонжеронів рами машини ЗЖВ-1.8.

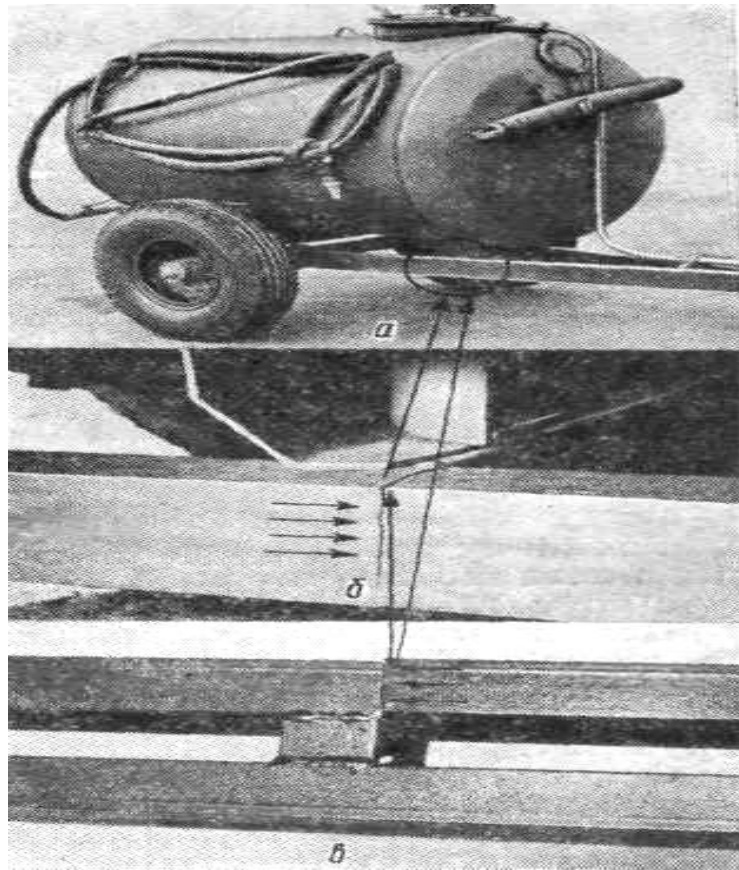


Рисунок 1.6 - Руйнування від втомленості лонжеронів рами машини ЗЖВ-1.8:

а — місце руйнування; б і в — руйнування в умовах експлуатації і на випробувальному обладнанні.

Характер таких руйнувань може бути спричинений рядом факторів, серед яких можна виділити наступні: невідповідність режимів експлуатування машини, технологічні дефекти, що закладені ще на стадії виготовлення, не цілковита відповідність теоретичних розрахунків до вимог реальних умов експлуатації, тобто наближеність даних розрахунків.

Розрахунки на міцність деталей машин і елементів конструкцій при одноразовому (статичному чи динамічному) навантаженні основні на допустимих напруженнях, які встановлюються за характеристиками механічних властивостей матеріалу (межа текучості, межа міцності). Запаси міцності, які використовуються у цих розрахунках, відображають вплив на характеристики руйнування деталей

основних конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів, а їх величини призначаються з врахуванням практики експлуатації.

Така оцінка тримкої здатності при інженерних розрахунках достатня, якщо в процесі експлуатації не враховуються умови виникнення крихких станів. Однак при наявності в елементах конструкцій початкових металургійних та технологічних дефектів (тріщини, пустоти, включення, непровари), а також при утворенні в них тріщин внаслідок накопичення експлуатаційних пошкоджень (циклічних, корозійних, від деформації стержня), як показують дослідження, руйнуючі напруження можуть виявитись суттєво (в 1,5 – 4 рази) нижчі межі текучості.

Тримкі елементи рамних конструкцій сільськогосподарських машин включають різні концентратори напружень: зварні з'єднання, різні накладки, отвори. Це є причиною того, що в умовах експлуатації руйнування проходить шляхом утворення і подальшого розвитку тріщин. Тому при проектуванні рам сільськогосподарських машин необхідно врахувати, по-перше, можливість втрати тримкої здатності конструкції внаслідок утворення тріщин, по-друге, утворення тріщини не завжди призводить до повного руйнування конструкції рами, тобто проходить деякий час, поки тріщина не підросте до критичної величини, що призведе до руйнування конструкції.

Отже, з проведеного аналізу видно, що невідповідність експлуатаційних факторів в реальних умовах до розрахункових та конструктивні дефекти елементів є основними причинами зниження надійності машини в цілому. Тобто ставиться задача усунути ці невідповідності та вдосконалити існуючу конструкцію обприскувача.

#### Висновки і завдання досліджень

1. На основі проведеного огляду і теоретичних досліджень роботоздатності та функціональної відповідності до виконання технологічного процесу

малогабаритними обприскувачами визначено причини відмов машин даного типу через руйнування тримкої рами та штанги.

2. На підставі проведеного аналізу конструктивних особливостей досліджуваних обприскувачів, приходимо до висновку: рама обприскувача виконана у вигляді жорсткої зварної конструкції, що обпирається на гумові колеса відносно малого діаметра; штанга (для моделей, де вона передбачена) кріпиться до рами жорстко, що не дозволяє скомпенсувати переміщення при динамічних навантаженнях чи перевантаженнях.

3. Для забезпечення надійності, довговічності та стабільності роботи обприскувачів необхідно розробити науково обґрунтовану методику розрахунку конструктивних параметрів їхніх основних вузлів — насамперед тримкої рами та функціонально-несучих елементів штанги. Такі елементи сприймають основні експлуатаційні навантаження та визначають міцність, стійкість і рівень вібраційної безпеки машини під час роботи.

## 2. ПОЛЬОВІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ НАВАНТАЖЕНОСТІ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА

### 2.1. Польові випробування малогабаритного обприскувача

Проблема створення ефективної сільськогосподарської техніки є надзвичайно актуальна. Крім того, наявність відносно дешевих багатофункціональних малогабаритних машин для хімічного захисту у рослинництві користуються великим попитом на ринку. Їх споживачами передбачаються, переважно, дрібні землевласники. Сучасні варіанти такого типу машин вимагають суттєвих конструкторських доробок, суть яких полягає у можливості забезпечення даною машиною цілої гами технологічних операцій з хімічного захисту у рослинництві.

Ця передумова стала стимулом для розроблення малогабаритного обприскувача, що відрізняється від аналогічних машин розширеними функціональними можливостями під час виконання технологічних операцій хімічного захисту рослин, зберігаючи при цьому високі показники надійності та довговічності [16]. На рис. 2.1 представлений загальний вигляд малогабаритного обприскувача.



Рисунок 2.1 - Обприскувач малогабаритний

Особливість запропонованої моделі полягає, перш за все, в її універсальності. Машина обладнана штангою зі спеціальною підвіскою, що у широкому діапазоні збільшує функціональні її можливості в цілому.

На рис. 2.2, а показано малогабаритний обприскувач з розгорнутою штангою і спеціальною підвіскою. Характерною особливістю підвіски штанги є різні комбінації виконання технологічних операцій, тобто дана конструкція дозволяє регулювати робоче положення штанги за висотою, встановлення незалежно одна від одної її секцій, а також забезпечує зміну кута факелу робочої рідини у двох взаємно перпендикулярних площинах. Дане нововведення дозволяє якісніше наносити препарат на поверхню рослин у міжряддях. Особливо позитивний ефект спостерігається для широколистяних просапних культур, які зазнали впливу шквальных вітрів в момент обробки їх препаратом, а також для низкорослих рослин - уточнення міжрядкової віддалі завдяки зміні кута встановлення секції штанги відносно перпендикуляра до поздовжньої осі агрегату.

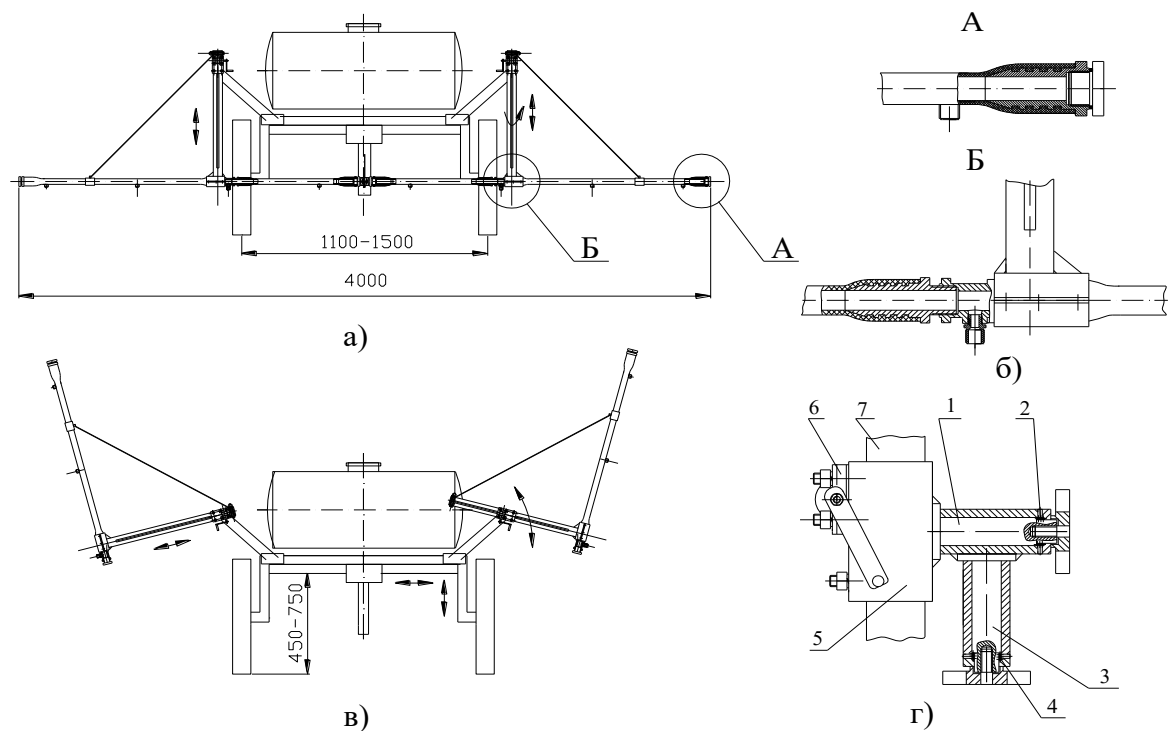


Рисунок 2.2 - Принципова схема малогабаритного обприскувача

Такі операції виконуються завдяки розробленому поворотно-фіксуєчому механізму (рис. 2.2,г), який забезпечує необхідну кількість ступеней вільності окремих секцій штанги. Даний механізм складається з двох взаємоперпендикулярних тримких валів 1, 3, які фіксуються у потрібному положенні механізмами 2, 4 та направляючої 5 при механізмові регулювання 6 вильоту стійки 7 секції штанги.

