

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

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення ефективності використання причіпного
обприскувача з удосконаленням системи нанесення робочого препарату

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

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Вовк М.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Сташків М.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Вовку Миколі Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності використання причіпного
обприскувача з удосконаленням системи нанесення робочого препарату

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

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24.06.2024

3. Вихідні дані до роботи робоча ширина захвату 24 м; ємкість бака 3500 л;
робочий тиск у напірній системі 0,1 - 0,5 МПа;

споживана потужність на привід насоса, не більше 6 кВт;
маси секцій штанги.

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

Вступ. 1. Аналіз технологій хімічного захисту рослин.

2. Рекомендації з покращення причіпного штангового обприскувача.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

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

Мета і завдання дослідження; Обприскувач напівпричіпний штанговий ОПШ-3500. СК;

Секція І. СК; Секція І (вдосконалена).СК; Секція ІІ.СК; Технологічна схема. Загальні

Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз технологій хімічного захисту рослин.	05.05.24	
2.	Рекомендації з покращення причіпного штангового обприскувача.	22.05.24	
3.	Проектна частина.	03.06.24	
4.	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	19.06.24	
5.	Загальні висновки	23.06.24	
6.	Графічна частина	24.06.24	

Студент _____
(підпис)

Вовк М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бабій А.В.

(прізвище та ініціали)

Реферат

Мета і завдання дослідження – підвищити ефективність використання причіпного штангового обприскувача при з удосконалені начіпної штаги у системі нанесення робочого препарату.

Мета досягається шляхом внесення конструктивних змін у секції штаги обприскувача, що підвищує їх надійність у роботі

Мета реалізовується при вирішенні наступних завдань:

проведено аналіз технологій хімічного захисту рослин;

зроблено основні припущення при формуванні моделі розрахунку;

визначено діючі навантажень на секції штанги;

виконано розрахунок I секції на кручення під час процесу розкладання-складання штанги;

виконано розрахунок II секції на згин у вертикальній площині;

проведено аналіз результатів дослідження.

Практичне значення – проведене удосконалення системи нанесення робочого препарату підвищує технічну та технологічну надійність обприскувача.

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

Ключові слова. Хімічний захист, технологічний процес обприскування, експлуатаційна надійність, секція штанги; обприскувач.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН	6
1.1 Ефективність хімічного захисту рослин та вимоги до обприскувачів	6
1.2 Коротка характеристика обприскувача ОПШ-3500	16
1.3 Огляд конструкцій машин аналогів, які використовуються у технологічному процесі хімічного захисту рослин	21
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ПРИЧІПНОГО ШТАНГОВОГО ОБПРИСКУВАЧА	37
2.1 Обґрунтування ідеї вдосконалення штангового обприскувача	37
2.2 Основні припущення при формуванні моделі розрахунку	38
2.3 Визначення діючих навантажень на секції штанги	40
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	48
3.1 Розрахунок I секції на кручення під час процесу розкладання-складання штанги.....	48
3.2 Розрахунок II секції на згин у вертикальній площині.....	51
3.3 Аналіз результатів дослідження штанги	55
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	61
4.1 Небезпеки для людини, що виникають при хімічному захисті рослин	61
4.2 Вимоги охорони праці при роботі з обприскувачами	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

Знищення і придушення бур'янів лише агротехнічними і біологічними методами не завжди приносить бажані результати. Це пов'язано з тим, що машини та обладнання не завжди здатні ефективно знищувати бур'яни, особливо в рядках або гніздах культурних рослин. Потужна коренева система багаторічних бур'янів не завжди знищується навіть при глибокій оранці. У посівах суцільної сівби зернових, технічних, кормових та овочевих культур часто використання механічних засобів неможливе, що змушує вдаватися до ручної прополки. Однак ручна прополка є дуже трудомістким процесом, тому для боротьби з багатьма видами бур'янів широко застосовують гербіциди.

Гербіциди відіграють особливо важливу роль в умовах посиленої хімізації сільського господарства. У землеробстві добрива і гербіциди часто використовуються на одному і тому ж полі, що робить їх дію взаємозалежною. Добрива сприяють інтенсивному росту як культурних рослин, так і бур'янів.

Раціональне застосування гербіцидів сприяє збільшенню врожайності, підвищенню продуктивності праці та зниженню собівартості продукції рослинництва. Тому хімічні методи боротьби з бур'янами займають провідне місце, особливо при використанні інтенсивних технологій обробітку сільськогосподарських культур. Крім знищення бур'янів, хімічний захист включає боротьбу з хворобами, шкідниками та іншими загрозами.

Для забезпечення ефективного хімічного захисту необхідно мати високопродуктивну та надійну техніку, зокрема обприскувачі. Це робить модернізацію обприскувачів, зокрема вітчизняного виробництва, надзвичайно актуальною. Сучасні обприскувачі повинні забезпечувати рівномірне покриття рослин гербіцидами, мати високу продуктивність і бути простими в обслуговуванні. Технологічні вдосконалення таких машин сприятимуть підвищенню ефективності захисту рослин, зменшенню витрат на обробку та підвищенню загальної врожайності.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

1.1 Ефективність хімічного захисту рослин та вимоги до обприскувачів

Ефективність використання хімічних препаратів для захисту рослин значною мірою залежить від якості їх внесення. Важливими факторами, які впливають на якість, є дозування препарату, розмір краплин розчину, рівномірність їх розподілення на оброблюваній поверхні та ефективність роботи спеціалізованого обладнання для обприскування [5, 8-10].

Одним із ключових аспектів підвищення обсягів виробництва в аграрному секторі є впровадження комплексної системи захисту рослин. Ця система базується на інтеграції різноманітних методів: агротехнічних, біологічних, фізико-механічних та хімічних. Вони спрямовані на боротьбу з різними видами шкідників, бур'янами та хворобами. На сьогоднішній день хімічний метод є одним із найефективніших, оскільки він дозволяє домогтися швидкого та рівномірного покриття рослин робочим розчином, який розпилюється в дрібні краплі, забезпечуючи оптимальне проникнення препаратів.

Хімічний захист є найбільш універсальним та економічно вигідним способом захисту рослин, завдяки можливості повної механізації та автоматизації процесу. Завдяки сучасним технологіям, можливо дуже точно дозувати та регулювати розподіл хімічних засобів, мінімізуючи вплив на довкілля. Хімічний метод не тільки бореться із дорослими особинами шкідників, але й ефективно впливає на їхні личинки, яйця, а також на збудників хвороб та бур'яни, що робить його незамінним інструментом в сучасному аграрному виробництві.

Три основні фактори, що визначають ефективність захисту сільськогосподарських культур від шкідників та захворювань, включають: якість хімічного препарату, час застосування цих препаратів та ефективність

розпилення робочої речовини. Останні два аспекти безпосередньо залежать від технічного оснащення та якості обприскувачів, що є у розпорядженні аграріїв.

Якість хімічної обробки рослин значною мірою зумовлена точністю дозування препаратів, розміром крапель розчину та їх розподілом по поверхні рослин, що забезпечується надійністю та технічним станом використовуваних обприскувачів [15-17].

Агропромислові виробники щоденно стикаються з викликами, які потребують збільшення урожайності при одночасному зниженні виробничих витрат та строгому дотриманні екологічних стандартів. Відповідно, сучасне обладнання для захисту рослин повинно не тільки бути ефективним і надійним, але й відповідати високим екологічним вимогам, забезпечуючи мінімальний вплив на довкілля. Це включає розробку і впровадження інноваційних технологій, які допомагають знижувати кількість хімікатів, потрібних для захисту культур, і оптимізувати їх використання.

Для досягнення високої якості хімічної обробки полів і максимально ефективного використання агрохімічних препаратів, спеціалізоване обладнання для обприскування польових культур має відповідати наступним агротехнічним стандартам:

1. Щільність покриття краплинами на оброблюваній поверхні повинна бути не меншою за 20 краплин на см², що забезпечує оптимальне покриття і абсорбцію речовин рослинами.
2. Відхилення від запланованої норми внесення робочого розчину не повинно перевищувати $\pm 5\%$, що гарантує точність дозування і мінімізує втрати препарату.
3. Нерівномірність розподілення робочого розчину по ширині захвату обприскувача (коефіцієнт варіації) має бути не більше 25%, що сприяє рівномірному обробленню усієї площі.
4. Відхилення кута розпилення рідини через окремий розпилювач від середнього кута всіх розпилювачів в робочому режимі не має перевищувати $\pm 5\%$, що забезпечує однорідність застосування препарату.

5. Максимально допустиме відхилення витрати робочої рідини через окремих розпилювач від середньої витрати всіх розпилювачів на обприскувачі не повинно перевищувати $\pm 5\%$, для уникнення перевитрат і забезпечення економічності.

Відхилення у щільності покриття оброблюваної поверхні краплями по ширині захвату обприскувача має бути не більше ніж 15% від середнього значення, щоб забезпечити рівномірність обробки. Концентрація робочої рідини в баках обприскувачів повинна залишатися стабільною впродовж всього періоду їхнього використання, з допустимим відхиленням не більше $\pm 5\%$, що забезпечує ефективність і точність хімічної обробки [33, 34].

Кожен розпилювач повинен забезпечувати однакову форму розпилення протягом всього часу, якщо не виникає зовнішніх чинників, таких як вітер, що можуть впливати на розпилення. Механічні пошкодження рослин, завдані обприскувачами, повинні бути мінімальними і не перевищувати $0,5\%$, що допомагає зберігати здоров'я рослин і знижувати втрати врожаю.

Обприскувачі мають ефективно використовувати рідину з бака, витрачаючи не менше 95% вмісту до завершення процесу обприскування. Це забезпечує оптимальне використання ресурсів і зменшує необхідність додаткових заходів захисту рослин, водночас мінімізуючи витрати та забруднення довкілля.

Невідповідність хоча б одному з зазначених вище технічних параметрів кваліфікується як дефект обприскувача, який вимагає швидкого реагування та корекції. Наявність таких дефектів може суттєво знизити ефективність обробки рослин та призвести до збільшення витрат.

За останні 10-15 років провідні світові виробники сільськогосподарської техніки досягли значних успіхів у розробці та вдосконаленні обладнання для хімічного захисту польових культур. В результаті, спостерігається збільшення кількості компаній, які виробляють як причіпні, так і навісні штангові обприскувачі. Ці технічні нововведення дозволяють аграріям більш точно та ефективно розподіляти хімічні препарати, що сприяє підвищенню урожайності

і зниженню впливу на довкілля. Впровадження сучасних технологій також сприяє скороченню фізичного зносу обладнання та зменшенню часу, необхідного для обслуговування машин.

Ключовим аспектом високоефективного застосування пестицидів є якість їх введення в дію. В експериментах з якісним обприскуванням часто вдається зменшити рекомендовані дози пестицидів на 50%, що свідчить про високу ефективність такого підходу. Основні параметри, що визначають якість обприскування, включають точність дозування робочої рідини, дисперсію розпилення, щільність покриття поверхні краплями та рівномірність їх розподілу. Якість обприскування тісно пов'язана з вибором та налаштуваннями розпилювачів, які використовуються.

На сучасному ринку представлено широкий спектр розпилювачів, тому вибір оптимального типу для конкретних аграрних умов є важливим завданням. Більшість сучасних обприскувачів оснащені гідравлічними розпилювачами, які представлені в декількох модифікаціях. Ці розпилювачі дозволяють точно контролювати розмір крапель, що є критично важливим для максимального покриття і мінімізації втрат пестицидів. Ефективне використання таких технологій не тільки сприяє збільшенню урожайності, але й знижує негативний вплив на довкілля, забезпечуючи більш стаке ведення сільського господарства.

Давайте розглянемо характеристики розпилювачів на прикладі продукції компанії "LECHLER" з Німеччини, яка є одним із світових лідерів у виробництві різноманітних типів сучасних розпилювачів. Серед них особливо популярні гідравлічні щілинні плоскоструминні розпилювачі, які поділяються на кілька видів: стандартні зі зниженим дрейфом, подвійні, стрічкові та спеціалізовані для обприскування під листя. Стандартні моделі, такі як LU та ST (аналогічні вітчизняним моделям типу ОЦУ 11.220), є найбільш універсальними і придатними для всіх видів обприскування.

Ці моделі відомі своєю високою дисперсністю розпилювання, що забезпечує глибоке проникнення препаратів у тканини рослин і значно підвищує ефективність їх дії. Розпилювачі LU та ST відрізняються кутом

розпилення (90 і 120° для LU; 80 і 110° для ST) та стійкістю до знесення краплин вітром, де LU показують кращі результати.

Однак з підвищенням дисперсності розпилення зростає і ймовірність знесення розпиленого розчину вітром, що може знижувати ефективність препарату через недостатнє осідання на рослинах. Також, використання цих розпилювачів більш ефективно при слабкому вітрі, оскільки сильніші потоки повітря можуть істотно вплинути на розподіл і густоту покриття.

Для ефективної роботи розпилювачів типу LU та ST, важливо уникати їх використання при вітрових умовах зі швидкістю понад 3-4 м/с, а також необхідно дотримуватися робочого тиску не вище за 0,3 МПа. У деяких ситуаціях, особливо при застосуванні препаратів з системною дією або ґрунтових гербіцидів, де витрати робочої рідини становлять 200-300 л/га, великий розмір крапель не значно впливає на біологічну ефективність препарату. В таких випадках для розширення діапазону погодних умов, за яких можливе безпечне обприскування, рекомендується використовувати розпилювачі зі зниженим дрейфом, типу AD.

Ці розпилювачі працюють у два етапи: на вході розпилювача рідина розпилюється, а потім знову розпилюється при виході, що дозволяє досягти більш грубої дисперсності крапель у порівнянні зі стандартними плоскострумінними розпилювачами. Дворазове розпилення знижує тиск рідини перед другим розпиленням, забезпечуючи одночасно ефективне покриття і зменшення дрейфу крапель. Розпилювачі типу AD також вигідно відрізняються меншою схильністю до засмічення, завдяки більшому діаметру вихідних отворів, що забезпечує стабільний вихід рідини при рівних об'ємах витрати.

Ці розпилювачі відрізняються підвищеною стійкістю до зношування, оскільки оптимізований розподіл рідини між двома розпилювальними отворами забезпечує менший знос. Вони мають широкий кут факела розпилювання, який становить 120°, що сприяє кращому покриттю оброблюваних поверхонь.

Екологічна безпека цих розпилювачів забезпечується при вітрових умовах до 5 м/с.

Розпилювачі типів LU, ST, і AD марковані за єдиною системою, що включає кут факела та номер моделі, що дозволяє стандартизувати їх використання. Таке маркування також відображає щохвилинну витрату рідини, що з урахуванням оснащення обприскувачів трипозиційними відсічними пристроями, дозволяє операторам швидко адаптувати режим обприскування, виходячи із змін ветрових умов, для зниження втрат пестицидів через знесення.

Двійні плоскоструминні розпилювачі DF, зі своїми різними кутами нанесення, забезпечують краще проникнення у рослинний покрив, що призводить до більш рівномірного покриття краплинами і збільшує їх осідання на вертикальних частинах рослин, підвищуючи таким чином загальну ефективність обприскування.

Ці розпилювачі вирізняються тим, що створюють більш дрібні краплі порівняно з іншими моделями, що робить їх ідеальними для використання в безвітряні дні. Вони ефективні при внесенні контактних інсектицидів, гербіцидів під час післясходових обробок, а також фунгіцидів, особливо коли мова йде про контроль за хворобами злакових культур. Крім того, для стрічкового внесення пестицидів використовують плоскоструминні розпилювачі типу ES, а для обприскування "під листя" – розпилювачі OC і TR.

Розпилювачі типу ES, що мають кут розпилення 90°, забезпечують рівномірне розподілення робочої рідини уздовж стрічки обробки. Ці розпилювачі є надзвичайно універсальними і застосовуються для різних видів обробок: передпосівної, досходової, та післясходової стрічкової. Для післясходових обробок контактними гербіцидами рекомендовано підтримувати тиск в межах 0,3–0,4 МПа для оптимальної ефективності.

Ці спеціалізовані розпилювачі дозволяють точно контролювати дисперсність та рівномірність розподілу препаратів, що забезпечує більшу ефективність внесення та знижує ризик ураження нецільових об'єктів.

Розпилювачі TR ефективно забезпечують рівномірне розподілення рідини уздовж стрічки з кутом розпилення 80° . Ці розпилювачі є оптимальними для стрічкового обприскування рослин під час вегетації, особливо коли потрібне глибоке проникнення крапель у рослинну масу. Розпилювачі ОС, які розпилюють рідину з кутом 90° , використовуються попарно для ефективного нанесення препаратів "під листя". Їх рекомендується застосовувати зі спеціальними адаптаціями для контролю бур'янів між рядками високостеблових культур, таких як кукурудза.