На рис. 3.2,в показано варіант обробки кущів у садах. Тут варто відзначити, що запропонована конструкція має можливість встановлювати секції на задану ширину міжрядь кущів чи дерев за допомогою стійок 7 функціонально-тримких трубопроводів та механізму регулювання 6 (рис. 2.2,г). Подібні регулятори для встановлення робочого положення штанги не спостерігаються на інших моделях аналогічного типу машин, що доводить новизну запропонованої розробки. Крім того, функціонально-несучі трубопроводи є збірними та з'єднуються за допомогою спеціальних штуцерів (рис. 2.2,б, поз. Б). Такий варіант дозволяє покращити основні показники технологічного встановлення секцій штанги при роботі у вертикальному положенні. Наприклад, при оброблюванні низькорослих дерев, ми викручуємо заглушки (рис. 2.2,б, поз. А) та вкручуємо спеціальні подовжувачі-насадки, які спрямовуватимуть струмінь робочого препарату в крону дерева, перед тим встановивши решту розпилювачів у неробоче положення. Для обробітку кущів, що є значно нижчі від дерев, слід застосовувати спеціальні насадки або залишати в роботі по одному чи по два розпилювачі потрібного типу та змінюючи кут площини факелів можна забезпечити оптимальний варіант нанесення робочого препарату на поверхню рослин. Крім того, дана машина є універсальною в плані встановлення ширини колії в залежності від оброблюваної культури. Межі безступеневого регулювання ширини колії - 1100÷1500 мм. Кліренс є також змінним, він змінюється в межах 450-750 мм. Ці технічні характеристики забезпечуються завдяки розробленій новій конструкції рами.

В основу запропонованої розробки поставлено завдання збільшення функціональних можливостей причіпного обприскувача, забезпечуючи безступеневу зміну ширини колії, регулювання дорожнього просвіту (кліренсу) та

адаптивне приєднання його до енергозасобу шляхом виконання рами причіпного обприскувача, що складається із поперечного бруса-направляючої 1 (рис. 2.3), до якої приєднано дві півосі ходових коліс 2 із підшипниковими вузлами 3 та поздовжні лонжерони 4 з причіпом 5. Кожна з півосей ходових коліс 2 виконана у вигляді вертикальної 6 та горизонтальної 7 консолей, причому горизонтальна консоль 7 має можливість прямолінійного руху та фіксування в пазу поперечного бруса-направляючої 1, а також вона обладнана на вільному кінці вертикальною направляючою 8 для прямолінійного руху вертикальної консолі 6, що безпосередньо зв'язана з підшипниковим вузлом 3 ходового колеса.

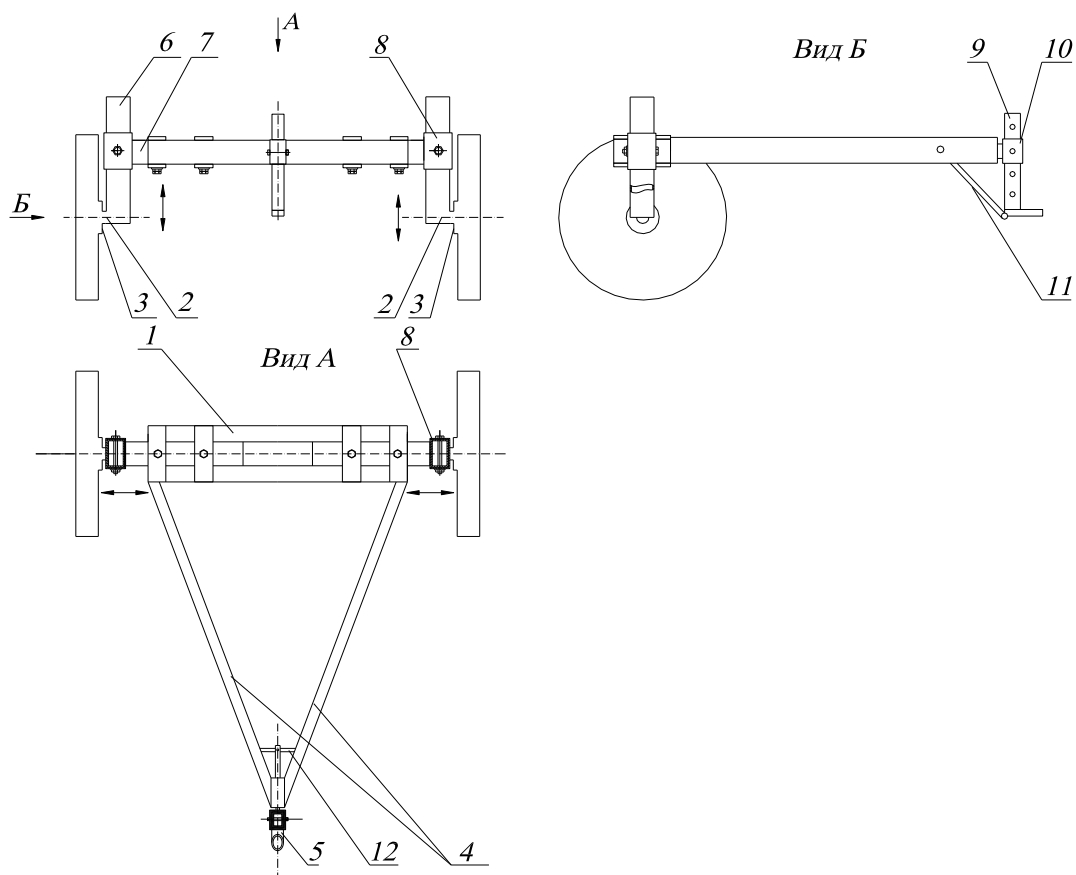


Рисунок 2.3 - Несуча рама малогабаритного обприскувача

Прилаштовані до поперечного бруса-направляючої 1 поздовжні лонжерони 4, що обладнані причіпом 5, який виконаний у вигляді Г-подібного елемента приєднання 9 із можливістю встановлення та фіксування більшою стороною у потрібному положенні вертикальної площини в направляючій 10, що шарнірно приєднана до кінців лонжеронів 4 та має можливість вільного обертання навколо

осі у вертикальній площині, а менша його сторона виконана у вигляді причіпного кільця, до того ж, на перехресті більшої та меншої сторін Г-подібного елемента приєднання 9 шарнірно закріплена розтяжка 11, яка іншим кінцем шарнірно встановлена на планці 12 поздовжніх лонжеронів 4.

Як бачимо, пропонована конструкція малогабаритного обприскувача з розробленою спеціальною підвіскою штанги та універсальною рамою у широкому діапазоні збільшує функціональні можливості машини в цілому. Величину цього діапазону, крім функціональних можливостей, можна розширити багатоваріантністю положень транспортування штанги. При цьому збільшується кількість точок опори функціонально-тримких трубопроводів і тим самим знижуються напруження в характерних перетинах, які виникають при дії динамічних сил, що значно підвищує термін їх експлуатації.

Проведення польових випробувань підтвердили високу ефективність пропонованих нововведень. Так, наприклад, при обробітку просапних культур з різними міжряддями та висотою росту рослин високоефективним виявилися безступенева зміна ширини колії та змінний кліренс.

Енергозасобом для такого малогабаритного обприскувача служить міні трактор або мотоблок, оскільки визначення його опору на перекочування за методикою показало, що опір не перевищує 0,6 кН.

Таким чином, створена конструкція універсального малогабаритного обприскувача повністю задовольняє у хімічному захисті невеликі фермерські чи підсобні господарства.

Як бачимо, пропонована конструкція малогабаритного обприскувача із розробленою спеціальною підвіскою штанги та універсальною рамою у широкому діапазоні збільшує функціональні можливості машини в цілому. Величину цього діапазону, крім функціональних можливостей, можна розширити багатоваріантністю положень транспортування штанги.

Проведення польових випробувань підтвердили високу ефективність пропонованих нововведень. Так, при обробітку просапних культур, наприклад, цукрового буряка і картоплі у підсобному господарстві високоефективним

виявилися безступенева зміна ширини колії та змінний кліренс, рис. 2.4, 2.5.



Рисунок 2.4 - Фрагмент роботи малогабаритним обприскувачем на буряковій плантації

Відомо, що цукрові буряки є посіяними з міжряддями 45 см на відміну від картоплі, яка в приватному господарстві є висадженої в міжряддя 60 см, тому зміна ширини колії виявила свою ефективність. Крім того, змінний кліренс дозволяє максимально ефективно провести хімічний захист рослин.



Рисунок 2.5 - Фрагмент роботи малогабаритним обприскувачем на картоплі

Висока ефективність спостерігається і при обробі багаторічних трав, коли зміна встановлення секцій штанг дозволяє максимально ефективно нанести препарат на їх поверхні (рис. 3.6).



Рисунок 2.6 - Фрагмент роботи малогабаритним обприскувачем на багаторічних травах

Крім того, обприскувач можна використовувати стаціонарно як машину для нагнітання рідини і розпилення її через брандспойти при виконанні різного роду робіт. До таких операцій можна віднести оброблювання хімічним препаратом окремих рослин, куди, наприклад, утруднений під'їзд або протруювання різних приміщень, зокрема, складських [4].

Крім перерахованих тут операцій технологічного процесу нанесення робочих розчинів об'єкти обробки, даний обприскувач можна використовувати для внесення рідких комплексних добрив, змінивши розпилюючі органи.

Таким чином, створена конструкція малогабаритного обприскувача повністю задовольняє у хімічному захисті невеликі фермерські чи підсобні господарства.

Дослідження технологічних характеристик такої конструкції обприскувача є достатньо задовільними. Але по при позитивні сторони спостерігаються деякі негативні моменти, зокрема: при нанесенні препарату під час руху польовими нерівностями міжрядь спостерігаються значні коливання штанги, а як наслідок погіршення якості нанесення препарату на поверхні рослин.

## 2.2. Планування експерименту

Хоча цілі експерименту і об'єкти дослідження на різних етапах різні, проте завжди можна виділити деякі загальні завдання. Так, у будь-якому випадку потрібно знати, наскільки загальними є висновки про ефекти тих або інших факторів, як повно відображається думка експериментатора про вплив ефекту взаємодії кожної незалежної змінної на кожну з властивостей об'єкту, чи знаходять достатні підтвердження про стійкість ефектів в широкій області варіювання факторів і т.д. Можна виділити деякі стандартні етапи рішення задачі побудови математичних моделей об'єктів. До таких етапів належать [3, 23]: 1) постановка задачі; 2) збір апріорної інформації про досліджуваний об'єкт; 3) вибір способу рішення задачі; 4) перевірка вибраного способу рішення задачі; 5) реалізація даного способу рішення задачі; 6) аналіз і інтерпретація результатів.

Системний підхід є фундаментальною науковою основою для раціонального дослідження, проектування та ефективного управління будь-якими складними технічними чи організаційними системами. Він розглядається як сукупність принципів і методологічних положень, що дозволяють сприймати об'єкт дослідження не як набір окремих елементів, а як цілісну структуру, у якій усі складові взаємопов'язані та взаємодіють між собою.

У процесі проектування технічних систем системний підхід передбачає всебічне вивчення кожного елемента в контексті його функціонального зв'язку з іншими частинами системи. Такий підхід дає можливість оцінювати не лише властивості окремих компонентів, а й їхній вплив на роботу всієї системи, визначати шляхи підвищення ефективності, оптимізувати структуру й функціональні процеси.

Застосування системного підходу дозволяє виявити закономірності розвитку системи, простежити динаміку змін у ній, виявити нові або приховані властивості, які проявляються лише у взаємодії елементів. Завдяки цьому можна обґрунтовано формулювати гіпотези, розробляти моделі поведінки системи в різних умовах експлуатації та визначати оптимальні режими її функціонування.

Суть планування експерименту полягає в організації дослідження таким чином, щоб усі етапи його проведення були підпорядковані чіткому математично обґрунтованому плану. Експеримент проводиться послідовно — у кілька етапів, і після кожного з них аналізуються отримані результати, на основі яких може коригуватися подальша стратегія дослідження. Такий підхід забезпечує раціональне використання ресурсів і підвищує достовірність отриманих висновків.

Застосування методів планування експерименту значно полегшує розв'язання багатьох інженерних і наукових задач, особливо тих, що мають екстремальний характер (наприклад, пошук оптимальних параметрів конструкції чи процесу). Для більшості подібних задач уже розроблені критерії оптимізації та методологічні основи, які дозволяють ефективно керувати ходом експерименту.

У планованому експерименті фактори, що впливають на результат, варіюються одночасно, а отримані дані аналізуються за допомогою математико-статистичних методів, що дозволяє оцінити їхню достовірність і взаємозв'язок між змінними.

Хоча теоретично фактори можуть змінюватися на будь-якій кількості рівнів, на практиці для спрощення обробки результатів і побудови поліноміальних моделей (що зручно для аналізу та прогнозування) зазвичай достатньо використовувати два, три або п'ять рівнів варіювання.

Проведення експериментів із більшою кількістю рівнів ускладнює процес дослідження, вимагає значних витрат часу та ресурсів, тому такі багаторівневі експерименти застосовуються рідко — переважно в складних наукових або промислових проєктах, де необхідна підвищена точність результатів.

Якщо під час проведення експерименту з дворівневою системою вимірювання факторів реалізуються всі можливі комбінації їх рівнів, тобто , то такий експеримент називають повним факторним експериментом (ПФЕ) або повним планом. Зазвичай результати такого експерименту зручно подавати у вигляді матриці планування. Приклад матриці планування для трьохфакторного експерименту з використанням кодованих значень рівнів факторів наведено в

таблиці 2.1. (Додаток 1) Стівпці матриці ПФЕ мають одну з ключових властивостей, важливих для планування експерименту — ортогональність [4].

Використання математичних методів у плануванні експериментів під час дослідження технічних систем дає змогу ефективно вирішувати низку наукових і практичних завдань. Зокрема, ці методи забезпечують:

1. побудову математичних моделей різного рівня складності для технічних пристроїв та визначення оптимальних параметрів їхньої роботи;
2. проведення випробувань технічних систем для виявлення можливих помилок, допущених під час проєктування, виробничих дефектів чи конструктивних недоліків, а також для подальшого вдосконалення конструкції обладнання;
3. оцінку фактичних показників роботи системи у певний момент експерименту та прогнозування змін цих показників у процесі експлуатації;
4. дослідження людино-машинних комплексів з метою визначення їхніх оптимальних технічних характеристик — таких як рівень навантаження оператора, режими та тривалість роботи, кількість і розташування органів керування тощо;
5. проведення виробничих експериментів для визначення раціонального використання потужностей підприємства, аналізу впливу керованих факторів (незалежних змінних) на технологічну або економічну ефективність виробництва;
6. уточнення або створення нових теоретичних моделей процесів, що досліджуються, а також виявлення закономірностей, які описують зміну властивостей і поведінки технічних систем.

Загалом, застосування математичних методів планування експерименту підвищує точність, надійність і практичну цінність отриманих результатів, дозволяючи глибше зрозуміти закономірності функціонування та вдосконалити конструкцію технічних об'єктів.

### 2.3. Характеристика обладнання експериментальних досліджень малогабаритного обприскувача

Експериментальні методи дослідження деформацій, напружень, переміщень і зусиль відіграють важливу роль у визначенні реальних навантажень, що діють на деталі та конструкції машин під час їх проектування, випробувань і особливо при роботі в реальних експлуатаційних умовах.

Сільськогосподарські машини, агрегати та комплекси функціонують у складних кліматичних і рельєфних умовах. Під час виконання технологічних операцій, через жорстке кріплення робочих органів і вузлів, на основні несучі елементи діють значні динамічні навантаження. Вони виникають як через зовнішні перешкоди, так і через вібрації, джерелом яких є високообертові та недостатньо збалансовані частини механізмів. Тому створення нових, а також модернізація або вдосконалення існуючих сільськогосподарських машин без достовірних даних про реальні динамічні навантаження не відповідають сучасним вимогам до техніки.

Сучасні вимірювальні системи, що використовуються для визначення статичних і динамічних навантажень, базуються на застосуванні новітніх комп'ютерних технологій, зокрема портативних пристроїв, та спеціального програмного забезпечення для одночасного збору, реєстрації й обробки даних з різних типів датчиків у режимі реального часу. Високою точністю і надійністю відзначається апаратура провідних зарубіжних виробників, таких як "Hottinger" і "Brüel & Kjaer". Для проведення статичних випробувань, аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, метрологічних досліджень і автоматизації технологічних процесів широко застосовується модульна цифрова універсальна система MGC plus. Принципову схему вимірювання наведено на рисунку 3.7.

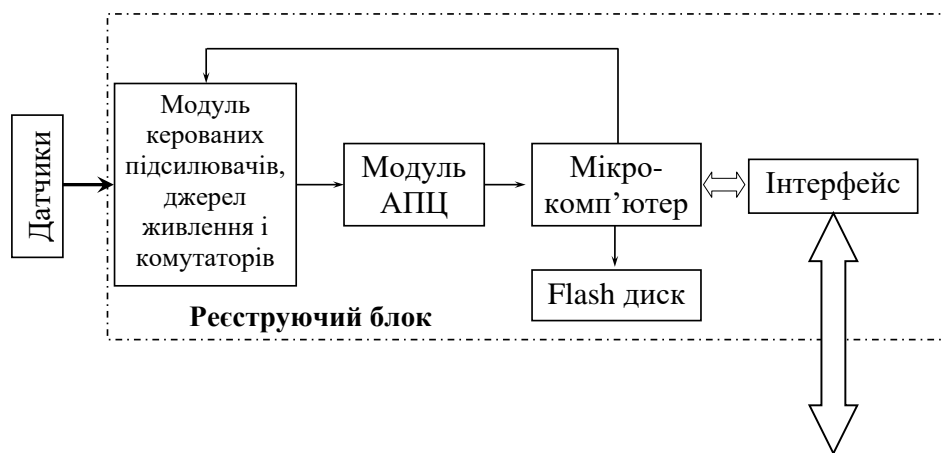


Рис. 2.7 - Принципова схема універсальної вимірюваної системи експериментальних досліджень

Для виконання експериментальних досліджень динаміки навантаження малогабаритного обприскувача використовувалася вимірювальна система, що складалася з набору різнотипних датчиків, безпосередньо встановлених у вузлах та елементах конструкції досліджуваного об'єкта. До складу системи входили тензорезистори, датчики кутових швидкостей, акселерометри та динамометричні пристрої, а також блок, який забезпечував підсилення, фільтрацію та реєстрацію статичних і динамічних сигналів під час вимірювання деформацій, зусиль і параметрів руху (позначений штриховою лінією). Пристрій має вісім незалежних каналів, кожен із яких працює з окремим аналого-цифровим перетворювачем, що дозволяє проводити вимірювання з частотою від 0 до 2000 Гц.

Зазначена вимірювальна система фактично охоплює весь спектр завдань, пов'язаних з електричними вимірюваннями механічних параметрів. Аналого-цифрові перетворювачі в ній працюють синхронно, що забезпечує одночасну реєстрацію даних усіма каналами. Керування системою та обробка отриманих результатів здійснюються комп'ютером за допомогою спеціально розробленого програмного пакета.

Сучасна вимірювальна система може функціонувати як у режимі безпосереднього керування через портативний комп'ютер (аналогічно до закордонних зразків), так і автономно. Налаштування режимів роботи та передача даних здійснюються через стандартний інтерфейс — від зовнішнього комп'ютера

до вбудованого мікрокомп'ютера, який розташований у вимірювальному блоці.

Для проведення комплексних досліджень мобільних машин, а також окремих їх вузлів і елементів у лабораторних та польових умовах використовується універсальна вимірювальна система, що забезпечує високу точність і надійність отриманих результатів.

Завдяки високій чутливості (діапазон вимірюваних вхідних напруг становить від  $\pm 50$  мкВ до  $\pm 5$  В) система дозволяє ефективно застосовувати стандартизовані тензорезистивні, вібраційні та інші типи датчиків, навіть із відносно низьким рівнем чутливості. Це робить можливим фіксування найменших змін механічних параметрів, таких як деформації, вібрації, прискорення та зусилля, що виникають під час роботи техніки.

Крім того, універсальна вимірювальна система забезпечує гнучкість налаштування під різні типи експериментів — від статичних вимірювань до високочастотних динамічних процесів. Вона може бути інтегрована з комп'ютерними засобами реєстрації та обробки даних, що дає змогу оперативно аналізувати результати, будувати графічні залежності, виявляти закономірності зміни навантажень і вдосконалювати конструкції мобільних машин на основі експериментально підтверджених даних. Загальний вигляд реєструючого блоку вимірювальної системи, рис. 2.8.



Рис. 2.8 Реєструючий блок вимірювальної системи

## **Основні технічні параметри вимірювальної системи:**

### **1. Склад і структура системи:**

До вимірювального комплексу входить універсальний реєструвальний блок та набір спеціалізованих приладів, призначених для визначення різних механічних параметрів. До них належать:

- динамометри для вимірювання трьохкомпонентних динамічних характеристик;
- сенсори кутових швидкостей;
- акселерометри для визначення вібраційних прискорень;
- динамометричні елементи триточкової начіпної системи;
- тензорезистивні датчики;
- прилади для проведення енергетичного аналізу роботи машин.

Програмне забезпечення.

### **2. Основні технічні параметри реєстраційної системи:**

- кількість вимірювальних каналів: 8;
- режим використання каналів: комбінований, що дозволяє одночасно проводити різнотипні вимірювання;
- діапазон частоти дискретизації: від 1 до 2000 Гц для кожного каналу;
- тривалість автоматичного запису даних: до 52 хвилин при максимальній.

### **3. Принцип роботи системи реєстрації даних:**

- автономний режим: система функціонує за допомогою вбудованого мікрокомп'ютера, який здійснює збір і збереження інформації на вбудований flash-накопичувач без потреби у зовнішньому керуванні.
- режим з підключенням до зовнішнього комп'ютера: передбачає обмін даними та керування системою через LPT-порт, що забезпечує оперативний контроль і можливість обробки результатів у реальному часі.