Розпилювачі TR забезпечують високу дисперсію і є ефективними для внесення контактних препаратів, проте існує проблема зменшення осідання дрібних крапель на поверхню, що обробляється. Ця дилема була вирішена за допомогою новітніх пневмогідравлічних розпилювачів, включаючи інжекторні моделі, які вирішують проблему біологічної ефективності крапель. Інжекторні розпилювачі створюють краплі, які частково наповнені повітрям і лопаються при контакті з рослиною, утворюючи декілька менших крапель, що збільшує площу покриття та ефективність обробки. Ці технології значно покращують умови застосування пестицидів, зменшуючи втрати та підвищуючи точність внесення препаратів.

Таким чином, обприскування виконується за допомогою великих крапель, що ефективно осідають на поверхні, в той час як менші краплі, які утворюються, забезпечують кращу біологічну активність препарату. Інжекторні розпилювачі, які дозволяють проводити ефективне обприскування навіть при вітрі швидкістю до 6 м/с, включають два основні типи: інжекторні розпилювачі, що наповнюють краплі повітрям через інжекцію, та розпилювачі з примусовою подачею повітря, де повітря під тиском від 0,034 до 0,20 МПа нагнітається за допомогою компресора.

Інжекторні моделі, такі як ID та IDK, призначені для суцільного та стрічкового обприскування. Моделі ID та IDK порівнянні за якістю виконання, але важливою особливістю IDK є використання спеціальної керамічної вставки, яка значно збільшує їх довговічність і стійкість до зносу. Це робить IDK

ідеальним вибором для регулярного та тривалого використання в аграрному секторі, де потрібна надійність обладнання.

Візуальні спостереження ясно демонструють переваги інжекторних розпилювачів у зниженні знесення крапель вітром. Яскравим прикладом розпилювача з примусовою подачею повітря є модель Airjet від американської компанії Teejet. Однак, актуальні наукові джерела все ще не надають достатньо даних для оцінки їх загальної ефективності. Цікаво, що на виставці в Ганновері у 2001 році такі розпилювачі були представлені менше, ніж у 1999 році.

Нове покоління обприскувачів, які вже випускають усі провідні виробники, включає технології пневматичного осадження крапель. У цих обприскувачах рідина розпилюється на дрібніші краплі порівняно з традиційними моделями, і вони осаджуються на рослинах за допомогою потоку повітря, створюваного вентилятором. Ці мікрокраплі забезпечують вищу біологічну ефективність препаратів, але також є схильними до знесення атмосферними потоками. Тому розмір крапель, який вважається безпечним при використанні стандартних гідравлічних обприскувачів, обмежений діапазоном від 130 до 200 мкм, що сприяє оптимізації використання ресурсів та зменшенню впливу на довкілля.

У сучасних обприскувачах застосування штучно створених повітряних потоків для примусового осадження крапель дозволяє використовувати більш дрібні краплі, які є більш ефективними при обробці. Це сприяє кращому проникненню крапель у рослинну масу та забезпечує рівномірніше покриття рослин, особливо знизу листків, де обробка може бути в 2-5 разів інтенсивнішою, ніж з використанням традиційних обприскувачів. За даними датської компанії Hardi, обприскувачі з цією технологією можуть зменшити знесення препаратів вітром на 90%, дозволяючи проводити обробку навіть при швидкості вітру до 8 м/с. Використання повітря замість води як носія також дозволяє значно знизити норму внесення робочої рідини, зменшуючи не тільки витрати на транспортування і заправлення води, але й знижуючи емісію препарату в атмосферу через випаровування. Крім того, згідно з інформацією

від компанії Rau, використання таких технологій може збільшити робочу швидкість на 50%, ефективно зменшуючи час, необхідний для обробки полів [9].

Важливо відзначити, що ефективність примусового осадження крапель за допомогою повітряних потоків залежить від мілкості розпилення. Великі краплі, як правило, більші за 350 мкм, схильні до зсуву з листя на землю під дією повітряних потоків, що призводить до втрати препарату, який вони містять. Оскільки об'єм рідини в краплині пропорційний кубу її діаметра, втрати рідини з великими краплями стають значними. Наприклад, втрата однієї краплі діаметром 500 мкм може еквівалентно означати втрату рідини, яка могла б утворити 125 оптимальних крапель розміром 100 мкм.

Використання гідравлічних розпилювачів у сучасних системах з примусовим осадженням крапель характеризується полідисперсністю, що включає наявність крапель різного розміру, включаючи великі краплі. Це вносить певні обмеження в ефективність таких систем, оскільки навіть при високій дисперсності присутність великих крапель може призвести до збільшення втрат препарату.

Втім, існує обіцяючий напрямок у розвитку обприскувальної техніки, яким є новітній розробки ННЦ "ІМЕСГ", що включає обприскувачі з пневмогідравлічною системою дозування та пневмомеханічним розпиленням. Ці технології обіцяють підвищити точність і зменшити втрати препаратів, забезпечуючи більш точне та рівномірне розпилення рідини, що може забезпечити значні поліпшення в обробці рослин.

У новітній системі дозування рідина регулюється через калібрований отвір, але не для окремого розпилювача, як це зазвичай буває, а для групи розпилювачів або навіть для всієї системи. Це дозволяє змішувати рідку форму з повітрям в аерозольному стані, створюючи повітряно-рідинну суміш, об'єм якої значно перевищує об'єм самої рідини, і потім направляти цю суміш до розпилювачів. Такий підхід забезпечує точне дозування навіть при низьких нормах витрати рідини.

У пневмомеханічному розпилювачі, патент №18316, рідина розпилюється за допомогою чашоподібного диска, що обертається завдяки дії повітряно-рідинного струменя, створеного в пневмогідралічному дозаторі. Розпилені краплі ефективно осаджуються на рослинах з допомогою потоку повітря, що виходить із розпилювача у формі кільцевого струменя з кутом розширення 120°. Дослідження показали, що цей розпилювач забезпечує регулювання середнього діаметра крапель від 40 до 200 мкм з індексом полідисперсності між 1,68 та 2,52, що є значно ефективнішим порівняно зі стандартними гідралічними розпилювачами, у яких цей показник варіюється від 4,16 до 5, і пневматичними, де він доходить до 5,5-9.

У ННЦ "ІМЕСГ" було проведено лабораторно-польові дослідження ефективності внесення пестицидів за допомогою цих нових розпилювачів. Експерименти виконувались на посівах картоплі, де боролися з колорадським жуком. Висока заселеність шкідниками, до 20%, та велика кількість личинок на листках, від 8 до 37 штук, переважно третього віку, дозволили оцінити високу ефективність нових технологій у реальних умовах.

Для аналізу ефективності, стандартний обприскувач ОП-2000-2-01 було використано як контрольний варіант. Об'єм витрати рідини для цього обприскувача становив 80 л/га, тоді як для експериментального обприскувача – лише 20 л/га. Норма витрати пестициду (Децис, 2,5% к.е.) для стандартного варіанту складала 0,075 л/га та 0,0375 л/га для експериментального, що відповідає 50% та 25% від задалегідь встановленої норми 0,150 л/га.

Результати досліджень показали, що обприскувач із новими розпилювачами забезпечує ефективне покриття усієї поверхні листя картоплі. Густота покриття на верхній та нижній сторонах листків складала відповідно 53–170 і 11-14 шт./см² у верхньому ярусі, 40–50 і 0,5–1,3 шт./см² у середньому ярусі, та 10–130 і 0,1-20 шт./см² у нижньому ярусі. В контрольному варіанті ці показники були значно нижчими – 35,4; 7,0 і 3,2 шт./см² на верхній стороні листків та 0 на нижній.

Біологічна ефективність експериментального обприскувача за витратою препарату 0,075 л/га досягла 93,7%, а за витратою 0,0375 л/га – 90,5%. Для контрольного варіанта ці показники становили 84,7% і 83,6% відповідно. Це свідчить про те, що застосування обприскувача з новими розпилювачами дає можливість значно скоротити норми витрат пестицидів, до 50%, що сприяє зниженню екологічного навантаження та оптимізації використання ресурсів.

1.2 Коротка характеристика обприскувача ОПШ-3500

Обприскувач напівпричіпний штанговий ОПШ-3500 є спеціалізованим агрегатом, розробленим для застосування хімічних засобів захисту польових культур проти шкідників, хвороб та бур'янів, а також для внесення рідких мінеральних добрив, зокрема карбамідно-аміачної селітри (КАС). Цей обприскувач здійснює обробку за допомогою робочих рідин, що включають пестициди у формі розчинів, суспензій та емульсій [36].

Призначений для експлуатації в регіонах з помірним кліматом, ОПШ-3500 може бути використаний з тракторами класу 1.4, такими як МТЗ-80/82, МТЗ-100/102, ПМЗ6Л/М, обладнаними пневмогальмівною системою. Це забезпечує йому високу адаптивність та зручність використання в різних аграрних умовах.

Напівпричіпний штанговий обприскувач ОПШ-3500 розроблений для хімічного захисту польових культур від шкідників, хвороб і бур'янів, а також для внесення рідких мінеральних добрив, зокрема карбамідно-аміачної селітри (КАС). Машина ефективно працює в регіонах з помірним кліматом і агрегується з тракторами класу 1.4, такими як МТЗ-80/82, МТЗ-100/102, ПМЗ-6Л/6М, які обладнані пневмогальмівною системою.

Обприскувач має робочу швидкість від 6 до 10 км/год і забезпечує ширину захвату 21 або 24 метри, що дозволяє оптимізувати процес обробки

великих площ. Ємність бака становить 3500 літрів із допуском 100 літрів, що гарантує довгий час роботи без перезавантаження. Витрата робочої рідини коливається від 120 до 300 л/га при обробці пестицидами та від 200 до 400 л/га при внесенні рідких мінеральних добрив, забезпечуючи гнучкість в залежності від агротехнічних вимог.

Робочий тиск у напірній системі може бути відрегульований від 0.1 до 0.5 МПа, що дозволяє адаптувати обладнання під різні типи рідин і умови обприскування. Транспортна швидкість обмежена 16 км/год при порожньому баку, а агротехнічний просвіт складає мінімум 500 мм, що дозволяє маневрувати в умовах високих культур без шкоди для них.

Конструкція має ширину колії 1800 ± 40 мм або 2100 ± 40 мм, залежно від налаштувань, що забезпечує стабільність під час руху. Обслуговування обприскувача вимагає лише одного тракториста та двох помічників при заправці, що спрощує його експлуатацію. Маса машини становить 2200 кг, і вона оснащена комплектом робочих органів та приладів. Габаритні розміри в робочому положенні складають 5600 мм у довжину, 20700/24150 мм у ширину та 3080 мм у висоту, а в транспортному положенні – 6260 мм у довжину, 2425 мм у ширину та 3010 мм у висоту.

Споживана потужність на привід насоса не перевищує 6 кВт, а час на переустаткування обприскувача на інші міжряддя не більше ніж 1,1 люд-година, що свідчить про високу ефективність і легкість в обслуговуванні. Насос типу "діафрагмовий" забезпечує максимальний тиск 2,0 МПа і об'ємну подачу мінімум 250 л/хв при номінальних обертах 540,5 об/хв, що гарантує високу продуктивність обприскувача.

Обприскувач складається із шасі (4, рис.1.1), бака об'ємом з вбудованими гідрозмішувачами (5), діафрагмового насоса, виконавчого механізму (2), карданної передачі, штанги з можливістю обрати ширину захвату 21 або 24 метри (3), всмоктувальних (6) та напірних (1) комунікацій (рис.1.1).

Обертання вала діафрагмового насоса (2, рис. 1.2) передається від вала відбору потужності (ВВП) трактора через карданну передачу (1). Це забезпечує надійну та стабільну роботу насоса незалежно від швидкості руху трактора.

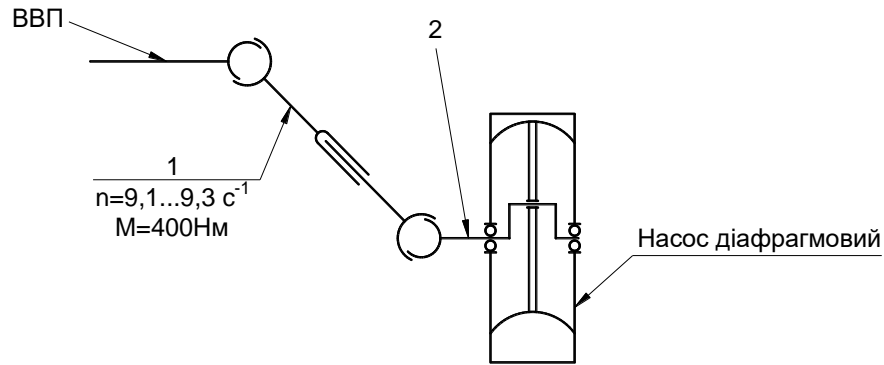
Робоча рідина із бака (7, рис. 1.3) проходить через всмоктувальний фільтр (3), де вона очищається від можливих домішок перед подачею в діафрагмовий насос (4). Після цього рідина проходить через напірний фільтр (24) та подається виконавчим механізмом (ВМ) до робочих органів обприскувача. Частина рідини перенаправляється через гідрозмішувачі (9) назад в бак для забезпечення рівномірного перемішування робочої рідини, що сприяє однаковому концентраційному складу розчину, в той час як інша частина використовується для безперервного переливу та подачі на штанги.

Виконавчий механізм (ВМ) відіграє ключову роль у регулюванні норм вилливу рідини, забезпечуючи точне дозування та відповідність встановленим агротехнічним вимогам. Це критично важливо для забезпечення ефективності хімічного захисту культур та оптимального використання рідких добрив.

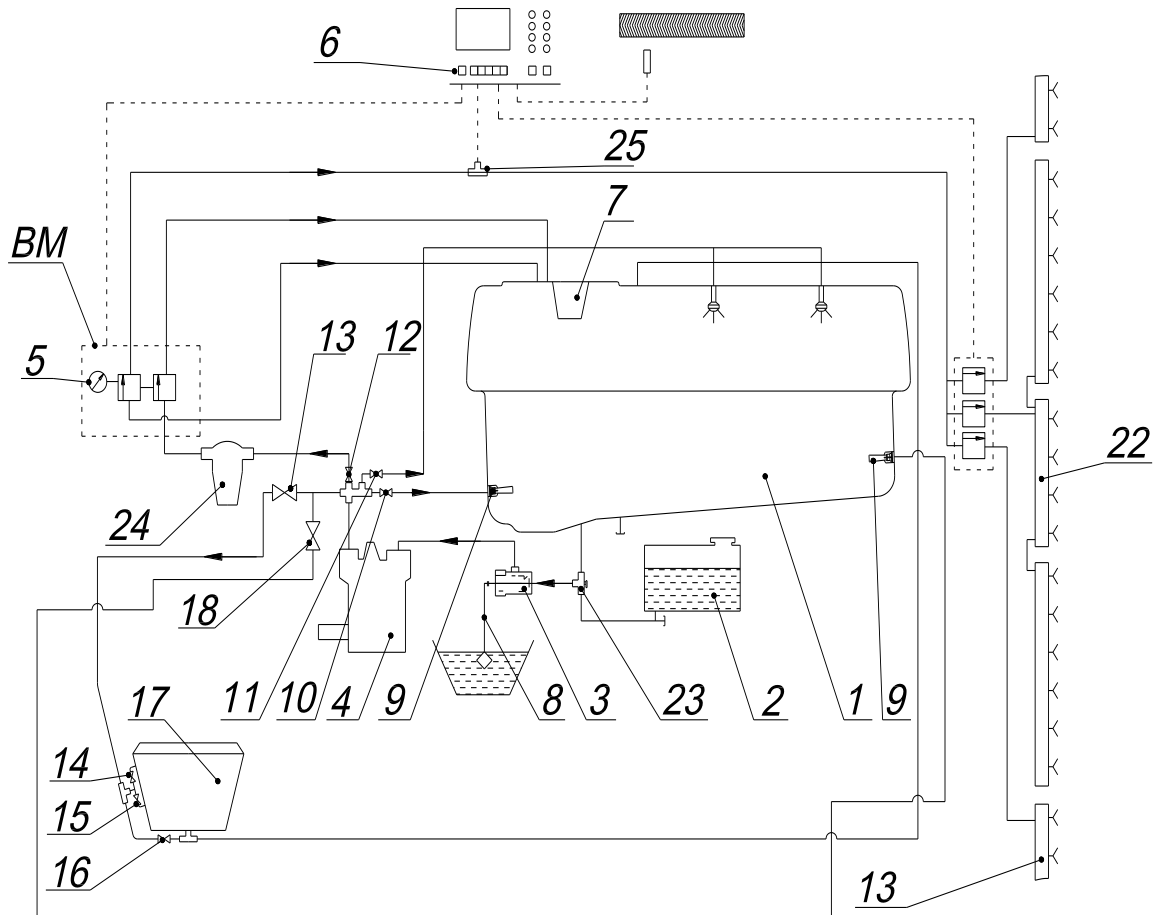


1- напірна комунікація; 2- виконавчий механізм; 3- штанга; 4- шасі; 5- бак;
6- всмоктувальна комунікація.

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ОПШ – 3500



1 – передача карданна; 2 – вал насоса
Рисунок 1.2 – Кінематична схема ОПШ – 3500



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

Рисунок 1.3 – Технологічна схема ОПШ – 3500

Під час самозаправки робочої рідини, використовуючи зовнішню ємність, процес починається з під'єднання заправного рукава (8, рис.1.3). Рідина засмоктується насосом (4) через всмоктувальний фільтр (3) і під тиском направляється до бака (1). Цей процес забезпечується роботою виконавчого механізму (ВМ) та гідрозмішувача (9), які змішують і розподіляють рідину в баку.

Для ініціації самозаправки слід виконати кілька кроків:

1. Використовуючи пульт управління (6), перекрити подачу рідини до штанги (22).
2. Відкрити кришку всмоктувального фільтра, натиснувши і повернувши її на 90 градусів проти годинникової стрілки, щоб отримати доступ до фільтру.
3. Під'єднати кутник (4) заправного рукава (2) до вільного отвору фільтра та закрутити гайку (5) на різьбову частину для забезпечення герметичного з'єднання.
4. Відкрити кран гідрозмішувача (10, рис.1.3), що має бути відкритим під час роботи та самозаправки для оптимального змішування.

Після завершення заправки необхідно вийняти заправочний рукав із ємності, дозволивши насосу висмоктати залишки рідини з рукава. Тільки після цього можна вимкнути вал відбору потужності трактора і від'єднати рукав.

Промивка комунікацій здійснюється також за допомогою спеціальної процедури. Вода із зовнішньої ємності (2, рис.1.3) через триходовий кран (23) засмоктується насосом (4) і під тиском подається через кран (11) до сопел розмивача, а потім через виконавчий механізм (ВМ) спрямовується в штангу (22) для виливу. Цей процес забезпечує ефективне очищення системи від залишків робочих рідин.

1.3 Огляд конструкцій машин аналогів, які використовуються у технологічному процесі хімічного захисту рослин

На міжнародних виставках, таких як Agritechnica у Ганновері, Німеччина, "ІнтерАГРО" та AgriHort у Києві, Україна, "Золотая Осень" у Москві, Росія, та Tech Agro у Брно, Чехія, світові лідери виробництва сільськогосподарської техніки регулярно представляють найкращі моделі обприскувачів. Ці машини, які ідеально відповідають агротехнічним стандартам та адаптовані до різних умов експлуатації, вражають своєю ефективністю та надійністю на полях [39].

Серед найважливіших учасників виставок, компанія BARGAM з Італії має понад тридцятирічний досвід у розробці обприскувачів для хімічного захисту сільгоспкультур. Завдяки постійним дослідженням, спеціалізації та інноваціям виробництва, BARGAM виробляє високоякісні самохідні, навісні, та причіпні штангові обприскувачі, які відомі своєю надійністю та ефективністю.

У цьому огляді особливу увагу буде приділено причіпним та навісним штанговим обприскувачам від декількох виробників, які, завдяки своїм технічним характеристикам, виявилися особливо придатними для використання на українських полях і мають великий потенціал залучити увагу місцевих аграріїв. З великою кількістю марок та моделей, представлених на цих виставках, українські фермери можуть знайти оптимальні рішення, які допоможуть підвищити ефективність обробки полів і зменшити витрати на захист рослин.



Рисунок 1.4 – Самохідний обприскувач BARGAM GRIMAC 3000/3500



Рисунок 1.5 – Причіпний обприскувач Baram



Рисунок 1.6 – Обприскувачі навісні BARGAM MEC BDX

Серії навісних штангових обприскувачів MEC і SUPER, розроблені компанією BARGAM, демонструють успішне поєднання інноваційного дизайну та серійного виробництва. Ці обприскувачі оптимізовані для роботи з тракторами тягового класу 1.4, забезпечуючи високу ефективність в обробці полів.

Обприскувачі MEC оснащені баками для робочого розчину пестицидів об'ємом 600, 800, 1000 та 1200 літрів, тоді як моделі серії SUPER пропонують баки об'ємом 1000, 1200 та 1500 літрів. Кожен з цих агрегатів також оснащений додатковим баком для промивання системи та окремим резервуаром для миття рук. Виготовлені з високоміцних полімерних матеріалів, баки стійкі до корозії,

хімічних реагентів, механічних пошкоджень і ультрафіолетового випромінювання.

Конструкція рами для обприскувачів виготовлена зі сталевих профілів, які були оцинковані для підвищення стійкості до корозії. На поверхню рами нанесено порошкове покриття, яке не тільки покращує її зовнішній вигляд, але й значно збільшує її довговічність і захищає від пошкоджень та іржі. Заради зменшення впливу динамічних навантажень, у конструкцію рами інтегровані амортизатори, розміщені на шатунах, що забезпечує більш м'який хід і знижує вібрацію при роботі обладнання.

Штанги обприскувачів мають функціональність підйому та опускання, яку можна регулювати за допомогою ручної лебідки або застосування гідравлічної системи. Ці механізми дозволяють точно налаштувати висоту штанг в діапазоні 800, 1200, до 1500 міліметрів залежно від потреб обробки поля. Спеціально розроблені моделі серії МЕС оснащені інноваційними штангами типу ВDХ з шириною захвату 12 або 15 метрів, які вирізняються здатністю швидко складатися у компактну "ножицеподібну" конструкцію для зручності транспортування. Дві гідравлічні циліндри сприяють цьому процесу, уможливаючи ефективне складання штанг у зменшене положення, що значно спрощує як переміщення, так і зберігання обприскувача. Такий підхід не тільки оптимізує логістику, але й збільшує загальну оперативність використання обладнання в аграрних умовах.

Штанга обприскувача оснащена шарніром, який слугує надійним захистом від механічних ударів, тим самим збільшуючи її експлуатаційну довговічність і знижуючи ризик пошкоджень під час інтенсивної роботи. Колектори, виготовлені з високоякісної нержавіючої сталі, гарантують тривалу службу та стійкість до корозійних процесів, що зустрічаються при роботі з агресивними хімічними розчинами. Система розпилення пестицидів на штанзі реалізована за допомогою одно- або триструминних розпилювачів, які розміщені через кожні 0,5 метра. Це дозволяє досягти оптимального та рівномірного розподілу робочого розчину по всій оброблюваній площі,

забезпечуючи високу ефективність обприскування. Таке рішення оптимізує використання хімікатів та підвищує якість обробки культур.

Причіпні штангові обприскувачі відомої марки BARGAM, зокрема серії ELIOS, FOX, та COMPACT, завоювали високу репутацію на ринку завдяки своїй високій ефективності, особливо у сільськогосподарських господарствах середніх розмірів. Ці обприскувачі демонструють чудову адаптивність та продуктивність у різноманітних агрономічних умовах. Серія ELIOS пропонує моделі з об'ємами баків 1700, 2200 та 2700 літрів, що оснащені штангами типу BDLA. Штанги мають ширину захвату від 12 до 21 метра, забезпечуючи ефективне розпилення на великих площах. Це робить їх ідеальними для виконання різних видів агрономічних завдань, від обробки невеликих ділянок до великих полів, що вимагають широкого захоплення. Особлива конструкція штанг і розумно розміщені розпилювачі забезпечують рівномірне покриття і мінімізацію втрат хімікатів, що значно підвищує ефективність використання ресурсів.

Штангові обприскувачі серії COMPACT, розроблені для роботи на ще більших аграрних територіях, представляють собою високопродуктивне обладнання з великими місткостями баків, що включають 2700, 3200, 4200, та 5200 літрів. Ці моделі оснащені передовими штангами типу BDL PLUS G/VAR, які мають ширину захвату від 24 до 36 метрів, забезпечуючи значне покриття при кожному проході. Така конструкція є оптимальною для ефективного розпилення хімікатів на великих площах, часто використовується у великомасштабних аграрних проектах або в рамках великих механізованих бригад. Ці обприскувачі сприяють зниженню часу обробки поля та максимізації продуктивності, оскільки дозволяють обробляти великі ділянки за один цикл. Використання таких масштабних систем значно підвищує ефективність розподілу робочого розчину, забезпечуючи однорідне покриття та зменшуючи потребу в повторних проходах, що робить їх незамінними для сучасних агротехнологій.

Причіпні обприскувачі від BARGAM вирізняються наявністю унікальної функції інтегрованого баку-змішувача, який є доступним у варіантах 20, 30 або 35 літрів. Ця інноваційна система значно полегшує процес приготування робочого розчину, дозволяючи оператору швидко та ефективно змішувати хімікати безпосередньо на полі, що сприяє збільшенню продуктивності та зниженню часу на підготовку обприскувача.

Крім того, ці обприскувачі мають високу адаптивність до додавання додаткового обладнання, що розширює їх функціональні можливості. Наприклад, пінні маркери, що встановлюються на обприскувачах, дозволяють візуально контролювати оброблені ділянки, що є важливим для уникнення перекриття або пропусків під час роботи. Бортові комп'ютери, що входять у комплектацію деяких моделей, надають точне управління процесами, включаючи дозування хімікатів, швидкість обприскування та відстеження пройденого шляху. Супутникові навігаційні системи, в свою чергу, допомагають оптимізувати маршрути обприскування, забезпечуючи максимальну охопленість оброблюваних площ з мінімальними витратами часу та ресурсів. Цілісний підхід до оснащення обприскувачів BARGAM перетворює їх на високотехнологічні, ефективні інструменти для сучасного сільського господарства.

Новітні моделі причіпних обприскувачів IN 280, IN 360 та IN 460, розроблені австрійською компанією VOGEL&NOOT, відзначаються високим рівнем точності та однорідності розподілу хімічних засобів захисту рослин. Ці обприскувачі пропонуються у трьох варіаціях з об'ємами баків 2800, 3600 та 4600 літрів, що забезпечує масштабність використання відповідно до розміру господарства.

Конфігурація штанг цих моделей дозволяє адаптувати ширину захвату від 15 до 30 метрів, що робить їх надзвичайно ефективними для обприскування великих аграрних площ. Ця функціональність відіграє критичну роль у мінімізації витрат хімікатів та оптимізації внесення препаратів, гарантуючи одночасно економічність і екологічність обробки полів.

Додатково, передові технології, використані у виробництві цих моделей, включають системи точного контролю дозування та адаптивної обробки території, що забезпечують високу продуктивність праці навіть у складних агрономічних умовах. Ці характеристики роблять обприскувачі IN від VOGEL&NOOT ідеальним вибором для фермерів, які прагнуть досягти максимальної ефективності та надійності в процесах захисту своїх культур [1, 6, 25].



Рисунок 1.7 – Причіпні обприскувачі IN 280, IN 360 та IN 460 системи Holder виробництва VOGEL&NOOT (Австрія)

Для оптимізації комфорту та збільшення продуктивності під час транспортування обприскувачів з великою швидкістю, особливо на нерівних аграрних територіях, можна вибрати обладнання з двоважільною підвіскою. Така система підвіски ефективно поглинає поштовхи та вібрації, виникаючі від нерівностей на поверхні, що значно покращує керування та знижує навантаження на сам агрегат.

Як альтернативу, виробник також пропонує пневматичну підвіску, яка забезпечує високий рівень амортизації навіть при різних рівнях наповнення

бака. Пневматична підвіска адаптується до змін ваги, завдяки чому забезпечує стабільність і плавність ходу незалежно від вантажопідйомності обприскувача. Використання такої підвіски не лише підвищує комфорт під час використання, але й сприяє подовженню терміну служби обладнання, зменшуючи знос механічних компонентів і забезпечуючи більш тривале та безпечне використання обприскувача в аграрних умовах.

Штангові обприскувачі, розроблені компанією Holder, включають передовий механізм регулювання висоти штанги, який діапазоном від 50 до 230 сантиметрів. Ця інноваційна технологія дозволяє точно налаштувати висоту штанги, що є критично важливим для підтримання високої якості розпилення на протязі всього часу використання обприскувача. Таке регулювання є незамінним при роботі на полях з великими перепадами висот, де постійна адаптація до мінливих умов поверхні забезпечує рівномірне та ефективне покриття оброблюваних ділянок.

Ця особливість особливо важлива у складних агрономічних умовах, де нерівності та перепади ґрунту можуть суттєво впливати на ефективність розпилення. Належне регулювання висоти штанги не тільки оптимізує використання робочого розчину, але й знижує ризик ушкодження культур через недостатнє покриття або прямий контакт з хімічними речовинами. Використання таких технологічних рішень сприяє підвищенню загальної продуктивності обприскувачів та забезпечує високу якість обробки культур з мінімальними затратами на хімічні засоби захисту.

Обприскувачі, які входять у лінійку продукції, пропонують два типи штанг: серія FH 800 та серія FH 900/901. Штанги серії FH 800 мають робочу ширину захвату від 15 до 21 метра і спроектовані для ефективної роботи в екстремальних агрономічних умовах. Ці штанги оснащені інноваційним гнучким п'ятипунктовим механізмом відкидання, який забезпечує високу адаптивність і точність налаштування положення під час роботи, а також внутрішніми шарнірами, які дозволяють здійснювати мікрорегулювання для досягнення оптимального покриття.

Серія FH 900/901 пропонує ширину захвату від 18 до 30 метрів, розширюючи можливості використання обприскувачів для великих аграрних площ. Штанги цієї серії виготовлені з використанням сучасних полімерних матеріалів, що забезпечує високу стійкість до корозії та зносу, збільшуючи термін служби обладнання та знижуючи потребу в регулярному технічному обслуговуванні.

Використання передових технологій і матеріалів в обох серіях штанг забезпечує не тільки довговічність і надійність, але й підвищує загальну продуктивність обприскувань, допомагаючи агрономам точно та рівномірно вносити хімічні препарати на оброблювані поля, що сприяє здоровому росту та розвитку рослин.

Штанги сучасних обприскувачів оснащені системою модуляції захвату, яка забезпечує високий рівень адаптивності під час роботи. Ця система дозволяє штангам розкладатися на повну ширину для стандартного обприскування, а також налаштовуватися на половину або три чверті своєї ширини. Така можливість є надзвичайно корисною при обробці межових зон чи поворотних смуг, де необхідно зменшити покриття для уникнення перекриття чи непотрібного витрату хімікатів.

Додатково, крайні секції штанг обладнані можливістю складання у різних напрямках. Це не тільки полегшує транспортування обприскувача, забезпечуючи компактність і захищеність обладнання, але й знижує ризик механічних пошкоджень під час проходження через вузькі проїзди або роботи на нерівному терені. Таке гнучке налаштування штанг допомагає оптимізувати робочий процес і підвищує загальну ефективність використання обприскувачів, дозволяючи операторам з легкістю адаптуватися до різних аграрних умов. Ці особливості роблять обприскувачі більш універсальними та збільшують їх продуктивність у широкому спектрі сільськогосподарських застосувань.

Лінійка причіпних штангових обприскувачів Capro від італійської компанії Unigreen представляє собою різноманітну колекцію моделей та модифікацій, розроблених для виконання широкого спектру агрономічних

завдань. Ці обприскувачі доступні з різними обсягами баків для робочого розчину пестицидів – 2480, 3200 і 4000 літрів, що дозволяє адаптувати обладнання під конкретні потреби господарства. Крім того, моделі мають різні робочі ширини захвату – 18, 24, і 28 метрів, що робить їх ідеальними для обробки поля з максимальною ефективністю.

Машини серії Campro відзначаються своєю зручністю в експлуатації та високою надійністю. Однією з ключових особливостей є застосування гарячого гальванічного покриття, що забезпечує відмінний антикорозійний захист і продовжує термін служби обладнання. Штанги обприскувачів оснащені гідравлічними системами, які спрощують процеси складання та розкладання, а також механізмами для мінімізації вібрацій під час роботи, забезпечуючи стабільність та точність розпилення пестицидів.

Завдяки цим особливостям, штангові обприскувачі Campro від Unigreen стають незамінними інструментами в сучасному сільському господарстві, допомагаючи аграріям досягати високих результатів у захисті рослин та підвищенні урожайності з мінімальними втратами ресурсів [3, 4].



Рисунок 1.8 – Причіпний обприскувач UNIGREEN – CAMPO

Конструкція штанг у формі просторової ферми не лише додає міцності й стабільності, але й дозволяє інтеграцію сучасних систем повітряної підтримки.

Ці системи сприяють ефективному осадженню крапель розпилення, значно покращуючи якість обприскування навіть за умови сильних вітрів до 10 м/с. Такий підхід забезпечує максимально рівномірне покриття рослин робочим розчином, що важливо для ефективного захисту від шкідників та хвороб.