Важливою складовою під час проведення експериментальних досліджень є тарування датчиків та тензометричних каналів вимірювально-реєстраційної системи, що забезпечує точність і достовірність отриманих результатів. На рисунку 2.9 подано схему установки (універсального преса), на якій

здійснювалося калібрування вимірювальної апаратури перед проведенням дослідів.



Рисунок 2.9 - Схема тарування тензOMETричних каналів реєструючої апаратури

Експериментальні дослідження проводилися безпосередньо в польових умовах. Для їх проведення було вибрано як нормальні так і екстремальні умови експлуатування обприскувача. На рис. 2.10 показано дослідження коливних процесів основних мас малогабаритного обприскувача при нормальних умовах його експлуатації (щодо рельєфу поля).



Рис. 2.10 - Підготовка об'єкту для експериментальних досліджень на полі з багаторічними травами

## Висновки по розділу

1. У результаті проведених досліджень були отримані основні показники польових випробувань малогабаритного обприскувача, які підтвердили його високу технологічну ефективність. Водночас встановлено, що жорстка підвіска негативно впливає на рівномірність та якість нанесення робочого розчину під час обприскування.

2. Наведено опис вимірювального обладнання, використаного для дослідження динамічних процесів у малогабаритному обприскувачі, зокрема охарактеризовано вимірювальну апаратуру, методику проведення експериментів і процедуру тарування приладів.

3. У ході експериментів із вивчення коливань процесів було встановлено, що частоти збурювальних сил в межах  $\omega = 0 \dots 10 \text{ Гц}$  при амплітудах  $y = 0 \dots 0,15 \text{ м}$ . знаходяться в певному діапазоні, а відповідні амплітуди коливань мають визначені значення, характерні для робочих режимів обприскувача.

4. Встановлено граничні значення коефіцієнтів динамічності в центрі мас машини для основних режимів руху (5–7 км/год). Для пружної підвіски вони становлять  $k_d = 2.5$ , а для жорсткої  $k_d = 6$ . Аналогічні значення коефіцієнтів динамічності отримано і для краю штанги: при пружній підвісці  $k_d = 7$ , при жорсткій  $k_d = 14$ . Ці результати дозволяють оцінити вплив типу підвіски на стабільність роботи обприскувача та якість технологічного процесу.

### 3. КОМПЛЕКСНА ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ У ПРИЧІПНОМУ МАЛОГАБАРИТНОМУ ОБПРИСКУВАЧІ

#### 3.1. Методика розрахунку конструктивних параметрів малогабаритного обприскувача

Важливим етапом будь-якої роботи є її практичне застосування. З цією метою теоретичні викладки дипломної роботи приводяться до рівня інженерних розрахунків, що обумовлюється застосуванням розробленої інженерної методики для проектування нових, модернізації та удосконалення існуючих сільськогосподарських машин.

Малогабаритний обприскувач розглядається у вигляді одновісного причіпа, який шарнірно з'єднується з трактором за допомогою серги. Вважаємо, що при русі агрегату в горизонтальному напрямку на колеса передається кінематичне збурення, яке описується за допомогою функцій  $\xi_1(t)$ ,  $\xi_2(t)$ . Крім того вважаємо, що жорсткості коліс  $k_1, k_2$ , пружин амортизаторів  $c_1, c_2$  і коефіцієнти в'язкості демпферів обох коліс  $b_1, b_2$  однакові, позначимо їх  $k, c, b$ .

Нехай висота шини колеса (жорсткістю  $k$ ) до деформації  $l$ , пружини (жорсткістю  $c$ ) –  $L$ .

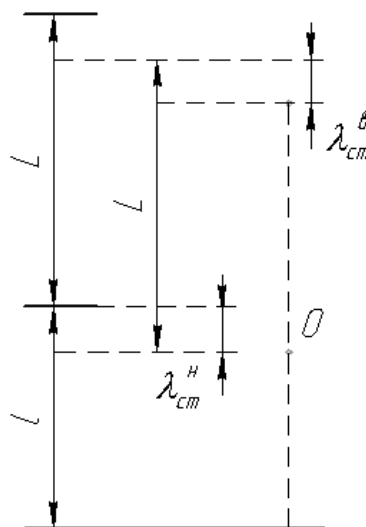


Рисунок 3.1 - Схема деформацій пружних елементів обприскувача

$$\lambda_{cm}^b = \frac{Mg}{2c}. \quad (3.1)$$

Розглядаючи статичну рівновагу рами обприскувача, матимемо (рис. 3.2)

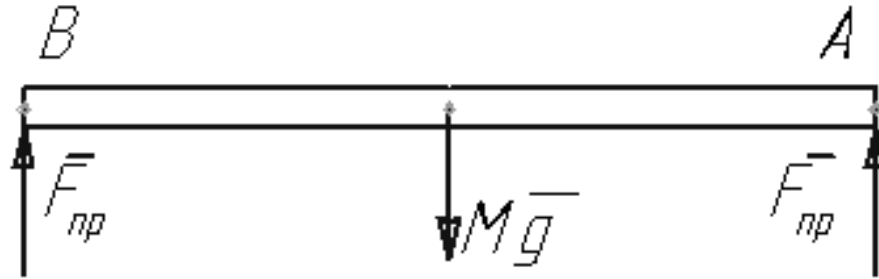


Рисунок 3.2 - Схема рами обприскувача в статичній рівновазі

$$mg + c\lambda_{cm}^b = k\lambda_{cm}^u;$$

$$mg + \frac{Mg}{2} = k\lambda_{cm}^u,$$

звідки

$$\frac{(2m + M)g}{2} = k\lambda_{cm}^u,$$

$$\lambda_{cm}^u = \frac{(2m + M)g}{2k}. \quad (3.2)$$

В узагальнених координатах:  $y_1$  і  $y_2$  - вертикальні переміщення коліс (відповідно правого і лівого),  $y_c$  - вертикальне переміщення центра мас. Усі переміщення приймаються такими, що відліковуються від положення статичної рівноваги, і вважаються додатними, якщо вони спрямовані вгору;  $\varphi$  - величина повороту рами відносно центра мас у поперечно-вертикальній площині;  $\psi$  - параметр зміни положення рами відносно центра мас у поздовжньо-вертикальній площині.

### 3.2. Оптимізація параметрів пружних елементів у системі обприскувача малогабаритного

На основі теоретичних досліджень, виконаних у другому розділі, та розробленої інженерної методики підсумковими результатами для обґрунтування оптимальних параметрів пружних елементів малогабаритного обприскувача стали амплітудно-частотні та фазово-частотні характеристики його коливань.

Тут для нас є необхідність проаналізувати множину отриманих графіків при варіюванні жорсткостями підвіски обприскувача та виявлення при цьому резонансних зон.

При виконанні додаткових досліджень було встановлено наступне:

- жорсткість шин коліс можна змінювати в межах  $k = (2...10) \cdot 10^4 \text{ Н / м}$  ;
- коефіцієнт в'язкості амортизатора  $b = 90...600 \frac{\text{Нс}}{\text{м}}$  ;
- жорсткість пружин амортизаторів  $c = (20...50) \cdot 10^3 \text{ Н / м}$  .
- маса колеса в зборі  $m = 7.5 \text{ кг}$  ;
- маса обприскувача основна  $M = 250 \text{ кг}$  ;
- пів ширини колії  $d = 0,55 \text{ м}$  .

Розглядаємо отримані результати за двома випадками: перший – збурююча сила на двох колесах є однаковою ( $\xi_1(t) = \xi_2(t)$ ); другий - збурююча сила на двох колесах є неоднаковою (більш критичний випадок, коли  $\xi_1(t) = -\xi_2(t)$ ).

При варіюванні значень жорсткостей в першому випадку отримано наступні результати, рис. 3.3 - 3.7.

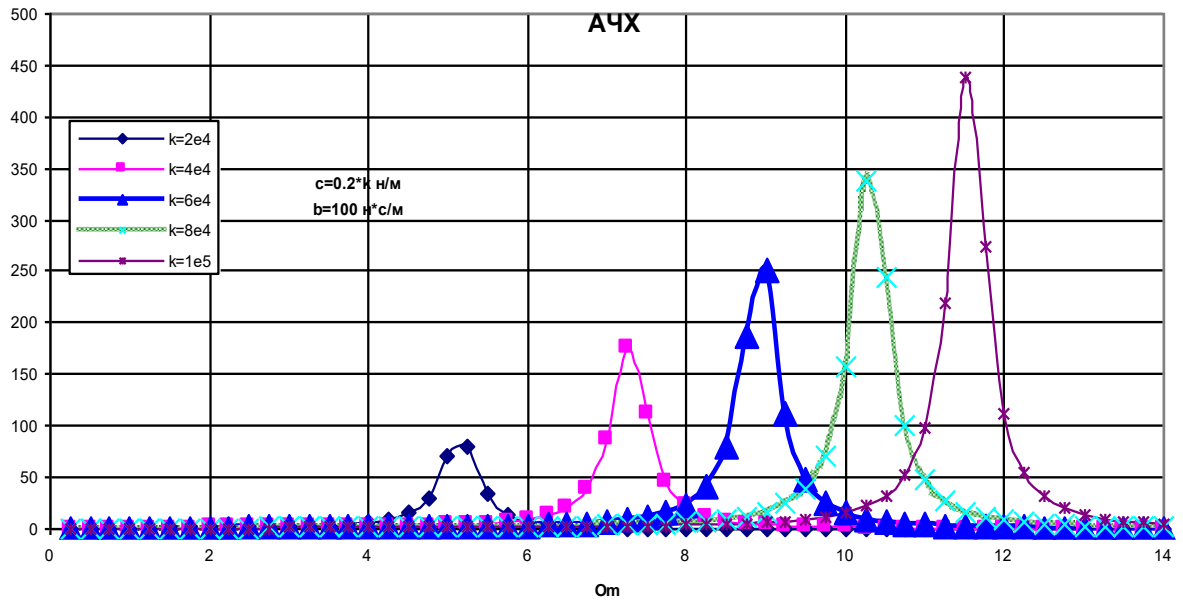


Рисунок 3.3 - Амплітуди коливань центра мас обприскувача при зміні жорсткості шини колеса

Звідси видно, що підвищення жорсткості шин коліс сприяє у відведенні резонансної зони у більш високочастотне поле.