Крім того, в обприскувачах встановлена автономна гідравлічна система, що забезпечує повну незалежність від гідросистеми трактора. Ця особливість значно підвищує оперативність та надійність обладнання, оскільки воно може функціонувати безперебійно та ефективно на тривалий період, незалежно від виконуваних робіт. Використання автономної гідравлічної системи дозволяє зберегти консистентність тиску та потоку розчину, що є критичним для забезпечення високої якості обприскування в різних агрономічних умовах.

Ці технологічні нововведення роблять обприскувачі незамінними для сучасного сільського господарства, дозволяючи аграріям впевнено керувати обробкою великих площ з високою точністю і мінімальними витратами.

Підвіска штанги на рамі обприскувачів Campro відзначається високоякісною амортизацією, яка повністю відповідає строгим стандартам якості, необхідним для сучасного агротехнічного обладнання. Ця підвіска дозволяє штанзі переміщуватися паралельно до поверхні ґрунту, ефективно розподіляючи динамічні навантаження у поперечному напрямку. Такий підхід не тільки забезпечує надійну стабільність штанги, але й забезпечує автоматичне збереження її паралельності навіть у складних умовах, наприклад, на схилах або пересіченій місцевості. Це критично важливо для забезпечення однорідності розпилення, коли частина штанги може перебувати на вищій ділянці, а інша – на схилі.

Завдяки інтегрованій гідравлічній системі регулювання підвіски у вертикальній площині, висота розпилювачів може бути точно налаштована до 2,5 метрів. Ця можливість регулювання дозволяє адаптувати обладнання для досягнення найкращих результатів обприскування залежно від висоти рослин та типу культур, що обробляються. Гнучка висота також сприяє мінімізації втрат робочого розчину пестицидів, забезпечуючи більш ефективне та

економічне використання ресурсів. Отже, ретельно продумана система підвіски на штангах обприскувачів Campro забезпечує високу адаптаційну здатність і точність роботи в різноманітних аграрних умовах.

Відповідно до індивідуальних потреб клієнта, обприскувач може бути укомплектований однією з двох моделей штанг: Multis або RCSI, кожна з яких має свої унікальні характеристики та переваги.

Модель штанги Multis відрізняється шириною захвату від 15 до 18 метрів, що робить її ідеальною для застосування на середніх по розміру полях. Ця штанга оснащена механізмом, який дозволяє їй складатися вертикально і розташовуватися в транспортному положенні позаду обприскувача, що забезпечує компактність під час транспортування та легкість у зберіганні.

З іншого боку, штанга моделі RCSI має більшу ширину захвату – від 15 до 21 метра, роблячи її вибором для більш масштабних агропроектів, де потрібно обробити великі площі за короткий час. Штанга RCSI складається в транспортне положення з боків обприскувача, що оптимізує розподіл ваги і зменшує загальну ширину обладнання під час перевезень.

Обидві моделі штанг розроблені з урахуванням зручності використання та ефективності розпилення, забезпечуючи адаптивність до різних умов роботи. Наявність вибору між двома типами штанг дозволяє клієнтам тонко налаштувати обприскувач відповідно до специфічних вимог їхніх сільськогосподарських операцій, що забезпечує оптимальну продуктивність і мінімізує зусилля на підготовку та транспортування.



Начіпний обприскувач Berthoud BERMATIC



Начіпний обприскувач Berthoud STANDARMATIC

Berthoud DPM



Начіпний обприскувач Berthoud MACK1000

Berthoud MACK 10

Рисунок 1.9 – Обприскувачі фірми BERTHOUD

Обприскувачі від німецького виробника AMAZONE відомі і високо цінуються на міжнародному рівні завдяки кільком ключовим факторам: виняткова надійність, висока якість хімічного догляду за культурами та чільні показники екологічної безпеки. Ці обприскувачі розроблені з урахуванням

суворих стандартів довговічності та ефективності, що забезпечує тривалий термін служби обладнання та мінімальну потребу у технічному обслуговуванні.

Зокрема, AMAZONE приділяє особливу увагу впровадженню інноваційних технологій, що знижують вплив на навколишнє середовище. Це досягається за рахунок оптимізації споживання хімічних засобів захисту рослин і точного контролю за їхнім розподілом, що дозволяє значно зменшити витрати і запобігати забрудненню ґрунту та водних ресурсів. Обприскувачі AMAZONE також оснащені системами, які автоматично адаптуються до різноманітних умов поля, забезпечуючи рівномірне і точне нанесення препаратів.

Високі технологічні стандарти, які дотримуються при виробництві обприскувачів AMAZONE, разом із їхньою екологічною безпекою і надійністю, зробили ці обладнання одними з найбільш вибраних на ринку, підтримуючи здоров'я культур та довкілля, рис. 1.10-1.11 [20].



Рисунок 1.10 – Обприскувачі Amazone UF 1000



Рисунок 1.11 – Amazone UX 5200 Super

Обприскувачі серії UF пропонують широкий вибір конфігурацій штанг, включаючи високоякісні штанги від AMAZONE, що спеціалізуються на ширині захвату від 12 до 15 метрів. Ці штанги відрізняються інноваційною конструкцією профілю, що забезпечує їх міцність та легкість, оптимізуючи тим самим продуктивність і зменшуючи зусилля при маневруванні на полі.

Особливістю штанг AMAZONE є використання підпружинених демпферних елементів з підшипниковою навіскою, які ефективно гасять коливання в вертикальній площині. Ця технологія значно підвищує стабільність штанг під час роботи, забезпечуючи більш рівномірне розпилення хімічних речовин, незалежно від нерівностей ґрунту. Крім того, пружини, встановлені уздовж штанг, ефективно зменшують ударні навантаження, що покращує збереження цілісності штанг та знижує ризик її пошкодження.

Завдяки такому технічному вдосконаленню, обприскувачі серії UF від AMAZONE забезпечують високу продуктивність та довговічність у складних аграрних умовах. Вони ідеально підходять для аграріїв, які шукають надійне та ефективне рішення для захисту своїх культур.

Для оптимізації роботи обприскувачів на схилах чи при великій ширині захвату використання гідравлічної системи зміни кута нахилу штанг є надзвичайно ефективним рішенням. Ця система дозволяє оператору швидко та з великою точністю адаптувати положення штанг до мінливих умов рельєфу, гарантуючи оптимальне покриття оброблюваної площі.

Завдяки інтеграції з бортовим комп'ютером, який має електрогідравлічну функціональність, корекція нахилу штанг може здійснюватися автоматично чи через просте натискання кнопки. Це значно спрощує управління процесом обприскування, дозволяючи оператору зосередитися на інших аспектах роботи. Автоматичне повернення штанг у вихідне положення після обробки ділянки забезпечує швидке пересування до наступного сегмента поля без зайвих зупинок і регулювань [22, 23].

Ці технології не тільки підвищують точність обробки на схилах та в інших складних умовах, але й забезпечують стабільність виконання роботи, що,

в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності обприскування та зменшенню втрат робочих розчинів. Використання гідравлічної системи зміни кута нахилу штанг є критично важливим для забезпечення рівномірного і точного розподілу хімічних препаратів, що веде до кращого здоров'я та продуктивності рослин.

Штанги Q-plus, що відзначаються своєю варіативністю захвату 12, 12.5, 15 та 18 метрів, є взірцем технологічності та адаптивності в сучасному агротехнічному обладнанні. Ці штанги оснащені потужними гідроциліндрами, що дозволяють їм миттєво розкладатися до половини висоти для зручності у вузьких або складних умовах роботи, а також складатися на будь-якій висоті, що забезпечує велику гнучкість під час переходів між різними ділянками поля.

Автоматичне блокування та розблокування штанг забезпечує безперебійність і безпеку процесів складання і розкладання, що важливо для підтримки швидкості роботи та мінімізації затрат часу на технічні маніпуляції. Управління нахилом і механізмом складання штанг може виконуватися через електронний перемикач або за допомогою гідравлічної системи, що надає оператору повний контроль над обладнанням прямо з кабіни трактора.

Ці функції роблять штанги Q-plus надзвичайно ефективними для широкого спектру аграрних операцій, дозволяючи з легкістю адаптуватися до різноманітних умов поля та різних вимог до обробки. Вони ідеально підходять для фермерів, які шукають максимальну продуктивність, гнучкість та надійність у своєму агротехнічному парку.

Штанги Super-S вирізняються найбільшим на ринку діапазоном ширин захвату, який варіюється від 15 до 28 метрів, включаючи такі розміри як 15, 16, 18, 20, 21, 24, 27, і 28 метрів. Ця вражаюча гнучкість робить їх ідеальним вибором для широкого спектру аграрних завдань, від обробки малих ділянок до великих агрокомплексів. Штанги виготовлені з високоміцного сталевого профілю, шириною до 140 мм, що забезпечує їм надійність та довговічність.

У транспортному положенні ширина штанг Super-S скорочується до всього 2,40 метра, що дозволяє легко та безпечно транспортувати обладнання по дорогах загального користування. Механізм автоматичного складання та

розкладання за допомогою гідроциліндрів значно спрощує переходи між робочими процедурами та транспортуванням, мінімізуючи час та зусилля, необхідні для підготовки до роботи.

Моделі UF 901 та UF 1201 типово комплектуються штангами з шириною захвату до 24 метрів, тоді як більші моделі UF 1501 та UF 1801 – до 28 метрів, забезпечуючи високу продуктивність на великих площах. У транспортному положенні штанги Super-S мають висоту приблизно 2,9 метра при агрегуванні зі стандартним трактором, що робить їх зручними для зберігання та транспортування, не вимагаючи спеціальних умов або додаткового обладнання.

Така інженерна майстерність і детальна увага до функціональності роблять штанги Super-S відмінним рішенням для сучасних аграріїв, які прагнуть до максимальної ефективності та гнучкості у своїх агротехнічних операціях.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ПРИЧІПНОГО ШТАНГОВОГО ОБПРИСКУВАЧА

2.1 Обґрунтування ідеї вдосконалення штангового обприскувача

Для забезпечення високої надійності та ефективності навісних конструкцій штанги обприскувача необхідно ретельно проаналізувати і порівняти їх міцнісні та жорсткісні характеристики. Це включає визначення таких ключових параметрів, як загальний запас міцності, прогин і максимальне місцеве напруження.

Загальний запас міцності конструкції штанги визначається шляхом поступового збільшення навантаження до моменту, коли напруження в окремих точках перевищують допустимі значення. У цей момент точки, в яких напруження досягло критичних значень, починають об'єднуватися в області і поширюватися по всій конструкції. Визначення запасу міцності дозволяє оцінити, наскільки конструкція здатна витримувати навантаження без ризику руйнування.

Прогин або пружна деформація конструкції є одним з найоб'єктивніших показників її жорсткості. Величина прогину вказує на те, наскільки конструкція змінює свою форму під дією навантаження. Для навісних конструкцій штанги обприскувача, які піддаються значним динамічним навантаженням під час роботи, важливо забезпечити мінімальний прогин для збереження точності розпилення і стабільності роботи.

Максимальне місцеве напруження визначається в точках конструкції, де концентрація напруження є найбільшою. Цей параметр важливий для виявлення слабких місць у конструкції, які можуть стати причиною її руйнування під навантаженням. Виявлення і посилення таких місць дозволяє підвищити надійність штанги.

На початку аналізу необхідно розрахувати міцнісні характеристики першої та другої секцій штанги ОПШ-3500 у відповідності до конструкторської документації (КД). Ці результати слугуватимуть базовою основою для порівнянь і оцінки впливу змін у конструкції на напружено-деформований стан секцій. Використання цих даних дозволить об'єктивно оцінити, як ті чи інші модифікації впливають на загальні характеристики конструкції.

Досвід експлуатації показав, що міцність штанги ОПШ-3500, виготовленої згідно з КД, є недостатньою. Тому введення поступових доробок на виробництві має бути проаналізовано для виявлення найбільш ефективних змін. Кожна модифікація буде оцінюватися з точки зору її впливу на загальний запас міцності, прогин і максимальне місцеве напруження.

Після проведення всебічного аналізу та порівняння різних варіантів конструкції штанги буде представлено найбільш надійну конфігурацію секцій. Це дозволить забезпечити високу ефективність та надійність обприскувача, мінімізуючи ризики руйнування та забезпечуючи стабільну роботу в умовах реальної експлуатації. Таким чином, процес доробок та аналізу дозволить створити оптимальну конструкцію, яка відповідатиме всім необхідним вимогам та стандартам.

2.2 Основні припущення при формуванні моделі розрахунку

Розрахунки I та II секцій штанг причіпного обприскувача ОПШ-3500 були виконані для чотирьох варіантів конструкції, що включали: відповідність початковому конструкторському документу (КД), першого коректування КД, другого коректування КД та новий проект конструкції штанги з більш розвинутою навісною конструкцією, в якій верхній пояс кожної секції формується з двох труб, замість однієї.

Кожен з цих варіантів був детально проаналізований з метою оцінки

впливу змін у конструкції на міцність та жорсткість секцій штанги. В процесі аналізу було використано комп'ютерне моделювання та випробування на міцність, що дозволило виявити ключові зони потенційного зміцнення та оптимізації [7, 12, 13].

Порівняльний аналіз вказав на значне покращення жорсткості та витривалості нової конструкції, де застосування подвійних труб у верхньому поясі секцій значно зменшило деформації та підвищило загальну стійкість до впливу динамічних навантажень. Також, це сприяло кращому розподілу ваги та зниженню вібрацій під час роботи обприскувача, що покращує точність нанесення хімічних речовин та забезпечує більш рівномірне покриття оброблюваних площ.

В результаті, висновки цих розрахунків та аналізів були використані для подальшого удосконалення дизайну штанг ОПШ-3500, з метою досягнення оптимального балансу між міцністю, функціональністю та вартістю виробництва. Це не лише підвищує конкурентоспроможність продукту на ринку, але й забезпечує аграріям надійне та ефективне обладнання для захисту своїх культур.

Для аналізу та проектування штанг причіпного обприскувача ми впроваджуємо кілька припущень і спрощень, які дозволяють оптимізувати розрахунковий процес, зосередившись на ключових аспектах структурної цілісності. Ці припущення спрощують моделювання, не суттєво зменшуючи точність кінцевих результатів:

1. Для спрощення розрахунків припускаємо, що центри мас кожної секції штанг розташовані точно по їх середині. Це допомагає у стандартизації вихідних даних для аналізу динамічних характеристик і стабілізації поведінки обприскувача при різних робочих умовах.
2. У розрахункових моделях секцій штанги приймається, що навісна частина відтворюється як одне суцільне тіло. Це означає, що комплексність реальних структурних співвідношень зводиться до моделі, де секції штанги розглядаються як вирізані з одного блоку матеріалу.

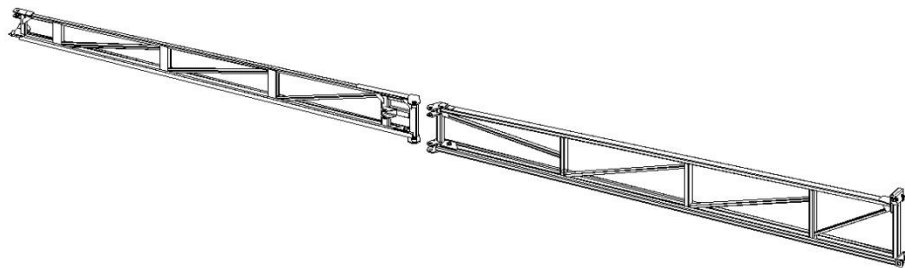
Таке припущення значно спрощує аналіз напружень та деформацій, водночас забезпечуючи достатню точність для визначення критичних зон.

3. У розрахунках зварні шви не відтворюються і не піддаються розрахунку, що дозволяє виключити додаткову складність аналізу зварних з'єднань. Це припущення прийнятно, оскільки фокус аналізу лежить на загальній цілісності штанг, а не на детальному вивченні зон зварювання, хоча це може потребувати подальшого розгляду при більш високих вимогах до точності.

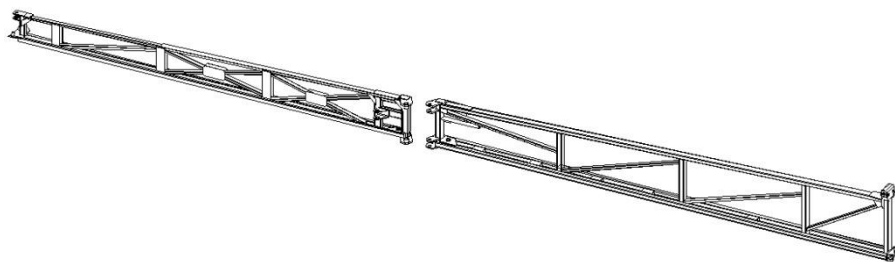
Ці спрощення забезпечують баланс між аналітичною складністю та практичною необхідністю, дозволяючи ефективно розробляти безпечні та надійні конструкції обприскувачів, але з чітким розумінням їх обмежень та потенційних місць для додаткових досліджень і удосконалень.

2.3 Визначення діючих навантажень на секції штанги

Матеріал навісної конструкції I секції штанги: Сталь В20 ГОСТ13663-86 (або Ст3); $\sigma_{-1}=210$ МПа [40].

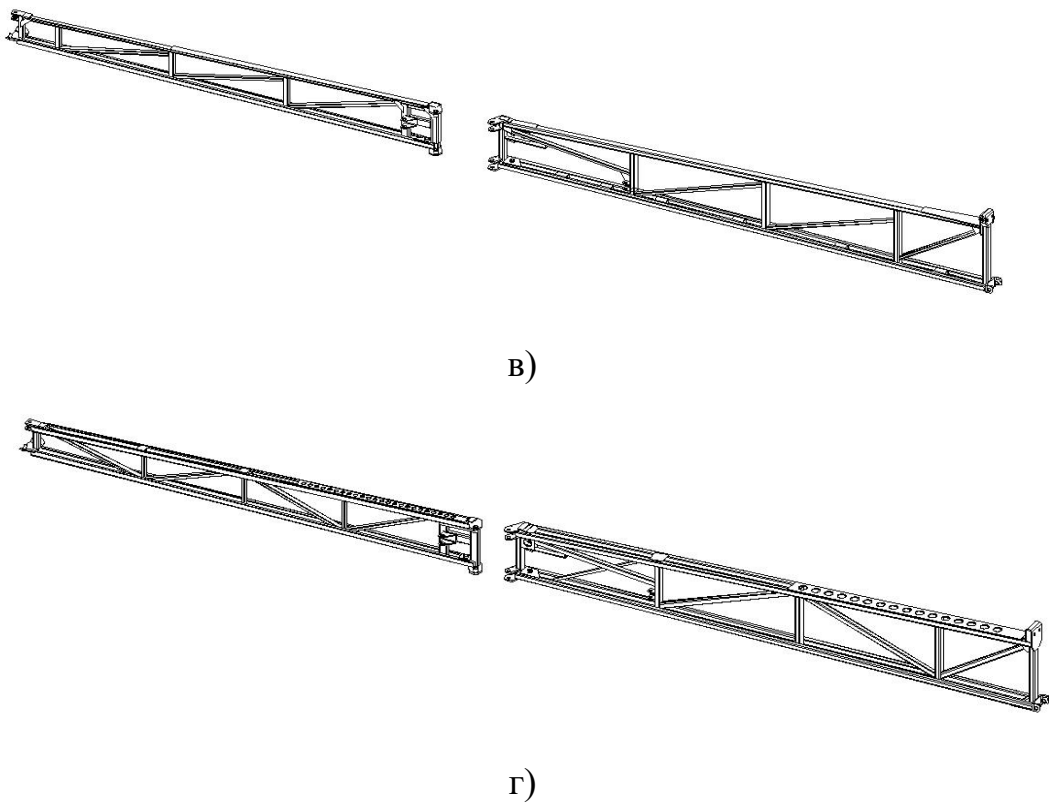


а)



б)

Рисунок 2.1 – Варіанти секцій за поетапними доробками



а – I і II секції ОПШ-3524 (базова); б – модернізація 1;
в – модернізація 2; г – новий проєкт.

Рисунок 2.1 – Варіанти секцій за поетапними доробками (продовження)

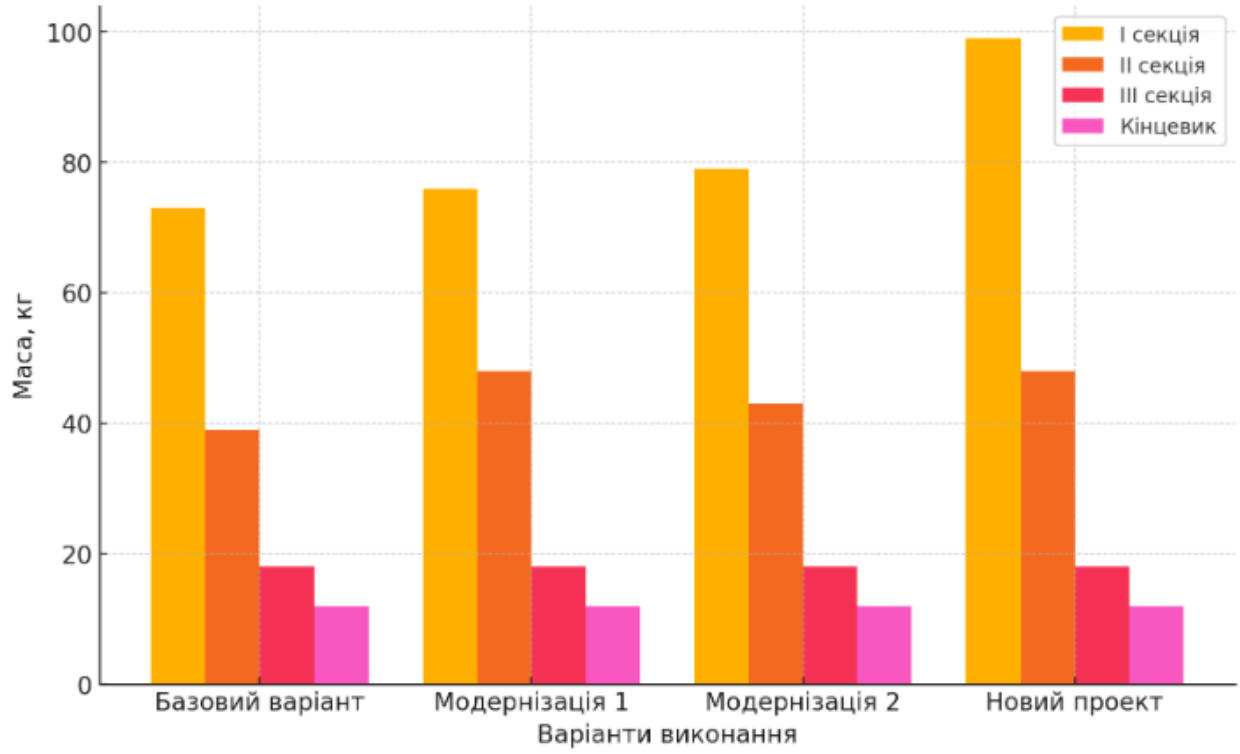


Рисунок 2.2 – Маса секцій штанги за варіантами

На стовпчиковій діаграмі зображено маси навісних конструкцій секцій для чотирьох варіантів виконання: базовий варіант, дві модернізації, та новий проект. Зокрема, видно значне збільшення маси I секції в новому проекті, що свідчить про зміцнення конструкції. Вага II секції також зазнала змін у процесі модернізації, тоді як маси III секції та кінцевика залишились незмінними у всіх варіантах.

Розрахунок I секції штанги обприскувача включає аналіз згину у вертикальній площині, що є критичним для визначення її механічної стійкості під час експлуатації. Цей процес дозволяє оцінити здатність конструкції витримувати навантаження, викликані вагою самої штанги, динамічними ефектами від роботи обприскувача та зовнішніми умовами, такими як вітер чи нерівності поля.

Для розрахунку I секції на згин у вертикальній площині використовується розрахункова схема крила, яка детально представлена на рисунку 2.3. Ця схема моделює штангу як балку, закріплену на одному кінці, із вільними кінцями, що піддаються навантаженням. Вона дозволяє аналізувати згинальні моменти та напруження, що виникають у штанзі під час роботи.

Використання такого підходу допомагає виявити потенційні слабкі місця в конструкції, оптимізувати параметри матеріалу та геометрії для збільшення жорсткості та витривалості секції. Це також сприяє розробці рекомендацій для посилення штанги, що може включати введення додаткових підтримуючих елементів або використання матеріалів із вищими механічними характеристиками. Такий аналітичний підхід є ключовим для гарантування надійності та довговічності обприскувачів у складних аграрних умовах.

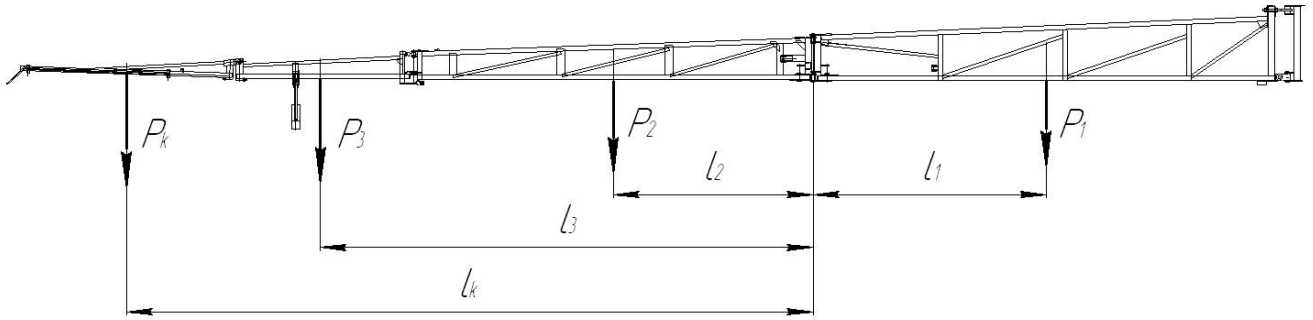


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема крила для розрахунку I секції на згин у вертикальній площині

Визначаємо сили ваги P_i , що діють на секції [1, 4, 21]

$$P_i = m_i g, \quad (2.1)$$

де m_i – маси навісних конструкцій секцій, g – прискорення вільного падіння, i – номер секції (k – кінцевик).

Визначаємо сумарну зведену силу P_Σ на зовнішньому краю I секції [38]

$$P_\Sigma = P_1 + P_2 + P_3 + P_k, \quad (2.2)$$

де P_1 – сила, дія якої на краю I секції еквівалентна (створює такий самий прогин) дії сили ваги P_1 цієї секції прикладеної до центра мас.

Для визначення P_1 припустимо, що маса I секції m_1 рівномірно розподілена по її довжині L_1 .

Сила P_1 представляє собою дію цього розподіленого навантаження q_1 на довжині L_1 :

$$P_1 = q_1 L_1. \quad (2.3)$$

Прогин балки Δ від дії розподіленого навантаження визначається як

$$\Delta = q_1 L_1^4 / (8EI), \quad (2.4)$$

де E – модуль пружності І роду, I – момент інерції поперечного січення.

Прогин балки Δ від дії сили прикладеної до її краю визначається як

$$\Delta = P_1 L_1^3 / (3EI). \quad (2.5)$$

Виходячи з умови рівності прогинів, прирівнюємо праві частини виразів (2.4) і (2.5), а також враховуючи (2.3), знаходимо

$$P_1 = (3/8)P_1 = 0,375P_1. \quad (2.6)$$

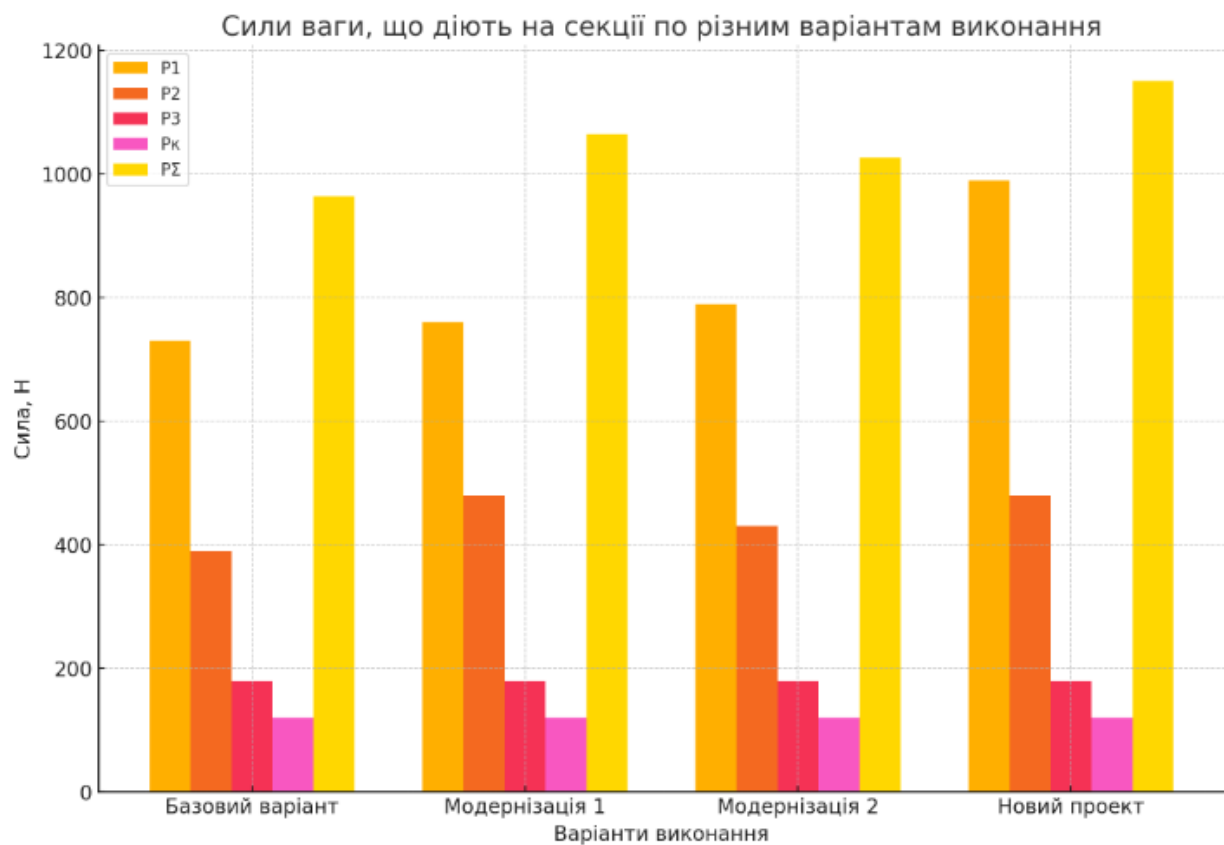


Рисунок 2.4 – Сили ваги, що діють на секції

На стовпчиковій діаграмі представлено сили ваги, що діють на різні секції штанги в залежності від варіанту виконання. Значення сили для кожної секції (P_1 , P_2 , P_3 , P_k) та загальна сумарна сила (P_Σ) зображені для базового варіанту, двох модернізацій та нового проекту.

Як видно, найбільше зростання сили спостерігається для P_1 у новому проекті, що свідчить про значне збільшення ваги першої секції через додавання матеріалів або зміни конструкції. Сила P_2 також зазнала змін в модернізованих версіях, тоді як P_3 та P_k залишаються стабільними у всіх варіантах. Загальна сумарна сила (P_Σ) зростає у модернізованих версіях і досягає максимального значення у новому проекті, що вказує на збільшення загальної ваги конструкції у порівнянні з базовим варіантом.

Визначаємо моменти M_i , які створюють сили ваги секцій на зовнішньому краю I секції

$$M_i = P_i l_i, \quad (2.7)$$

де l_i – координати центрів мас секцій

($l_1=2,028$ м; $l_2=1,738$ м; $l_3=4,285$ м; $l_k=5,971$ м)

Знаходимо сумарний момент M_Σ

$$M_\Sigma = M_2 + M_3 + M_k. \quad (2.8)$$

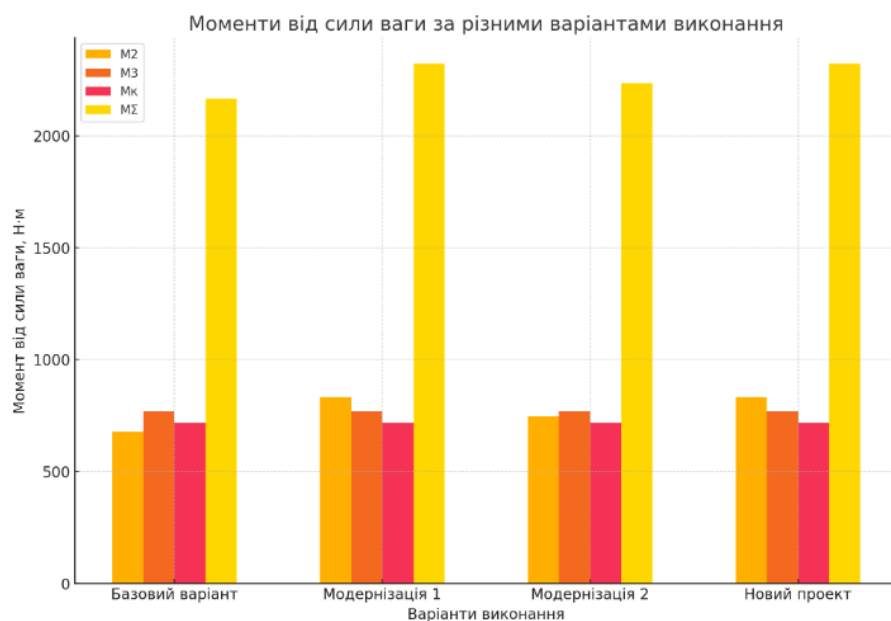


Рисунок 2.5 – Моменти від сили ваги

Складаємо розрахункову схему I секції (рис. 2.3).