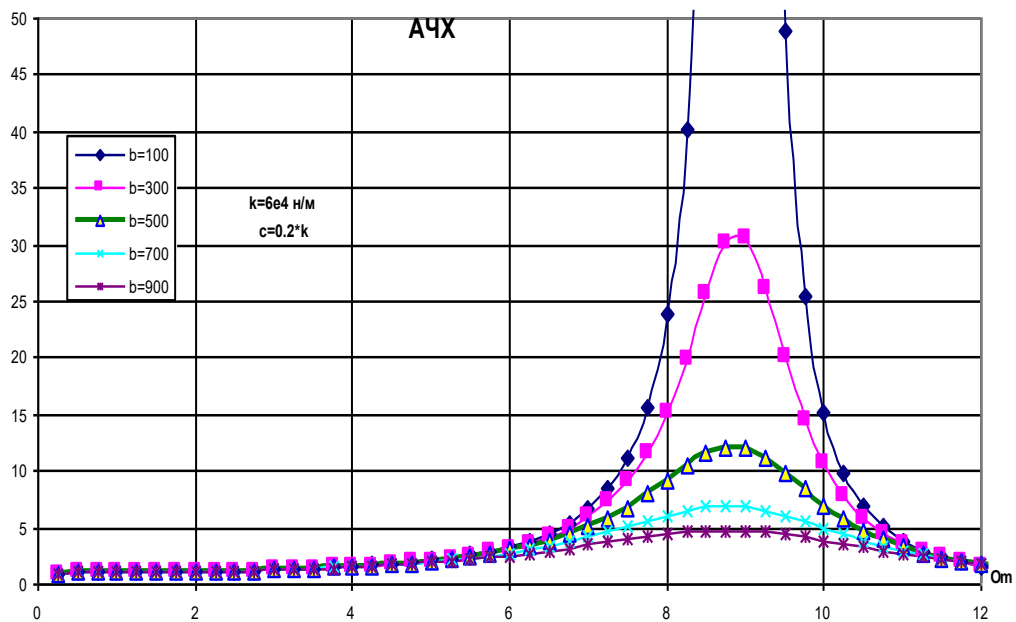


Рисунок 3.4 - Амплітуди коливань центра мас обприскувача при зміні коефіцієнта в'язкого опору демпфера підвіски

Тут із збільшенням коефіцієнта в'язкого опору демпфера підвіски амплітуди коливань мас обприскувача значно зменшуються.

Детальніше розглянемо другий випадок, коли є неоднакова дія збурюючих сил.

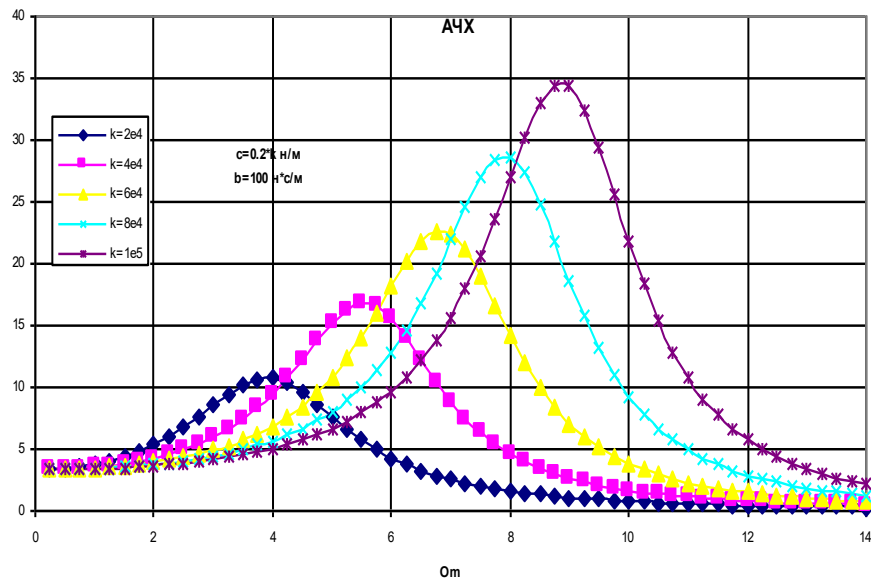


Рисунок 3.5 - Амплітуди коливань обприскувача навколо центра мас при зміні жорсткості шини колеса

Тут відповідно маємо, що при підвищенні жорсткості колеса амплітуди зростають.

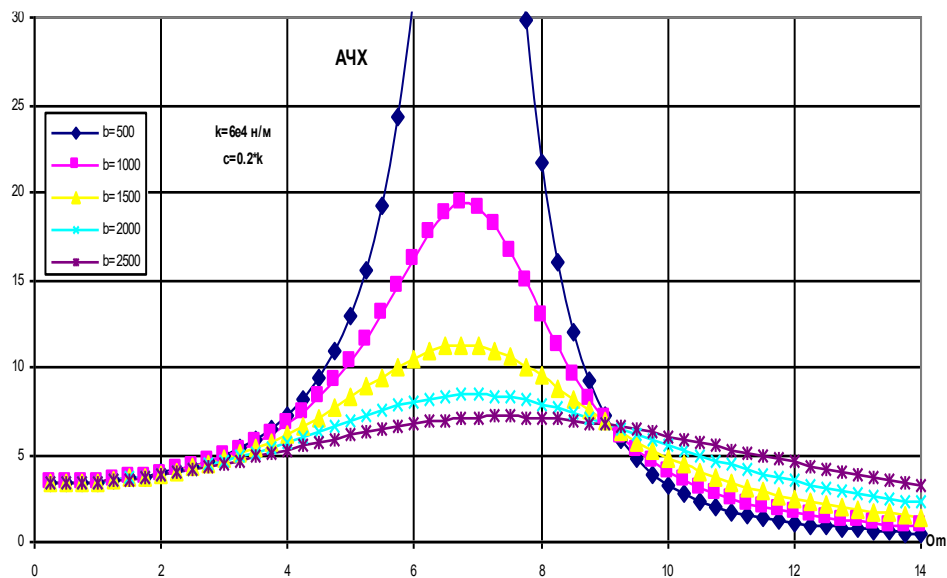


Рисунок 3.6 - Амплітуди коливань обприскувача навколо центра мас при зміні коефіцієнта в'язкого опору демпфера підвіски

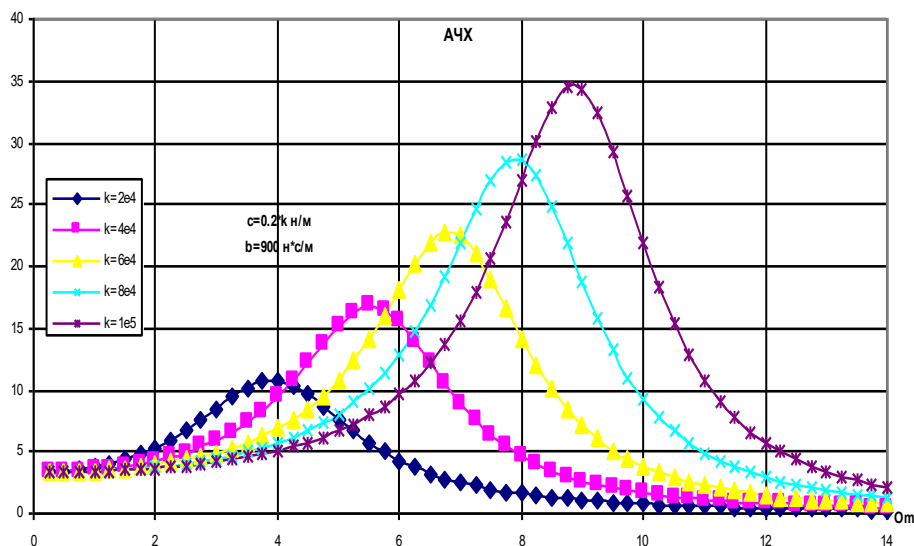


Рисунок 3.7 - Амплітуди коливань обприскувача навколо центра мас при зміні жорсткості шини колеса і збільшенні коефіцієнта в'язкого опору демпфера підвіски

Отже, підводячи підсумок отриманих результатів маємо, що використання описаної інженерної методики дозволяє варіювати параметрами жорсткості і в'язкості елементів підвіски на різних експлуатаційних режимах роботи обприскувача та вибрати їх найбільш раціональні значення.

### 3.3. Розрахунок на міцність функціонально-несучих елементів штанги обприскувача

Штанга досліджуваного малогабаритного обприскувача складається з трьох частин — центральної та двох бокових секцій. Крайні секції виконані у формі труб з отворами, у яких встановлюються розпилювачі. Геометричні параметри поперечного перерізу функціонально-несучого трубопроводу позначаються як  $D = 26\text{мм}$ ,  $d = 22\text{мм}$ , а матеріалом виготовлення є сталь марки Ст.3. Товщина стінки трубопроводу перевищує одну десяту середнього радіуса циліндра [28], що дозволяє віднести його до категорії товстостінних циліндрів.

Таким чином, наведене обґрунтування підтверджує можливість використання теорії товстостінних циліндрів для проведення міцнісного розрахунку штанги.

Розглядатимемо циліндр загального типу з внутрішнім радіусом  $r_1$  і зовнішнім  $r_2$ , на який діють внутрішній тиск  $p_1$  і зовнішній  $p_2$ . Завдяки осьовій симетрії форми циліндра та характеру навантаження, напруження і деформації розподіляються симетрично відносно його осі.

Двома площинами, що перпендикулярні до осі циліндра і знаходяться одна від одної на відстані, рівній одиниці, виріжемо кільце (рис. 4.8).

В цьому кільці виділимо елемент  $abcd$  двома площинами, що проходять через вісь циліндра і утворюють між собою кут  $d\theta$  (рис. 3.8, а), і двома співвісними циліндричними поверхнями з радіусами  $r$  і  $r+dr$  (рис. 3.8, б).

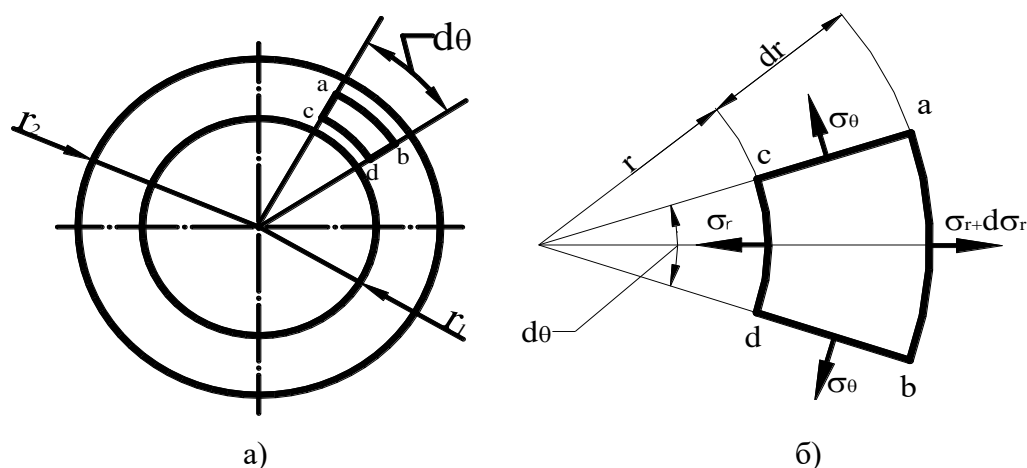


Рисунок 3.8 - Вирізані елементарні частинки циліндра

Нормальні напруження на циліндричній поверхні елемента, що мають радіус  $r$  (радіальні напруження), позначимо через  $\sigma_r$ ; на радіусі  $r+dr$  нормальні напруження отримають приріст і будуть рівні  $\sigma_r+d\sigma_r$ . Нормальні напруження на плоских гранях (тангенційні або колові) позначимо через  $\sigma_\theta$ . Вказані на рис. 3.8, б напрямки напружень вважаються додатними і відповідають розтягові елемента за двома взаємно перпендикулярними напрямками.