Сумарний момент M_{Σ} замінюємо еквівалентною йому парою сил F_M

$$F_M = M_{\Sigma}/b, \quad (2.9)$$

де $b=0,325\text{м}$ – відстань між точками прикладання сил F_M .

Еквівалентні до сумарного моменту пара сил за різними варіантами виконання

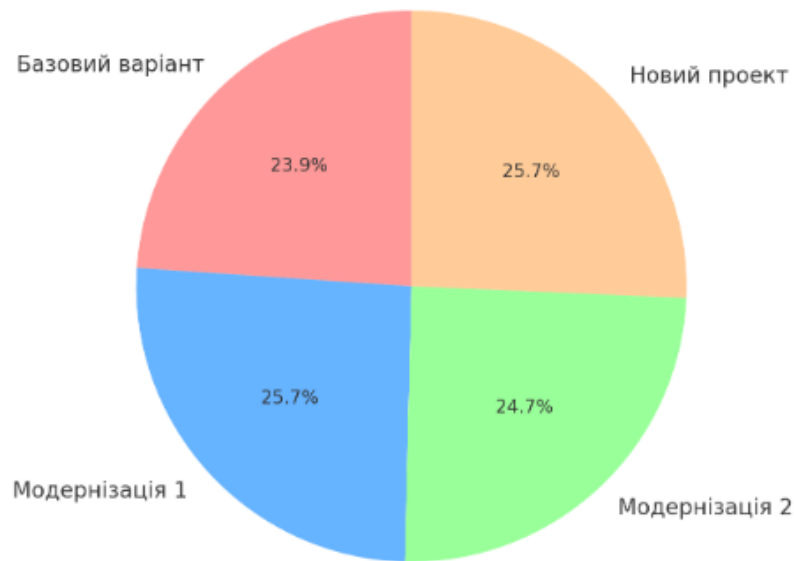


Рисунок 2.6 – Еквівалентні до сумарного моменту пара сил

На круговій діаграмі представлено розподіл еквівалентних до сумарного моменту пар сил для різних варіантів виконання обприскувача. Ці значення вказують на сили, які необхідні для врівноваження моментів, що діють на конструкцію.

З діаграми видно, що варіанти "Модернізація 1" та "Новий проект" мають однакову величину сили, що є найбільшою серед усіх варіантів, складаючи приблизно 26,4% від загальної суми для кожного. "Модернізація 2" має трохи меншу частку, а "Базовий варіант" – найменшу, що свідчить про менші навантаження в цьому проекті порівняно з іншими.

Ці дані можуть бути корисними при виборі між різними конструкціями з огляду на їхню здатність витримувати високі навантаження.

Складаємо зведену розрахункову схему I секції (рис. 2.7).

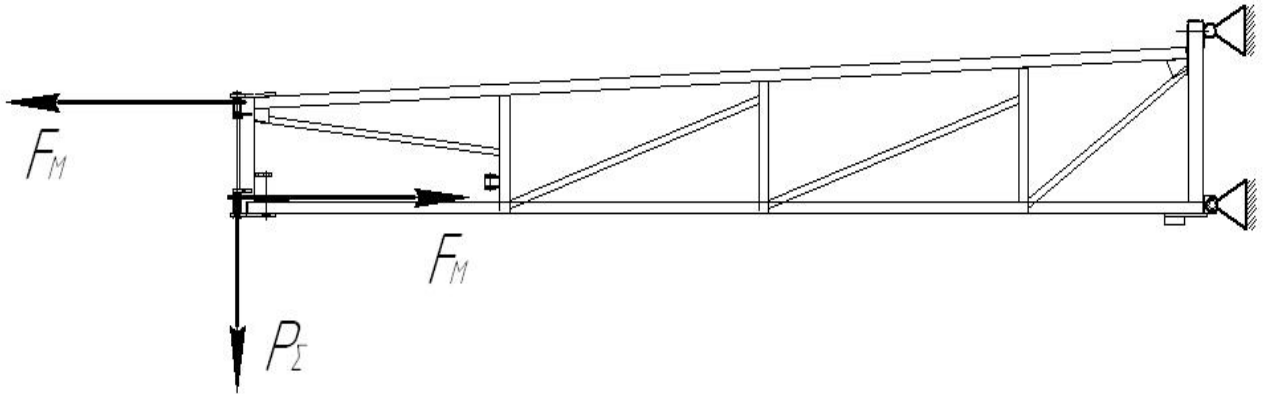


Рисунок 2.7 – Зведена розрахункова схема I секції для згину у вертикальній площині

До 3-вимірних розрахункових моделей I секції, які відтворюють різні варіанти виконання, прикладаємо відповідні навантаження і закріплення.

Розрахунок проводимо методом скінчених елементів.

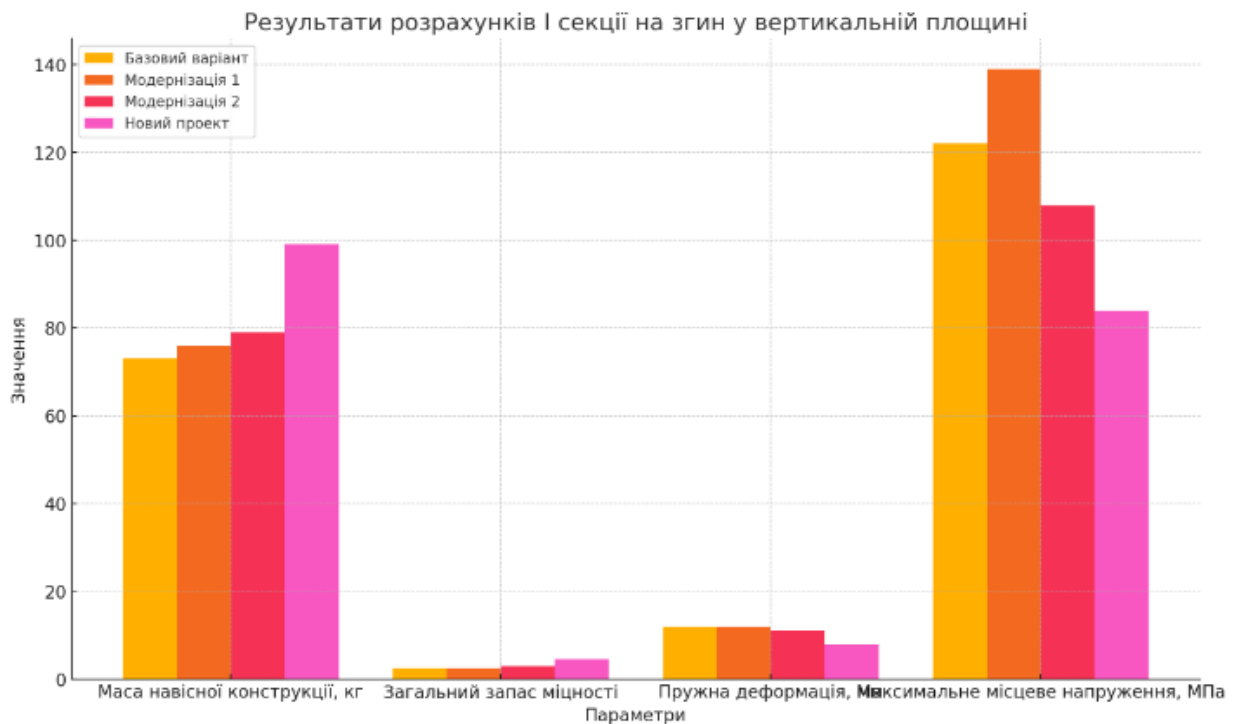


Рисунок 2.8 – Результати розрахунків I секції

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок I секції на кручення під час процесу розкладання-складання штанги

Аналіз напружено-деформованого стану I секції обприскувача під час процесу розкладання-складання штанги відбувається при специфічному куті 90 градусів між I та II секціями, як детально зображено на рисунку 3.1. Цей стан визначає критичні моменти в роботі механізму, коли штанга перебуває під значними навантаженнями, що можуть спричинити деформацію або пошкодження.

Крім того, було взято до уваги нестандартний, але практично можливий сценарій, коли розкладання-складання штанги відбувається з нескладеним кінцевиком.. Наявність кінцевика у розгорнутому стані під час маніпуляцій із штангою призводить до збільшення крутного моменту, що діє на першу секцію. Це створює додаткові навантаження, що не характерні для стандартного процесу розкладання зі складеним кінцевиком.

Забезпечення достатньої міцності конструкції для роботи в цих підвищених умовах дозволить гарантувати безпеку і довговічність при звичайних умовах розкладання-складання. Таким чином, розробка конструкції, що витримує нештатні умови, стає запорукою надійності та стабільності в усіх режимах експлуатації штанги. З цією метою, використовуються додаткові розрахунки та посилення критичних зон конструкції, щоб знизити ризик несправностей та забезпечити більш тривалий термін служби обладнання [27, 37].

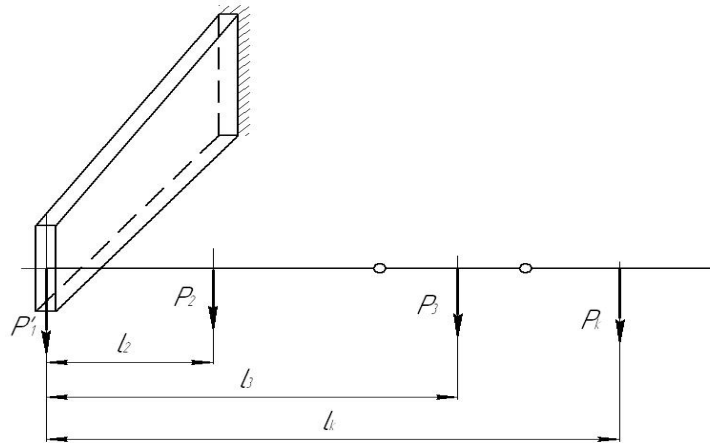


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема крила для кручення під час процесу розкладання-складання штанги

Сумарна зведена сила P_{Σ} на зовнішньому краю I секції буде такою ж як і у розрахунку на згин у вертикальній площині.

Крутні моменти $M_{крі}$, які створюють сили ваги секцій на зовнішньому краю I секції, будуть рівні згинальним моментам M_i але будуть діяти в площині перпендикулярній до поздовжньої осі штанги. Відповідно до рис. 3.2 і 3.3

$$M_{крі} = M_i \quad \text{і} \quad F_M = F_{Mкр} \quad (3.1)$$

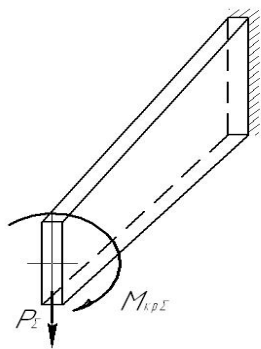


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема I секції для кручення під час процесу розкладання-складання штанги

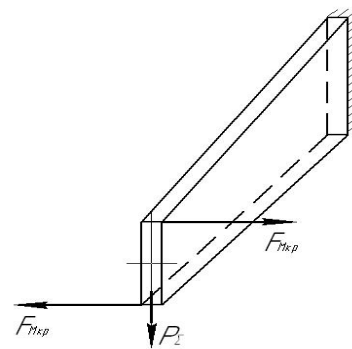


Рисунок 3.3 – Зведена розрахункова схема I секції для кручення під час процесу розкладання-складання штанги

Для проведення розрахунків I секції використовуються тривимірні розрахункові моделі, що відображають різні варіанти її виконання. На ці моделі

накладаються навантаження та закріплення відповідно до даних, а також згідно з розрахунковою схемою, зображеною на рисунку 3.3. Розрахунки виконуються за допомогою методу скінчених елементів, що дозволяє детально аналізувати поведінку конструкції під час навантаження.

Результати цих розрахунків представлені на рис. 3.4, де можна ознайомитися з детальними показниками міцності, жорсткості та інших важливих параметрів конструкції в різних сценаріях навантажень. Це забезпечує глибоке розуміння роботи конструкції та її відповідності встановленим нормам і стандартам.



Рисунок 3.4 – Результати розрахунків на на кручення I секції при розкладанні секції

На стовпчиковій діаграмі зображено результати розрахунків I секції на кручення під час процесу розкладання-складання штанги для різних варіантів виконання: базовий варіант, дві модернізації, та новий проект. Діаграма ілюструє зміни в масі навісної конструкції, загальному запасі міцності, пружній деформації, та максимальному місцевому напруженні.

1. **Маса навісної конструкції** значно збільшується в новому проекті (+36%), що свідчить про зміцнення конструкції через додавання матеріалів або зміни в дизайні.
2. **Загальний запас міцності** показує збільшення тільки в новому проекті (+20%), підкреслюючи покращення в конструктивній цілісності.
3. **Пружна деформація** знижується в новому проекті (-29%), що вказує на підвищену жорсткість конструкції.
4. **Максимальне місцеве напруження** значно зменшується в новому проекті (-30%), що свідчить про краще розподілення навантажень і менший ризик втоми матеріалу.

Ці результати вказують на значні поліпшення в новому проекті, які забезпечують кращу витривалість і стійкість обприскувача під час кручення, та водночас підвищують його довговічність і надійність

3.2 Розрахунок II секції на згин у вертикальній площині

Розрахункова схема частини крила для розрахунку II секції на згин у вертикальній площині наведена на рис. 3.5.

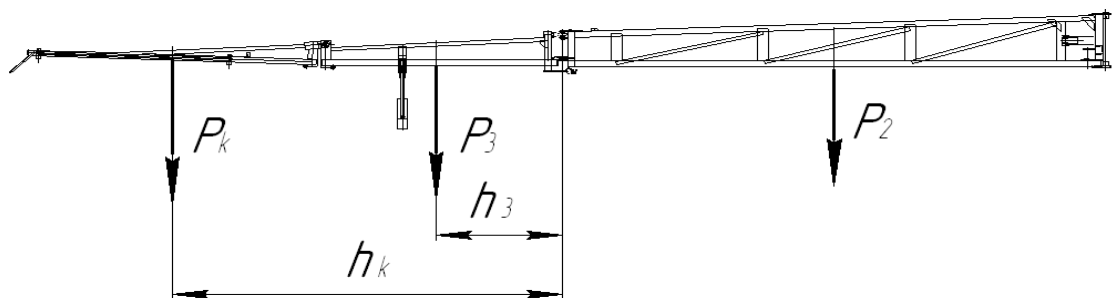


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема частини крила для розрахунку II секції на згин у вертикальній площині

Визначаємо сумарну зведену силу R_{Σ} на зовнішньому краю II секції [38]

$$R_{\Sigma} = P'_2 + P_3 + P_k, \quad (3.2)$$

де P'_2 – сила, дія якої на краю II секції еквівалентна (створює такий самий прогин) дії сили ваги P_2 цієї секції прикладеної до центра мас.

Силу P'_2 визначаємо аналогічно як і для I секції

$$P'_2 = 0,375P_2 \quad (3.3)$$

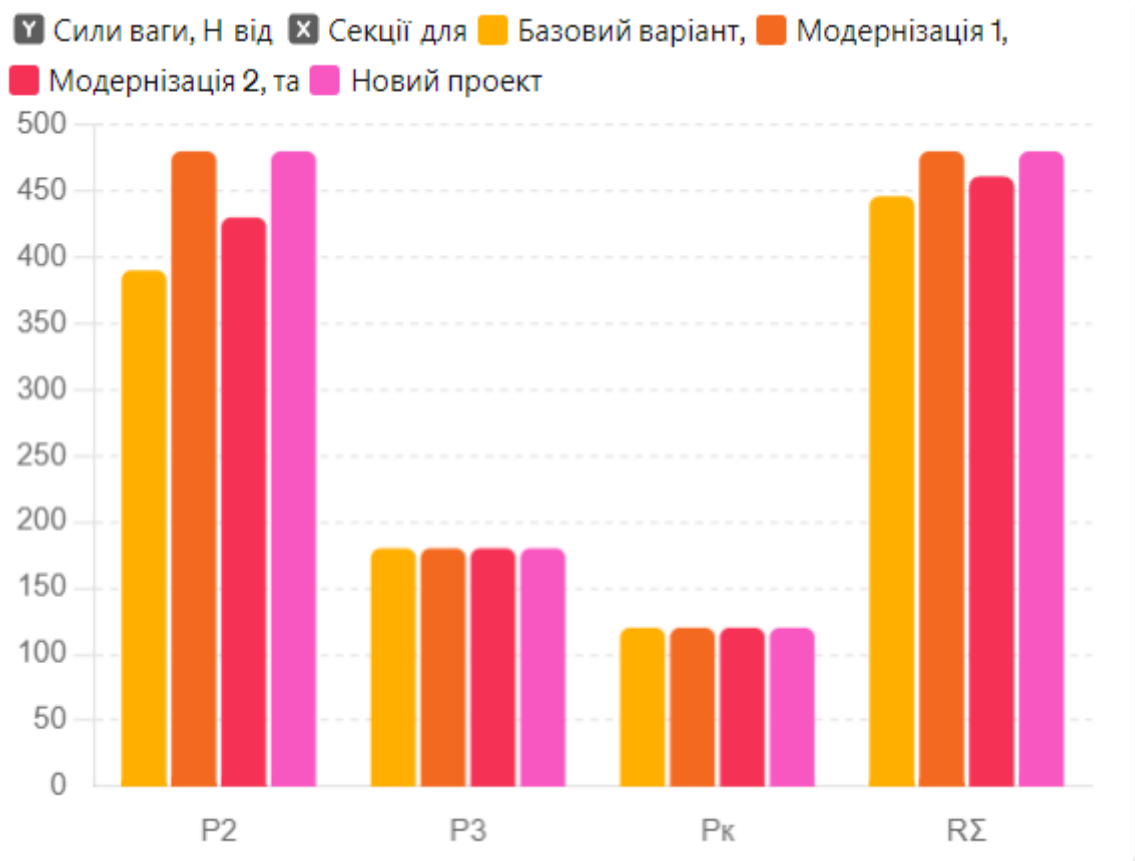


Рисунок 3.6 – Діаграма дії сил ваги

Визначаємо моменти T_i , які створюють сили ваги секцій на зовнішньому краю II секції

$$T_i = P_i h_i, \quad (3.4)$$

де h_i – координати центрів мас секцій ($h_3=0,81$ м; $h_k=2,496$ м).

Знаходимо сумарний момент T_{Σ}

$$T_{\Sigma} = T_3 + T_k. \quad (3.5)$$

Складаємо розрахункову схему II секції (рис. 3.7).

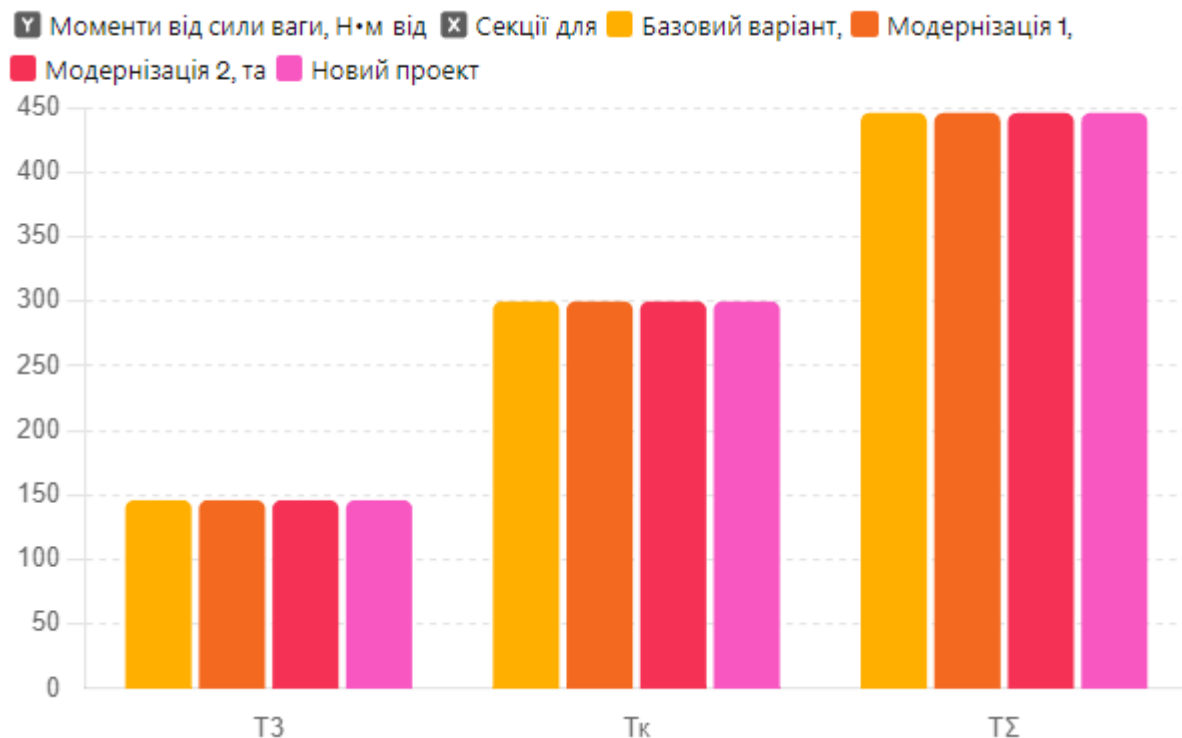


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема I секції для згину у вертикальній площині

Сумарний момент T_{Σ} замінюємо еквівалентною йому парою сил N_M

$$N_M = T_{\Sigma}/c, \quad (3.6)$$

де $c = 0,18$ м – відстань між точками прикладання сил N_M .

Для ■ Базовий варіант, ■ Модернізація 1, ■ Модернізація 2, та ■ Новий проект

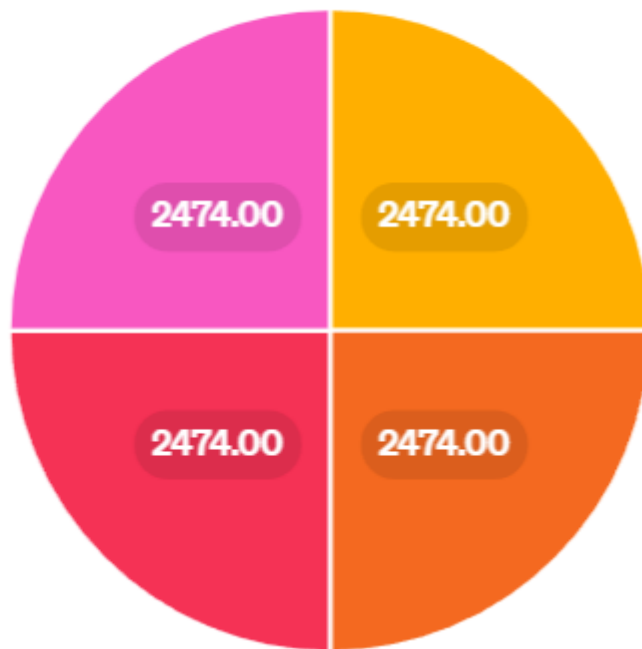


Рисунок 3.8 – Еквівалентні до сумарного моменту пара сил

Складаємо зведену розрахункову схему II секції (рис. 3.9).

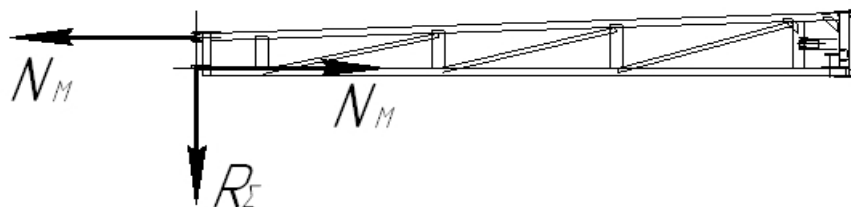


Рисунок 3.9 – Зведена розрахункова схема II секції для згину у вертикальній площині

Розрахунок проводимо методом скінчених елементів.

Результати розрахунків наведено на рис.3.10.

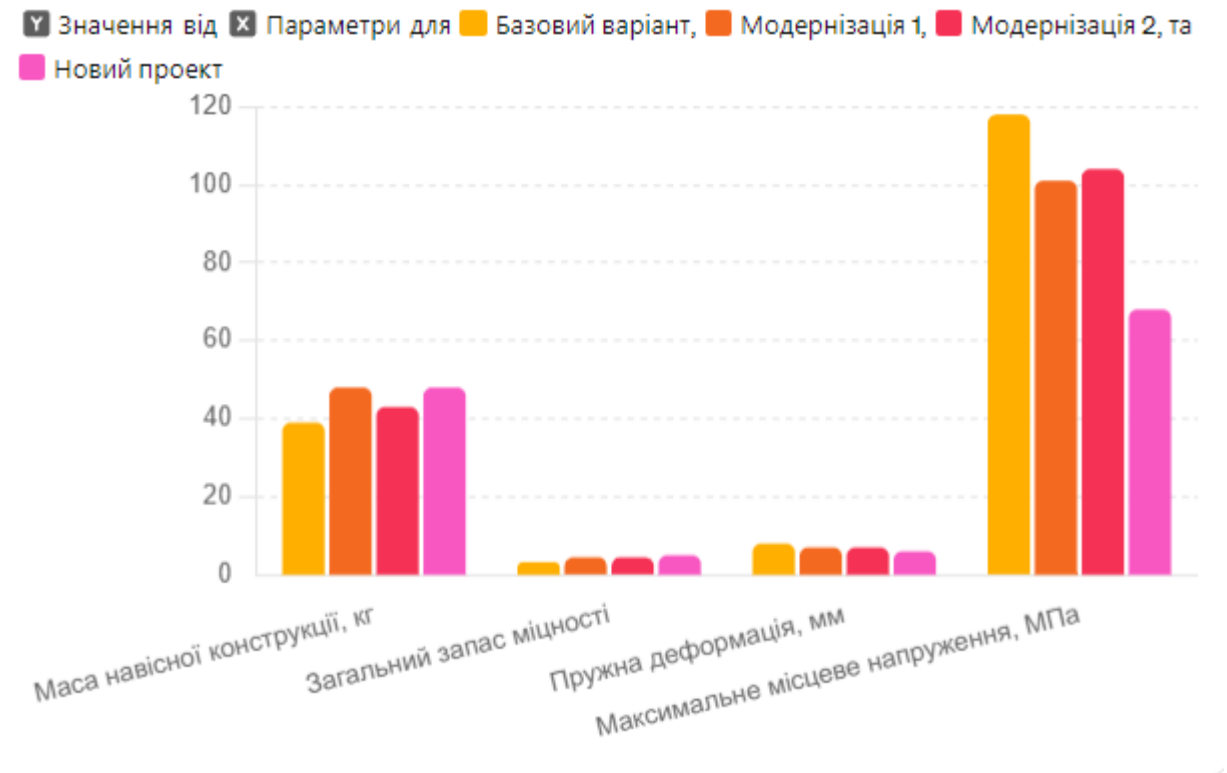


Рисунок 3.10 – Результати розрахунків

3.3 Аналіз результатів дослідження штанги

Для аналізу та порівняння міцнісних та жорсткісних характеристик навісних конструкцій штанги були визначені такі параметри: загальний запас міцності, прогин та максимальне місцеве напруження. Необхідно відмітити, що, враховуючи прийняте на початку розрахунку припущення про виключення зварних швів з розрахунку, на місцях стиків деталей при відсутності тіла шва знаходяться концентратори напружень, які відсутні на реальній конструкції. Тому величини максимальних місцевих напружень є дещо вищими за реальні і приведені для порівняння між собою різних варіантів виконання секцій штанги.

Доповнюючи аналіз, слід підкреслити, що базовий варіант конструкції демонструє найменші значення загального запасу міцності та найбільші пружні деформації [35]. Модернізації 1 та 2 показали покращені характеристики у порівнянні з базовим варіантом, а новий проект продемонстрував найкращі

результати, зокрема, найменше максимальне місцеве напруження та найвищий загальний запас міцності. Ці результати свідчать про значний потенціал для покращення міцнісних та жорсткісних характеристик конструкцій штанги через модернізації та розробку нових проектів.

Загальний запас міцності визначався шляхом поступового збільшення навантаження до моменту, коли точки, в яких напруження перевищують допустимі, починають переростати з точкових в області та поширюються по всій конструкції. Варто зазначити, що значення цього показника є дещо суб'єктивними через складність точного визначення моменту поширення напружень.

Найбільш об'єктивним показником є величина прогину (пружної деформації) навісної конструкції. Спочатку розраховувались I і II секції штанги ОПШ-3500 у варіанті виконання згідно конструкторської документації (КД). Їх результати слугували основою для порівняння та аналізу, як ті чи інші доробки чи зміни в конструкції впливають на напружено-деформований стан цих секцій.

При аналізі результатів також враховувались максимальні місцеві напруження, які були визначені з урахуванням прийнятого на початку розрахунку припущення про виключення зварних швів. На місцях стиків деталей при відсутності тіла шва знаходяться концентратори напружень, які відсутні на реальній конструкції. Тому величини максимальних місцевих напружень є дещо вищими за реальні, але вони були приведені для порівняння між собою різних варіантів виконання секцій штанги.

Таким чином, проведений аналіз дозволив об'єктивно оцінити міцнісні та жорсткісні характеристики різних варіантів виконання конструкцій штанги, виявити потенційні зони покращення та забезпечити обґрунтовані рекомендації для модернізації конструкцій.

Як показав досвід експлуатації, міцність штанги ОПШ-3500, виготовленої згідно з конструкторською документацією (КД), є неприйнятною. Результати розрахунків підтвердили це: основний показник надійності, такий як запас

міцності, що повинен становити приблизно 5 для згину у вертикальній площині при робочих навантаженнях, для першої секції склав лише 2,5.

З метою підсилення конструкції були проведені зміни в конструкції. Однак ці доробки не дали позитивного результату, оскільки значно зросла маса другої секції порівняно з першою секцією. Хоча перша секція і стала міцнішою, але з підвищеним навантаженням на неї отримано той самий результат для запасу міцності при згині у вертикальній площині – 2,5. Друга секція при цьому варіанті виконання вже має задовільну міцність, з запасом міцності при вертикальному згині – 4,5.

У подальших дослідженнях необхідно зосередитися на оптимізації конструкції, щоб досягти прийняттого рівня міцності без значного збільшення маси секцій. Це може включати використання нових матеріалів, зміни у геометрії конструкції та вдосконалення технології виробництва. Проведені доробки мають бути ретельно перевірені та оптимізовані для досягнення необхідних показників міцності та жорсткості, що забезпечить надійність та ефективність експлуатації штанги ОПШ-3500.

Доробки мали за мету максимально підвищити надійність I та II секцій без значних змін у конструкції. Було вирішено підсилити I секцію та зменшити масу II секції. В результаті цих змін запас міцності I секції при вертикальному згині збільшився до 3, а жорсткість зросла на 8%.

Показники міцності та жорсткості II секції були збережені на задовільному рівні, при цьому її масу зменшено на 5 кг. Ці зміни дозволили значно покращити експлуатаційні характеристики штанги, забезпечивши більшу надійність та ефективність без суттєвого збільшення ваги конструкції.

Подальші вдосконалення повинні спрямовуватись на оптимізацію конструкції, враховуючи результати випробувань, щоб досягти ще кращих показників міцності та жорсткості при мінімальних змінах маси.

Напрямок подальшого вдосконалення навісної частини штанги обрано перехід з "плоского" типу конструкції на "об'ємний". Правильність такого вибору підтверджується застосуванням "об'ємного" типу штанг провідними

світовими виробниками обприскувачів. Було розроблено нову конструкцію штанги, основною відмінністю якої від серійної є двотавровий характер поперечного перерізу секцій.

Цей підхід дозволяє збільшити жорсткість не лише на згин у вертикальній площині, але й на згин у горизонтальній площині та на кручення, що значно підвищує надійність навісної конструкції штанги. В результаті розрахунків для I та II секцій штанги такого типу було отримано хороші показники міцності та жорсткості: запас міцності I секції склав 4,5, II – 5; жорсткість I секції зросла на 33%, II – на 25%.

Таким чином, перехід до "об'ємного" типу конструкції є перспективним напрямком вдосконалення, що дозволяє значно підвищити експлуатаційні характеристики штанги, забезпечуючи високу надійність та ефективність у використанні.

Як видно з результатів розрахунку на кручення під час процесу розкладання-складання штанги з нескладеним кінцевиком, цей процес є екстремальним режимом для I секції. Доробки конструкцій "плоского" типу не дали відчутного ефекту. Лише перехід на "об'ємний" варіант дозволив зменшити напруження та деформації в I секції.

Незважаючи на дуже високі значення місцевих напружень, слід враховувати, що таке навантаження діє на I секцію лише в один момент процесу розкладання-складання штанги, коли кут між I і II секціями становить 90°. Це означає, що підвищені напруження мають короткочасний характер і не впливають значною мірою на загальну експлуатаційну надійність конструкції.