Внаслідок осьової симетрії циліндра та навантажень перекошування елемента не буде і дотичні напруження не виникатимуть. Тому напруження  $\sigma_r$  і  $\sigma_\theta$  будуть головними напруженнями.

Викреслюємо розрахункову схему рис. 3.9.

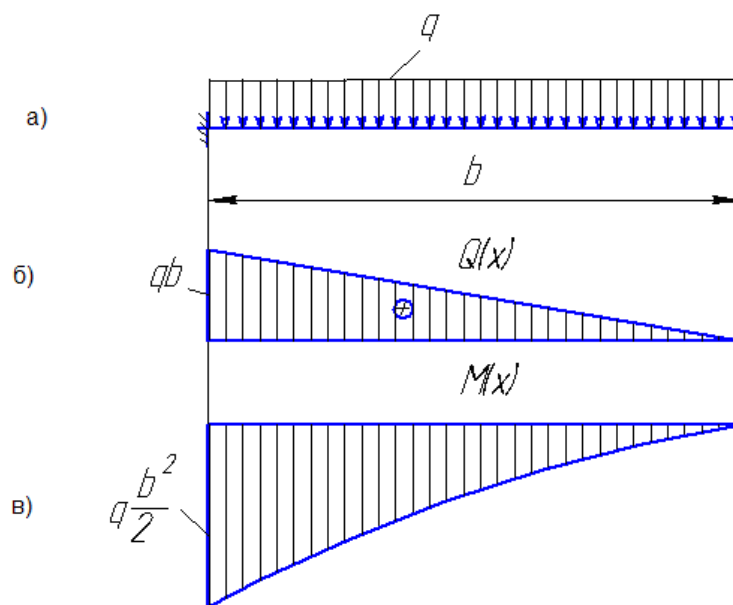


Рис. 3.9 - Розрахункова схема консольної частини секції штанги

Фактично, якщо не розглядати міцності утримуючої стінки секції штанги, то секцію-балку можна представити як дві консольні балки, що защемлені в утримуючому хомуті.

Навантаження для випадку однакового і одночасного наїзду коліс обприскувача на перешкоди  $\xi_1(t) = \xi_2(t)$ , буде рівномірно розподіленим по всій довжині секції штанги, для даного випадку коливання здійснюються тільки при плоскопаралельному русі центра мас ( $y_c$ ) обприскувача.

На цьому етапі дослідження, коли коефіцієнт динамічності  $k_d = 2.5$ , матимемо.

Підрахуємо значення питомого навантаження на секцію-балку штанги

$$q = \left( \frac{\pi d^2}{4} \rho_p + \left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \rho_m \right) \nu, \quad (3.3)$$

де  $\rho_p, \rho_m$  - відповідно густина рідини і матеріалу трубопроводу штанги;

$\nu = 1,1$  - коефіцієнт, що враховує збільшення ваги секції штанги за рахунок приєднувальних штуцерів;

$D$  - зовнішній діаметр трубопроводу штанги,  $D = 0.026 \text{ м}$ .

Розглядаючи більшу частину консолі секції штанги (див. рис.3.9), запишемо, використовуючи метод перерізів [28], вирази внутрішніх силових факторів, а саме:

- перерізуючі сила (справа-наліво  $0 \leq x \leq b = 1.2 \text{ м}$ )

$$Q(x) = qx, \quad (3.4)$$

Тоді

$$Q(0) = 0; \quad Q(b) = k_0 qb = 2.5 \cdot 15.8 \cdot 1.2 = 47.4 \text{ Н}$$

- згинаючі моменти на цій же ділянці

$$M(x) = k_0 q \frac{x^2}{2}, \quad (4.5)$$

$$M(b = 1.2) = 2.5 \cdot 15.8 \frac{1.2^2}{2} = 28.44 \text{ Нм}$$

Отже, за отриманими даними будуюмо епюри внутрішніх силових факторів рис. 3.9 (б, в).

За максимальним згинаючим моментом у небезпечному перетині визначаємо нормальні напруження за формулою:

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32 \max}}{W_0} \leq [\sigma_{32}], \quad (3.6)$$

де  $W_0$  - осьовий момент опору перетину

$$W_0 = \frac{\pi D^3 \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)}{32} = \frac{3.14 \cdot 0.026^3 \left(1 - \left(\frac{0.022}{0.026}\right)^4\right)}{32} = 8.41 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Тоді напруження становитиме

$$\sigma = \frac{28.4}{8.41 \cdot 10^{-7}} = 33.8 \text{ МПа}$$

Знайдені тут напруження задовольняють умову міцності при згині такого трубопроводу. Крім міцності, для прольоту секції штанги, який консольно кріпиться в основному утримуючому хомуті стійки, не слід забувати про відповідну жорсткість цього функціонально несучого трубопроводу.

### 3.4 Розрахунок основного елемента рами причіпного малогабаритного обприскувача

Викреслюємо реальну раму при максимальній ширині колії (з одного боку) обприскувача. Аналізуючи її можна бачити, що навантаження основної ваги (бака) сприймає елемент 1, до якого приєднані висувні консолі 3, що через стійки 2 оперті на колеса. За конструктивної особливості існуючої конструкції рами обприскувача елемент 1 має достатній запас міцності, а от висувні консолі 3, в перетині приєднання до елемента 1, сприймають максимальні навантаження від діючих сил зі сторони колеса. Їх міцність варто перевірити. З цього приводу розглядаємо раму обприскувача в поперечно-вертикальній площині та викреслюємо розрахункову схему, рис.3.10.

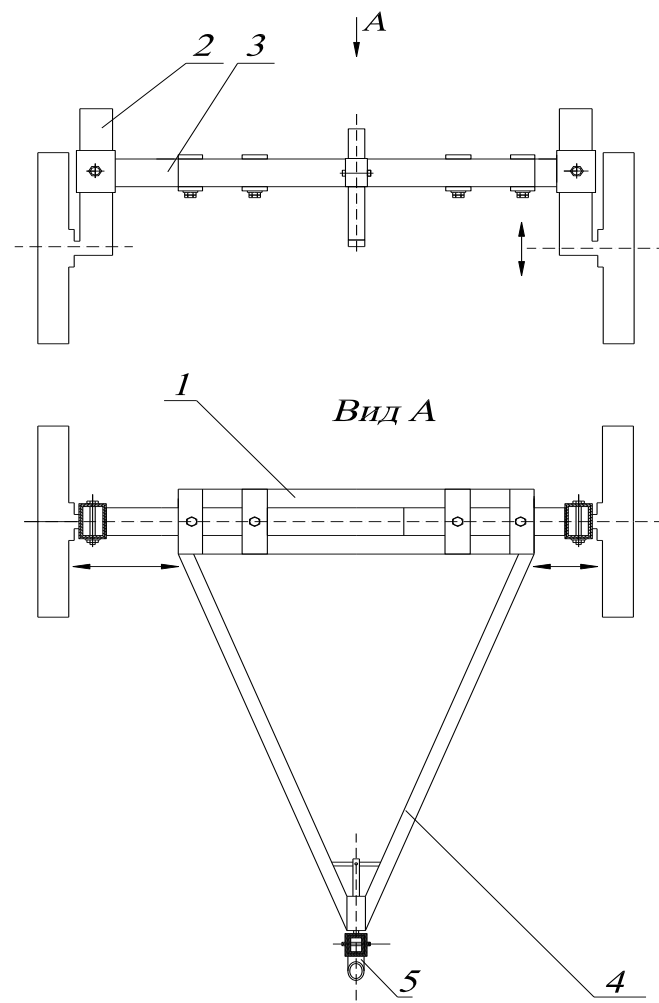


Рисунок 3.10 - Рама обприскувача

Схема представляє собою брус змінної жорсткості, причому його середню частину можна розглядати як перетин високої жорсткості і його міцність розглядати не будемо, а також вважатимемо, що дія причепа 4 є незначною. До розгляду будуть представлені дві консолі, які служать для зміни ширини колії обприскувача.

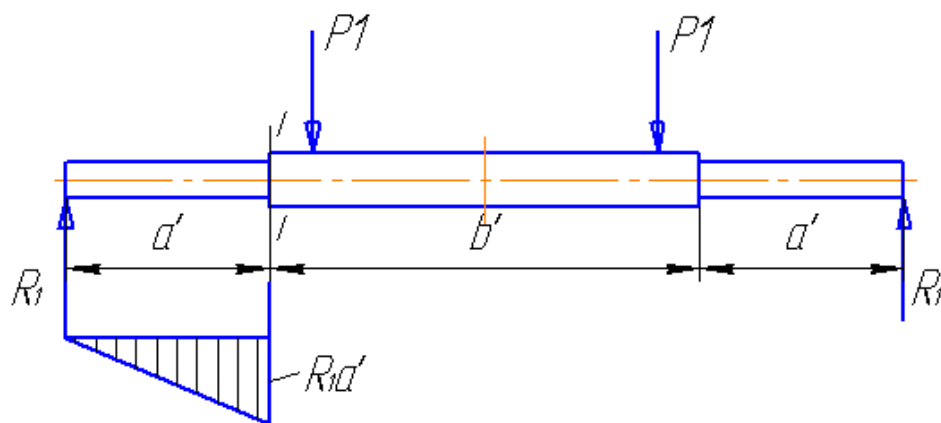


Рис. 3.11 - Розрахункова схема ходової частини обприскувача

Оскільки схема симетрична, то можна розглядати її половину. Із симетричності навантаження маємо, що

$$P_1 = R_1,$$

де  $P_1$  - зовнішнє навантаження, що складається з повної ваги обприскувача із врахуванням коефіцієнта динамічності  $k_0 = 2.5$  при першому варіанті навантаження та пружній підвісці обприскувача;

$R_1$  - опорна реакція.

Для нас буде представляти інтерес перетин I-I переходу (приєднання) консолі в середню частину рами. Тут буде діяти максимальний згинаючий момент на цій ділянці

$$M_{зг} = R_1 \cdot a' = 3375 \cdot 0.22 = 742.5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.7)$$

де  $a'$  - відстань від дій опорної реакції до розглядуваного перетину,  $a' = 0.22$  м.

Напруження в цьому перетині становитиме

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_0} \leq [\sigma_{зг}], \quad (3.8)$$

$$\text{де } W_0 = \frac{4}{3} H^2 \delta = \frac{4}{3} \cdot 0.04^2 \cdot 0.002 = 5.33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

тоді напруження

$$\sigma_{зз} = \frac{742,5}{5,33 \cdot 10^{-6}} = 1,39 \cdot 10^8 \text{ Па} = 139 \text{ МПа}.$$

При жорсткій підвісці ( $k_0 = 6$ )

$$M_{зз} = R_1 \cdot a' = 8100 \cdot 0.22 = 1782 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\sigma_{зз} = \frac{1782}{5,33 \cdot 10^{-6}} = 3.341 \cdot 10^8 \text{ Па} = 334.1 \text{ МПа}.$$

Як видно із проведеного дослідження, що напруження при встановленому коефіцієнті динамічності  $k_0 = 2.5$  не перевищують допустимі. Але експлуатування обприскувача на інших підвищених режимах призведе до збільшення коефіцієнта динамічності ( $k_0 = 6$ ) і тоді міцність не забезпечується.