Таким чином, перехід до "об'ємного" типу конструкції є виправданим та ефективним рішенням для підвищення жорсткості та зниження напружень у критичних режимах роботи штанги.

Зростання маси для "об'ємного" типу конструкції відносно варіанта за конструкторською документацією (КД) становить 36%. Однак, порівняно з варіантом, вдосконаленим 9 жовтня, це зростання складає вже лише 25%. Крім того, очікується, що це збільшення маси окупиться завдяки підвищенню

надійності, зменшенню кількості та обсягу гарантійних робіт та зростанню позитивної репутації підприємства.

Таким чином, коефіцієнт запасу міцності 2,5 при згині у вертикальній площині для I секції є неприйнятним. Припустимість значення цього коефіцієнта на рівні 3 буде визначена під час експлуатації. Важливо відзначити, що підвищення надійності конструкції дозволить зменшити витрати на обслуговування та ремонт, що у довгостроковій перспективі компенсує початкове збільшення маси конструкції. Це також сприятиме зміцненню довіри клієнтів до продукції підприємства та підвищенню його конкурентоспроможності на ринку.

Результати розрахунків підтверджують доцільність переходу на "об'ємний" тип конструкції секцій штанги. Зміна конструкції на "об'ємний" тип також дає можливість, завдяки збільшенню ширини верхнього пояса II секції, застосувати автоматичне вертикальне розкладання-складання III секції з кінцевиком.

Внаслідок отримання високого запасу міцності для "об'ємного" типу штанги при вертикальному згині (4,5), з'являється можливість розробки 27-метрової штанги на основі 24-метрової з відповідними підсиленнями. Це дозволяє розширити функціональні можливості обладнання та підвищити його ефективність.

Збільшення маси при переході на "об'ємний" тип конструкції секцій вважається виправданим. Очікується, що це збільшення маси компенсується підвищеною надійністю, зменшенням кількості та обсягу гарантійних робіт, а також зростанням позитивної репутації підприємства.

Таким чином, перехід на "об'ємний" тип конструкції не тільки забезпечує покращення міцності та жорсткості штанги, але й відкриває нові можливості для автоматизації процесів та розробки більш досконалих та ефективних рішень.

Для остаточного прийняття рішення про доцільність запуску штанги нового типу у виробництво необхідно провести експериментальні

випробування дослідного зразка, щоб виявити слабкі місця, які не були враховані під час розрахунків. Також важливо провести перевірочний розрахунок кінцевого варіанту штанги на коливання, щоб уникнути збігу власних частот коливань штанги з частотами вимушених коливань від експлуатаційних навантажень, що може призводити до резонансних явищ.

Перспективним є застосування такої штанги на самохідному обприскувачі з деякими підсиленнями, які враховують підвищену експлуатаційну швидкість. Це дозволить забезпечити не тільки високу надійність і довговічність конструкції, але й підвищити ефективність та продуктивність обприскувача.

Таким чином, проведення додаткових експериментальних випробувань та розрахунків є критично важливим для впровадження нового типу штанги у виробництво. Це забезпечить високу якість та надійність продукції, що в свою чергу підвищить конкурентоспроможність підприємства на ринку.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Небезпеки для людини, що виникають при хімічному захисті рослин

Хімічний захист рослин включає використання різних хімічних засобів, таких як пестициди, гербіциди, фунгіциди та інсектициди, для контролю над шкідниками, хворобами та бур'янами. Хоча ці хімікати значно підвищують урожайність сільськогосподарських культур, вони також несуть в собі ряд небезпек для здоров'я людини. Небезпеки можуть виникати як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі, а також впливати на різні групи населення, включаючи фермерів, робітників у сільському господарстві та кінцевих споживачів [28].

Одним із найбільш очевидних ризиків є гостре отруєння. Випадковий або навмисний контакт з хімічними засобами може призвести до негайних симптомів отруєння, таких як головний біль, запаморочення, нудота, блювання, шкірні висипання, подразнення очей та дихальних шляхів. Важкі випадки можуть призвести до серйозних станів, таких як судоми, кома або навіть смерть.

Фермери та робітники сільського господарства часто піддаються ризику розвитку контактного дерматиту через безпосередній контакт з хімікатами. Деякі пестициди можуть викликати серйозні алергічні реакції та інші шкірні захворювання, які можуть стати хронічними при повторному контакті.

Інгаляція парів або пилу хімічних засобів може викликати подразнення дихальних шляхів, що може призвести до кашлю, бронхоспазмів та інших респіраторних симптомів. Люди з існуючими респіраторними захворюваннями, такими як астма, особливо вразливі до цих ефектів.

Деякі хімічні засоби, що використовуються для захисту рослин, визнані канцерогенами. Наприклад, гліфосат, який широко застосовується як гербіцид, пов'язаний з підвищеним ризиком розвитку неходжкінської лімфоми. Тривалий

контакт із такими речовинами може збільшити ризик розвитку ракових захворювань у людей.

Багато пестицидів, особливо органофосфати та карбамати, впливають на нервову систему. Хронічний вплив на ці хімічні речовини може призвести до нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Паркінсона, а також до когнітивних порушень, зокрема зниження пам'яті та здатності до навчання.

Пестициди можуть діяти як ендокринні деструктори, впливаючи на гормональний баланс в організмі. Це може призвести до проблем з репродуктивним здоров'ям, таких як зниження фертильності, порушення менструального циклу та вроджені дефекти у дітей.

Фермери та сільськогосподарські робітники – ці люди є найбільш вразливою групою, оскільки вони мають регулярний і безпосередній контакт з хімічними засобами. Відсутність належних засобів захисту, таких як маски, рукавички та спеціальний одяг, може значно підвищити ризик для їх здоров'я.

Хімікати можуть забруднювати повітря, ґрунт та воду в сільських районах, де вони застосовуються. Місцеві мешканці можуть бути піддані впливу цих речовин через споживання забрудненої води або продуктів харчування, а також через вдихання повітря, що містить залишки хімікатів.

Хоча рівні залишків пестицидів у продуктах харчування зазвичай контролюються, тривалий вживання забруднених продуктів може призвести до накопичення шкідливих речовин в організмі. Це може вплинути на здоров'я споживачів у довгостроковій перспективі.

Фермери та робітники повинні використовувати належні засоби індивідуального захисту під час роботи з хімічними засобами. Це включає маски, рукавички, спеціальний одяг та захисні окуляри.

Хімічні засоби повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, недоступних для дітей та тварин. Утилізація залишків і контейнерів повинна здійснюватися відповідно до інструкцій для мінімізації ризиків.

Проведення навчальних програм для фермерів та сільськогосподарських робітників щодо безпечного використання хімічних засобів і правильного

поводження з ними може значно знизити ризики для здоров'я.

Хімічний захист рослин, хоча й ефективний у підвищенні врожайності, несе значні ризики для здоров'я людини. Важливо вживати заходів для мінімізації цих ризиків через належне використання захисного обладнання, дотримання інструкцій зі зберігання та утилізації, а також через освітні програми для тих, хто працює з хімічними засобами. Лише таким чином можна забезпечити баланс між ефективністю хімічного захисту рослин та здоров'ям людини.

4.2 Вимоги охорони праці при роботі з обприскувачами

Обприскувачі є важливим інструментом в сільському господарстві для розпилення хімічних засобів захисту рослин, таких як пестициди, гербіциди та фунгіциди. Робота з цими приладами пов'язана з потенційними ризиками для здоров'я працівників, тому важливо дотримуватись вимог охорони праці. Ці вимоги спрямовані на забезпечення безпеки та мінімізацію ризиків, пов'язаних з використанням обприскувачів [30].

Підготовка до роботи. Навчання та інструктаж працівників. Перед початком роботи з обприскувачами працівники повинні пройти обов'язковий інструктаж та навчання з техніки безпеки. Вони повинні знати правила роботи з хімічними речовинами, основи першої допомоги при отруєннях та іншими нещасними випадками, а також правила використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Перевірка обладнання. Перед використанням обприскувача необхідно провести його ретельний огляд. Слід перевірити справність всіх складових частин, таких як насоси, шланги, форсунки та резервуари для хімічних речовин. Виявлені несправності повинні бути усунені до початку роботи.

Використання засобів індивідуального захисту.

Захисний одяг. Працівники повинні носити спеціальний захисний одяг, що включає водонепроникні костюми, чоботи, рукавички та капелюхи. Це допомагає запобігти контакту хімічних речовин з шкірою.

Захист органів дихання. Інгаляція парів та аерозолів хімічних речовин може бути небезпечною для здоров'я. Тому обов'язковим є використання респіраторів або масок, які відповідають класу захисту для конкретних хімікатів.

Захист очей. Для захисту очей від попадання хімічних речовин використовують захисні окуляри або спеціальні щитки. Це важливо для запобігання подразнень та хімічних опіків очей.

Техніка безпеки під час роботи. Правильне дозування та змішування хімікатів. При підготовці розчину для обприскування слід точно дотримуватися інструкцій виробника щодо дозування та змішування хімічних речовин. Перевищення рекомендованих доз може призвести до підвищення ризиків для здоров'я працівників та навколишнього середовища.

Розташування та погодні умови. Обприскування слід проводити у відповідних погодних умовах, щоб уникнути рознесення хімікатів вітром на великі відстані. Найкраще працювати у спокійні безвітряні дні або при слабкому вітрі. Також слід враховувати вологість повітря та температуру, щоб запобігти швидкому випаровуванню або розпаду хімічних речовин.

Робоча поза та положення тіла.

Під час роботи з обприскувачами слід дотримуватись правильної робочої пози, щоб уникнути травм спини та кінцівок. Використання спеціальних ременів для розподілу ваги та правильної техніки підйому та переносу обладнання може допомогти зменшити навантаження на тіло.

Закінчення роботи та утилізація. Очищення обладнання. Після закінчення роботи обприскувачі та інше обладнання повинні бути ретельно очищені від залишків хімічних речовин. Це запобігає випадковому контакту з хімікатами під час подальшого використання та зберігання. Очищення слід проводити у

спеціально відведених місцях, щоб уникнути забруднення навколишнього середовища.

Зберігання хімічних речовин. Залишки хімічних речовин повинні зберігатися у відповідно маркованих контейнерах у спеціально призначених для цього місцях. Ці місця повинні бути недоступні для дітей та тварин, а також захищені від прямих сонячних променів та вологи.

Утилізація відходів. Контейнери з-під хімічних речовин та залишки невикористаних сумішей повинні утилізуватися відповідно до інструкцій виробника та чинного законодавства. Неправильна утилізація може призвести до забруднення довкілля та створення додаткових ризиків для здоров'я людей.

Медичний контроль та гігієна. Регулярні медичні огляди.

Працівники, що працюють з обприскувачами, повинні проходити регулярні медичні огляди для виявлення можливих негативних впливів хімічних речовин на здоров'я. Особливу увагу слід приділяти функціям дихальної системи, шкіри та нервової системи.

Особиста гігієна. Після закінчення роботи з обприскувачами працівники повинні ретельно мити руки та інші відкриті ділянки шкіри з милом та водою. Також слід змінювати робочий одяг та регулярно прати його окремо від іншого одягу, щоб уникнути переносу хімічних речовин.

Висновок. Дотримання вимог охорони праці при роботі з обприскувачами є критично важливим для забезпечення безпеки працівників та мінімізації ризиків для їх здоров'я. Це включає правильне навчання, використання засобів індивідуального захисту, дотримання техніки безпеки під час роботи та після її завершення, а також регулярний медичний контроль. Виконання цих вимог допоможе створити безпечне та здорове робоче середовище, а також зменшити негативний вплив хімічних речовин на навколишнє середовище.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення надійності роботи причіпного обприскувача та ефективного виконання ним технологічного процесу хімічного захисту рослин, виникла необхідність для модернізації секцій штанги.

За результатами дослідження було встановлено наступне.

Базовий варіант конструкції має найменший загальний запас міцності та найбільші пружні деформації.

Модернізації 1 та 2 показали покращені характеристики порівняно з базовим варіантом.

Новий проект продемонстрував найкращі результати: найменше максимальне місцеве напруження та найвищий загальний запас міцності.

Концентратори напружень в місцях стиків деталей через виключення зварних швів у розрахунках призводять до дещо завищених величин максимальних місцевих напружень.

Аналіз результатів дозволив об'єктивно оцінити міцнісні та жорсткісні характеристики конструкцій штанги і виявити потенційні зони для покращення. Міцність штанги ОПШ-3500 виявилася неприйнятною, оскільки запас міцності першої секції становив лише 2,5 замість необхідних 5.

Проведені зміни в конструкції не дали позитивного результату через значне збільшення маси другої секції.

Міцність першої секції залишилася на рівні запасу міцності 2,5 при згині у вертикальній площині, незважаючи на її підсилення.

Друга секція досягла задовільної міцності із запасом міцності 4,5 при вертикальному згині.

Подальші дослідження повинні зосередитися на оптимізації конструкції, щоб досягти прийняттого рівня міцності без значного збільшення маси.

Необхідні заходи включають використання нових матеріалів, зміну геометрії конструкції та вдосконалення технології виробництва.

Результати доробок показали, що запас міцності першої секції збільшився до 3, а жорсткість зросла на 8%.

Міцність та жорсткість II секції збережені на задовільному рівні, при цьому зменшено масу на 5 кг, що покращило експлуатаційні характеристики штанги.

Перехід до "об'ємного" типу конструкції дозволяє підвищити жорсткість на всіх типах згину та кручення, значно підвищуючи надійність навісної конструкції штанги.

Хороші показники міцності та жорсткості були отримані для I та II секцій штанги об'ємного типу: запас міцності I секції склав 4,5, II – 5; жорсткість I секції зросла на 33%, II – на 25%.

Екстремальний режим для I секції під час процесу розкладання-складання штанги з нескладеним кінцевиком вимагає уваги до міцності конструкції.

Доробки конструкцій "плоского" типу не дали значного ефекту, а лише перехід на "об'ємний" варіант дозволив зменшити напруження та деформації в I секції.

Напруження у I секції в момент розкладання-складання штанги мають короткочасний характер і не суттєво впливають на загальну експлуатаційну надійність конструкції.

Зростання маси для "об'ємного" типу конструкції порівняно з варіантом за конструкторською документацією становить 36%, але в порівнянні з вдосконаленим варіантом від 9 жовтня вже лише 25%.

Очікується, що збільшення маси окупиться завдяки підвищенню надійності, зменшенню гарантійних робіт.

Також розглянуті питання небезпек для людини, що виникають при хімічному захисті рослин та наведено вимоги охорони праці при роботі з обприскувачами.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
2. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
3. Andrii Babii, Bohdan Levytskyi, Taras Dovbush, Mariia Babii, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Volodymyr Valiashek. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*. Volume 59, 2024, Pages 609-616.
4. Babii A., Babii M. Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU*. Tern. : TNTU, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
5. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12.
6. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. *Materials Science*, 2021, 56(4), P. 466–471.
7. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // *Motrol*, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.
8. Бабій А. В., Бабій М. В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*, Вип. 139 «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». 2013. С. 187-192.

9. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.

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

11. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

12. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. *Вісник ХНТУСГ*. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.

13. Бабій А.В., Бабій М.В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних факторів на запас міцності спинки ножа косарки. *Вісник ХНТУСГ*. Випуск 139. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2013. С.187–192.

14. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

15. Бабій А.В., Бабій М.В., Вічко О.І. Пристрій для визначення кількості та рівномірності розпилення продукту робочим органом штангового обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 141105 В05В 3/00, В05В 12/00, G01F 3/36 (2006.01); заявл. 16.07.2019, u201908385, опубл. 25.03.2020, бюл. № 6/2020.

16. Бабій А.В., Бортник І.М., Сташків М.Я., Олексюк В.П. Штанга обприскувача. Деклараційний патент на корисну модель 137527 А01М11/00, А01М7/00; заявл. 15.04.2019, u201903846; опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

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

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

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

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

21. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

22. Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. Причіпний пристрій широкозахватної машини. Деклараційний патент на корисну модель

140142 A01B 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

23. Бабій А.В., Рибак Т.І., Попович П.В., Господарський Я.Я., Сікорський С.П. Механізм зміни ширини колії. Деклараційний патент на корисну модель 73090 A01B 51/00; заявл. 01.03.2012, опубл. 10.09.2012, бюл. № 17.

24. Бабій М. В. Дослідження роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки / Марія Василівна Бабій, Андрій Васильович Бабій // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 149-161. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

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

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

27. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

28. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / За ред. Є.П. Желібо, В.М.Пічі. Львів: „Новий світ–2000”, 2002. – 328 с.

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

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

31. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41939>.

32. Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

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

34. Левицький Б.Б., Бабій А.В. Дослідження опору переміщенню обприскувача. Матеріали ІV Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 13-15 квітня 2022 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. С.106-107.

35. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ. Том 58, №2. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. С. 116–121.

36. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

37. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.

38. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.

39. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

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