Цю проблему можна виправити кількома шляхами: один з них це підсилення поперечного перетину консолі, що призводить до збільшення маси конструкції; або ж знизити допустимі навантаження за рахунок введення пружних елементів в систему підвіски обприскувача. Другий шлях є більш прийнятним, оскільки буде зменшення впливу динамічних сил на всі елементи обприскувача.

## Висновки по розділу

1. В результаті розробки інженерної методики розрахунку конструктивних параметрів елементів підвіски малогабаритного обприскувача отримано кінцеві вирази амплітудно- і фазово-частотних характеристик при реальних умовах експлуатування обприскувача.

2. Визначено діапазон резонансних значень збурюючої сили для жорсткої підвіски обприскувача, який розташовується в межах...  $\omega > 14 \text{ Гц}$ , а у випадку пружної підвіски  $\omega > 10 \text{ Гц}$ , це відповідає частотним діапазонам, що не виникають під час експлуатації даного обприскувача. Підвіски функціонують у

дорезонансних зонах. Частотою збурюючої сили, що відповідає основним технологічним процесам є  $\omega = 8 \text{ Гц}$ .

2. На підставі числового розв'язання системи диференціальних рівнянь руху малогабаритного обприскувача визначено значення коефіцієнтів динамічності в характерних точках: в центрі мас обприскувача для пружної підвіски  $k_{\delta} = 2.5$ ; жорсткої підвіски  $k_{\delta} = 6$ . При виконанні розрахунків на міцність елементів конструкції встановлено: поперечний перетин функціонально-несучого трубопроводу секції штанги - внутрішній діаметр  $d = 22 \text{ мм}$ .

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз виробничих умов і безпечних методів роботи малогабаритних обприскувачів

Експлуатація малогабаритних обприскувачів у сільському господарстві передбачає роботу в умовах підвищеної фізичної та хімічної небезпеки. Основні джерела ризику пов'язані з механічними частинами обприскувача, контактом з отрутохімікатами, впливом навколишнього середовища та тривалою роботою в одноманітних позах. Аналіз умов праці дозволяє ідентифікувати потенційні загрози та визначити ефективні заходи безпеки.

#### **Основні фактори небезпеки**

Механічні ризики:

- можливість травмування рук і ніг під час обслуговування штанги, насосного обладнання та інших рухомих частин;
- потенційне защемлення між елементами штанги та конструкції обприскувача, особливо при розкритті або складанні секцій;
- ризик падіння оператора через нерівності ґрунту, слизькі поверхні або під час переміщення обприскувача по схилу;
- ураження від випадкового зіткнення зі штангою під час роботи у вузьких або густонаселених насадженнях.

Хімічні небезпеки:

- контакт шкіри з агрохімікатами під час заправки бака або промивання системи розпилення;
- потрапляння робочих розчинів на слизові оболонки та очі, що може викликати подразнення або алергічні реакції;
- вдихання аерозолів хімікатів під час обприскування, що негативно впливає на дихальні шляхи та загальний стан здоров'я.

Ергономічні та організаційні фактори

1. Тривале перебування в незручних позах під час роботи зі штангою або обслуговування агрегату.
2. Висока фізична навантаженість, пов'язана з повторюваними рухами та переміщенням техніки по полю.
3. Недостатня видимість у високих або густих культурах, що підвищує ймовірність зіткнень і травм.

#### 4.2. Нормативно-правова база

Експлуатація малогабаритних обприскувачів регламентується державними стандартами та санітарними правилами:

1. ДСТУ та ГОСТи на сільськогосподарську техніку, що визначають безпечні конструкційні параметри та вимоги до захисних елементів.
2. Санітарні правила щодо роботи з отрутохімікатами, які регламентують застосування засобів індивідуального захисту та правила обробки робочих розчинів.
3. Інструкції виробників обприскувачів, які містять вимоги щодо монтажу, обслуговування та безпечної експлуатації.

#### 4.3. Заходи безпеки та охорони праці

##### **Технічні заходи:**

- оснащення рухомих частин захисними кожухами, що запобігають травмам;
- використання стабілізаторів та обмежувачів штанги для зменшення випадкових коливань;
- герметичні з'єднання трубопроводів та клапани для запобігання протіканню агрохімікатів;
- встановлення сигналізацій та індикаторів рівня рідини у баку для контролю стану системи.

## **Організаційні та інструктивні заходи**

1. Проведення обов'язкових інструктажів з охорони праці перед початком робіт.
2. Планування робочого часу з перервами для запобігання перевтоми.
3. Організація чіткої розмітки робочих зон на полі та підтримання безпечної дистанції між оператором і штангою.
4. Регулярне проведення медичних оглядів операторів та моніторинг стану здоров'я.

## **Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)**

1. Захисний одяг, рукавички та взуття з протиковзною підошвою.
2. Респіратори або маски для захисту дихальних шляхів під час роботи з аерозолями.
3. Захисні окуляри або щитки для запобігання потрапляння крапель хімікатів на очі.
4. Головні убори та водонепроникний одяг для роботи в умовах підвищеної вологості або під прямим сонячним промінням.

## **Практичні рекомендації:**

- перед початком роботи необхідно перевіряти технічний стан обприскувача, цілісність шлангів та герметичність з'єднань;
- під час роботи в полі слід дотримуватися безпечної швидкості пересування та уникати різких рухів штанги;
- використовувати спеціальні підставки або кріплення для штанги під час обслуговування та заправки бака;
- забезпечити наявність мийки та місця для обробки рук після контакту з хімікатами;
- зберігати агрохімікати у спеціально відведених приміщеннях із маркуванням та засобами захисту.

## Висновок по розділу

Систематичне дотримання технічних, організаційних та індивідуальних заходів безпеки дозволяє значно знизити ризики травматизму та негативного впливу хімікатів, підвищити ефективність роботи та забезпечити безпечну експлуатацію малогабаритних обприскувачів у різних умовах сільськогосподарського виробництва.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВДОСКОНАЛЕНОГО МАЛОГАБАРИТНОГО ОБПРИСКУВАЧА

Розрахунок техніко-економічних показників здійснюється шляхом порівняння з базовим обприскувачем – агрегатом ОМПШ-150. Головна відмінність удосконаленого агрегату полягає у наявності допоміжних робочих органів, завдяки яким зменшується кількість технологічних зупинок для очищення та регулювання. Це сприяє підвищенню коефіцієнта використання робочого часу протягом зміни і, відповідно, збільшує продуктивність машини. Початкові дані для розрахунків наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Початкові дані, необхідні для проведення техніко-економічних розрахунків.

№	Найменування показника	Одиниця вимірювання	Базова машина	Удосконалена машина
1	Річний обсяг виконаних робіт	га	85	85
2	Робоча продуктивність агрегату	га/год	2,31	2,82
3	Витрати пально-мастильних матеріалів	кг/га	0,9	0,8
4	Вартість трактора	грн	280000	280000
	Вартість обприскувача	грн	68000	69900
5	Кількість обслуговуючого персоналу	осіб	1	1

Отримані результати проведених техніко-економічних розрахунків подано у таблиці 5.2, де відображено основні показники ефективності роботи базової та удосконаленої машин. Детальний хід обчислень, проміжні формули та вихідні

дані представлено в додатку 2 дипломної роботи, що дає змогу простежити послідовність виконання розрахунків і підтвердити достовірність отриманих результатів.

Таблиця 5.2.

Показники економічної ефективності роботи

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		Базовий	Проект
1	Вид роботи	Нанесення пестицидів	
2	Об'єм роботи, га	85	85
3	Склад агрегата: Трактор Машина	KENTAVR404 ОМПШ-150	KENTAVR404 ОМПШ-150М
4	Продуктивність, га/год	2,31	2,82
5	Кількість нормо-годин у обсязі робіт	36,80	30,14
6	Кількість обслуговуючого персоналу -трактористів-машиністів -допоміжних працівників	1 -	1 -
7	Тарифна ставка, грн/год	98,67	98,67
8	Норма витрати пального, кг/га	0,9	0,8
9	Балансова вартість, грн: - трактора - машини	280000 68000	280000 69900
10	Комплексна ціна ПММ, грн/кг	54,8	54,8
11	Експлуатаційні витрати, грн/га у тому числі: Амортизаційні відрахування: -трактор -машини -всього . Витрати на ПММ .Витрати на ТО, ТР, зберігання, -трактора -машина -всього	861,82  66,47 43,14 109,61 49,32  623,41 153,59 786	824,86  54,45 36,33 90,78 43,84  623,51 157,90 790,41
12	Капітальні вкладення, грн/га	1129,41	1151,76
13	Приведені затрати, грн/га	1031,23	997,62
14	Річний економічний ефект, грн		2856,67
14	Термін окупності, років		0,7

Висновок по розділу

На основі проведених техніко-економічних розрахунків встановлено, що очікуваний річний економічний ефект від використання модернізованої машини

становить 2856,85 грн за умови сезонного навантаження 85 гектарів. Отриманий показник свідчить про підвищення ефективності роботи агрегату та зменшення експлуатаційних витрат порівняно з базовим зразком. Розрахований термін окупності модернізованого обприскувача становить 0,7 року, що підтверджує доцільність упровадження удосконаленої конструкції в господарську практику та її економічну вигідність у короткостроковій перспективі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У межах даної дипломної роботи запропоновано інноваційний підхід до розв'язання науково-технічної проблеми підвищення експлуатаційних показників несучих і функціональних елементів малогабаритного сільськогосподарського обприскувача. Підхід базується на розробленій аналітичній моделі, яка враховує сукупний вплив експлуатаційних факторів, конструктивних та кінематичних параметрів обприскувача, а також стан оброблюваних площ. Така модель дозволяє комплексно оцінювати роботу техніки та прогнозувати її ефективність в реальних умовах експлуатації.

2. Нова конструкція пружної підвіски рами обприскувача дозволяє значно зменшити коливання розпилювачів під час руху. Це сприяє більш рівномірному розподілу робочого розчину по поверхні рослин, підвищуючи ефективність обробки та загальну якість технологічного процесу.

3. За допомогою розробленої інженерної методики обґрунтовано оптимальні значення жорсткості шин, пружин підвіски та в'язкості демпфера, що забезпечують стійкість руху обприскувача та точність обприскування.

4. Аналітичні дослідження показали, що частоти збурюючих сил для основних технологічних процесів перебувають у межах  $\omega = 0 \dots 10 \text{ Гц}$  при амплітудах  $y = 0 \dots 0.15 \text{ м}$ . Ці дані дозволяють визначити критичні режими роботи та уникати їх під час експлуатації.

5. Обґрунтовано геометричні параметри поперечного перерізу функціонально-несучого трубопроводу штанги обприскувача: внутрішній діаметр  $d = 22 \text{ мм}$ ; зовнішній діаметр  $D \geq 26 \text{ мм}$ . Ці параметри забезпечують необхідну міцність та стійкість трубопроводу до навантажень під час роботи.

6. В результаті розрахунку економічний ефект від впровадження запропонованої машини становить 2856,85 грн. Це досягається за рахунок підвищення якості виконання технологічного процесу та зменшення втрат робочих розчинів, що підтверджує практичну доцільність запропонованих рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. у 2 т: Т 1/ А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К.: Агроосвіта, 2012. – 584 с.
2. Бабій А.В. Оптимізація конструктивних параметрів опор бака спеціального малогабаритного обприскувача: Дис... канд. тех. наук: 05.05.11. – Тернопіль, 2005. – 171с.
3. Коваленко С.І., Петренко В.В. Теоретична механіка: Динаміка і статика. – К.: Вища школа, 2018. – 384 с.
4. Вікович І.А. Штангові обприскувачі для хімічного захисту рослин. - Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2003.- 480с.
5. Гуменюк О.І., Ляшенко М.В. Динаміка машин і механізмів. – Львів: Новий Світ, 2020. – 296 с.
6. Гопоненко В.С., Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини та їх використання; 4-те вид., доп. і перероб.-К.: Урожай, 1982. – 312с.
7. Матвіїшин А.Й. Розрахунково-експериментальна модель роботоздатності функціональних елементів малогабаритного обприскувача // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ, 2006, - №1 – С.87-91.
8. Матвіїшин А.Й., Костюк В.І Вплив нерівномірностей поля на динаміку малогабаритного обприскувача // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ, 2007, - №2 – С.92-96.
9. Козаченко В.В., Іваненко П.М. Механіка сільськогосподарських машин: надійність та довговічність. – К.: Ліра-К, 2019. – 304 с.Рибак Т.И. Методи оцінки несучої здатності та довговічності машин для хімічного захисту в рослинництві. - К.: Наукова думка, 1995.-232с.
10. Рибак Т.І., Бабій А.В., Матвіїшин А.Й. Дослідження динамічних характеристик малогабаритного обприскувача ОМПШ-150-1 // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. - №4. – С.64-69.

11. Шевченко А.П., Мельник О.В. Механіка та динаміка технічних систем: Навчальний посібник. – Київ: Ліра-К, 2021. – 352 с.
12. Бондаренко А.А., Петренко В.В. Надійність і довговічність сільськогосподарських машин: теорія та практика. – Київ: Наукова думка, 2018. – 288 с.
13. Сидоренко М.В., Павлюк О.О. Дослідження експлуатаційних характеристик машин для внесення засобів захисту рослин. – Харків: Основа, 2020. – 276 с.
14. Lyon R. Statistical energy analysis Umweltschutz-mehr Sicherheit//Lohnunternehmen. – 1996. – N1. – S. 52-54.
15. Sanders T.L. Singular solutions to the shallow shell equations // Journal of Applied Mechanics. – 1990. – V. 37, N2. – P. 361-366.
16. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. – Тернопіль, Збруч, 2002. – 300с.
17. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ: Держстандарт України, 1999. 22 с.
18. Чабанний В. Я. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. 353 с.
19. Державні санітарні норми та правила ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Охорона праці у сільському господарстві» – Київ, 2018.
20. ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань» – Київ, 2005 (містить норми безпеки та охорони праці при випробуваннях техніки).
21. Рибак Т.І. Методи оцінки ефективності та довговічності машин для захисту рослин. – К.: Наукова думка, 2017. – 256 с.
22. Козаченко В.В., Литвиненко В.І. Економічна оцінка та техніко-експлуатаційні показники сільськогосподарської техніки. – Львів: Новий Світ, 2021. – 344 с.
23. Шевченко А.П., Мельник О.В. Техніко-економічні показники машин та обладнання агропромислового комплексу. – Київ: Ліра-К, 2019. – 312 с.

# ДОДАТКИ

Таблиця 2.1 - Матриця планування для трьохфакторного експерименту

№ дослідю	Фактори				Похідні факторів				Параметр оптимізації $\bar{y}$
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	
1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$y_1$
2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$y_2$
3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$y_3$
4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$y_4$
5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$y_5$
6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$y_6$
7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$y_7$
8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_8$

У відповідності з виданим на дипломний проект завданням:

Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

Базовий	Проект
$K_{НГ} = \frac{W_{СЕЗ}}{W_{ГОД}} = \frac{85}{2,31} = 36,80 \text{ год}$	$K_{НГ} = \frac{W_{СЕЗ}}{W_{ГОД}} = \frac{85}{2,82} = 30,14 \text{ год}$

(5.1)

Витрати праці:

Базовий	Проект
$В_{П} = K_{НГ} \cdot n = 36,80 \cdot 1 = 36,80 \text{ год}$	$В_{П} = K_{НГ} \cdot n = 30,14 \cdot 1 = 30,14 \text{ год}$

(5.2)

де  $n = 1$  - кількість обслуговуючого персонала.

Експлуатаційні витрати.

Експлуатаційні витрати складаються з основної і додаткової заробітної плати, амортизаційних відрахувань, витрат на паливо-мастильні матеріали, витрат на технічне обслуговування, ремонт і зберігання агрегата.

Основна і додаткова заробітна плата.

Основна і додаткова заробітна плата з нарахуваннями:

$$\Pi = \frac{C_T}{W_{ГОД}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5.3)$$

де  $C_T$  - тарифна ставка, 98,67 грн/год;

$K_1 = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,375$  – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні ~~міроприємства~~.

Базовий	Проект
$\Pi = \frac{98,67}{2,31} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 70,48 \text{ грн/га}$	$\Pi = \frac{98,67}{2,82} \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 57,73 \text{ грн/га}$

~~Амортизаційні відрахування.~~

Норма амортизації для трактора – 15%, обприскувача – 15%.

Нормативне завантаження на рік:

- трактора - 1550год;
- машини - 580год

Базовий

$$\text{Трактор: } A_{\text{ТР}} = \frac{280000 \cdot 85}{100 \cdot 1550 \cdot 2,31} = 66,47 \text{ грн/га}$$

$$\text{машина: } A_{\text{М}} = \frac{68000 \cdot 85}{100 \cdot 580 \cdot 2,31} = 66,47 \text{ грн/га}$$

$$\text{Всього: } A_{\Sigma} = 66,47 + 43,14 = 109,61 \text{ грн/га}$$

Проект

$$A_{\text{ТП}} = \frac{280000 \cdot 85}{100 \cdot 1550 \cdot 2,82} = 54,45 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{М}} = \frac{69900 \cdot 85}{100 \cdot 580 \cdot 2,82} = 36,33 \text{ грн/га}$$

$$A_{\Sigma} = 54,45 + 36,33 = 35,79 \text{ грн/га}$$

Витрати на ПММ.

Базовий

$$Ц_{\text{ПММ}} = 54,8 \text{ грн/кг}$$

$$В_{\text{ПММ}} = Ц_{\text{ПММ}} \cdot В_{\text{ПММ}} = 54,8 \cdot 0,9 = 49,32 \text{ грн/га}$$

Проект

$$В_{\text{ПММ}} = 54,8 \cdot 0,8 = 43,84 \text{ грн/га}$$

Витрати на ТО, ТР, зберігання.

Норма витрат на ТР, ТО і зберігання:

- $\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$  - норма відрахувань на ТО;
- $\alpha_{\text{З}} = 0,2\%$  - норма відрахувань на зберігання;
- $\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$  - норма відрахувань на ремонт.

Витрати на ТО, ТР і зберігання:

$$B = \frac{B_{\Sigma} \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_{\text{З}} + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{ТР}} \cdot W_{\text{ГОД}}} \cdot K, \quad (5.4)$$

де  $B_{\Sigma}$  – балансова вартість, грн;

$K$  – коефіцієнт переводу трактора у еталонний.

$$\text{Трактор: } V_{\text{Тр}} = \frac{\text{Базовий } 280000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 36,80 \cdot 2} = 632,41 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{Тр}} = \frac{280000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 30,14 \cdot 2,82} = 632,51 \text{ грн/га}$$

$$\text{Машина: } V_{\text{М}} = \frac{\text{Базовий } 68000 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 36,80 \cdot 2,31} = 153,59 \text{ грн/га}$$

Проект

$$V_{\text{М}} = \frac{69900 \cdot (11+8+0,2)}{100 \cdot 30,14 \cdot 2,82} = 157,90 \text{ грн/га}$$

Всього по агрегатам:

$$V = V_{\text{Тр}} + V_{\text{М}} = 632,41 + 153,59 = 8953,6 \text{ грн/га}$$

$$V = 632,51 + 157,90 = 790,41 \text{ грн/га}$$

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

$$E_{\text{В}} = 70,48 + 109,61 + 49,32 + 632,41 = 861,82 \text{ грн/га}$$

Проект

$$E_{\text{В}} = 57,73 + 90,78 + 43,84 + 632,51 = 824,86 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий

$$E_{\Sigma} = E_{\text{В}} \cdot W_{\text{Сез}} = 861,82 \cdot 85 = 73254,7 \text{ грн}$$

Проект

$$E_{\Sigma} = 824,86 \cdot 85 = 70113,1 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення на 1 га:

	Базовий	Проект
Трактор:	$K_B = \frac{B_b}{W_{сез}} = \frac{280000}{85} = 329,41 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{280000}{85} = 329,41 \text{ грн/га}$

Машина:	$K_B = \frac{68000}{85} = 800 \text{ грн/га}$	$K_B = \frac{69900}{85} = 822,35 \text{ грн/га}$
---------	---	--

Всього:

$$K_B = 329,41 + 800 = 1129,41 \text{ грн/га} \quad K_B = 329,41 + 822,35 = 1151,76 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на 1га:

$$П_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

	Базовий
$П_B = 861,82 + 0,15 \cdot 1129,41 = 1031,23 \text{ грн/га}$	

	Проект
$П_B = 824,86 + 0,15 \cdot 1151,76 = 997,62 \text{ грн/га}$	

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

	Базовий
$П_{вс} = П_B \cdot W_{сез} = 1031,23 \cdot 85 = 87654,55 \text{ грн}$	

	Проект
$П_{вс} = 997,62 \cdot 85 = 84797,7 \text{ грн}$	

Річний економічний ефект:

$$E_E = 87654,55 - 84797,7 = 2856,85 \text{ грн}$$

Термін окупності:

$$T_o = \frac{349900 - 348000}{2856,85} = 0,66 \approx 0,7 \text{ роки}$$



[www.konferenciaonline.org.ua](http://www.konferenciaonline.org.ua)

# C E R T I F I C A T E

is hereby granted to

**Правило Олександр Володимирович**

*for participation in the International Scientific Internet Conference «Information society: technological, economic and technical aspects of formation» (issue 103) with a publication on the topic: «ЗАСТОСУВАННЯ ЧИЗЕЛЬНИХ ЗНАРЯДЬ ДЛЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ».*

*Form of participation: remotely, duration of conference is 18 hours 0,6 ECTS credits*

Conference was held with the assistance and participation of Public Organization "Scientific Community" and Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji w Opolu



Ternopil - Opole  
October 14-15, 2025

KO №01962