

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**Обґрунтування параметрів розпилювачів пестицидів при  
малооб'ємному обприскуванні**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-1-24

за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Бобрика Олександр Євгенійович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Кобець Олександр Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Бобрикі Олександр Євгенійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів розпилювачів пестицидів при малооб'ємному обприскуванні**

**керівник роботи: Кобець Олександр Миколайович, к.т.н., доцент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» жовтня 2025 року  
№ 3182

**2. Строк подання студентом роботи: 6.12.2025 р.**

**3. Вихідні дані до роботи:**

3.1. Агротехнічні вимоги до хімічного захисту рослин.

3.2. Підвищення продуктивності обприскувача на 5...7%, при зменшенні ризиків забруднення навколишнього середовища.

3.3. Термін окупності вдосконаленої машини не більше 5 років.

---

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: 1. Огляд і аналіз технологій та засобів механізації хімічного захисту рослин. 2. Особливості малооб'ємного внесення пестицидів та розпилювачів для його реалізації. 3. Програма і методика експериментальних досліджень. Прилади та обладнання. 4. Результати аналітичних та експериментальних дослідження і їх аналіз. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність впровадження. Загальні висновки та пропозиції**

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

1. Аналіз експериментальних та теоретичних досліджень. 2. Теоретичні дослідження процесу розпилення відцентровим розпилювачем. 3. Програма та методика експериментальних досліджень, об'єкт досліджень, прилади та обладнання. 4. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Техніко-економічні показники впровадження. Загальні висновки та пропозиції.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кобець О.М., доцент		
2	Кобець О.М., доцент		
3	Кобець О.М., доцент		
4	Кобець О.М., доцент		
5	Кобець О.М., доцент		
нормоконтроль	Лепеть Є.І., асистент		

7. Дата видачі завдання: 1.10.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 25.10.2025 р.	
2	Теоретичний	до 30.10.2025 р.	
3	Експериментальний	до 10.11.2025 р.	
4	Охорона праці	до 20.11.2025 р.	
5	Економічний	до 25.11.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.12.2025 р.	

Студент \_\_\_\_\_

( підпис )

( прізвище та ініціали )

Керівник роботи \_\_\_\_\_

( підпис )

( прізвище та ініціали )



## РЕФЕРАТ

Бобрика Олександр Євгенійович. Обґрунтування параметрів розпилювачів пестицидів при малооб'ємному обприскуванні.

Випускна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 - Агроінженерія. – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, 2025 рік.

Розрахунково-пояснювальна записка включає 96 сторінок друкованого матеріалу та 14 слайдів презентаційних ілюстрацій.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи внесення робочих розчинів пестицидів, здійснено огляд класифікацій обприскувачів і різновидів їх робочих органів. На основі цього огляду визначено основні напрями подальших досліджень.

Другий розділ присвячено теоретичному обґрунтуванню параметрів відцентрового розпилювача та ключовим принципам малооб'ємного обприскування.

У третьому розділі подано розроблену програму досліджень і методику проведення експериментів.

Четвертий розділ містить результати виконаних розрахунків, експериментальних випробувань та їх аналічну оцінку, отриманих відповідно до запропонованої методики.

П'ятий розділ охоплює основні правила, вимоги та рекомендації щодо дій у разі виникнення аварійних ситуацій, а також питання екологічної безпеки під час роботи з обприскувальним обладнанням і пестицидами.

У шостому розділі наведено техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження розробленого відцентрового розпилювача.

Ключові слова: *розпилювач, пестициди, обприскувач, витрата, малооб'ємне внесення, коефіцієнт варіації, економічна ефективність.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	10
1.1. Методи та системи захисту рослин .....	10
1.2. Класифікація та аналіз засобів для хімічного захисту рослин .....	13
1.2.1. Класифікація сільськогосподарської отрути .....	13
1.2.2 Класифікація обприскувачів.....	14
1.2.3 Основні типи робочих та допоміжних органів обприскувачів .....	15
1.3 Агровимоги до обприскувачів.....	24
1.4 Висновки до розділу.....	35
2. ОСОБЛИВОСТІ УЛЬТРАМАЛООБ'ЄМНОГО РОЗПИЛЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ ТА РОЗПИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ЙОГО ПРОВЕДЕННЯ .....	37
2.1 Ультрамалооб'ємне обприскування пестицидами .....	37
2.2 Теоретичні засади розрахунку відцентрових гідравлічних розпилювачів .....	44
2.3. Висновки до розділу.....	49
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРИЛАДИ ТА ОБЛАДНАННЯ.....	50
3.1. Програма випробувань.....	50
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень.....	50
3.3. Об'єкт дослідження.....	54
3.4. Прилади та обладнання, які використовуються при проведенні досліджень. ....	56
3.5. Висновки до розділу.....	58
4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	59
4.1. Розрахунок параметрів форми і розмірів камери закручування. ....	59
4.2. Розрахунок гідравлічної і дисперсної характеристики. ....	63

4.3. Розробка плану 2-х факторного експерименту .....	65
4.4. Розподіл розпиленої рідини по довжині факела.....	69
4.5. Визначення коефіцієнта варіації .....	72
4.6. Висновки до розділу.....	73
5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	74
5.1 Охорона навколишнього середовища при застосуванні гербіцидів та їх детоксикація .....	74
5.2. Вказівки до заходів безпеки.....	76
5.3. Висновки по розділу .....	77
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОБПРИСКУВАЧА, ОБЛАДНАНОГО ВІДЦЕНТРОВИМИ РОЗПИЛЮВАЧАМИ.....	79
6.1. Вихідні дані .....	79
6.2. Розрахунок показників техніко-економічної ефективності .....	80
6.3. Висновки до розділу .....	81
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	82
ЛІТЕРАТУРА .....	84
Додатки.....	86

## ВСТУП

Ефективність застосування пестицидів значною мірою визначається якістю їх нанесення на рослинну поверхню. Результати експериментальних досліджень свідчать, що за умови високої якості обприскування у ряді випадків можливе зменшення рекомендованих норм витрати препаратів до 50 %. До основних показників, що характеризують якість обприскування, належать норма витрати робочої рідини, ступінь дисперсності розпилення, щільність покриття оброблюваної поверхні краплинами та рівномірність їх розподілу. Значення зазначених параметрів суттєво залежать від конструктивних особливостей розпилювачів, їх робочих параметрів і режимів експлуатації. У зв'язку з широким асортиментом розпилювачів актуальним є питання вибору найбільш доцільного типу для конкретних умов використання, при цьому сучасні обприскувачі переважно оснащуються гідравлічними розпилювачами.

Струменеві розпилювачі поступаються відцентровим за якістю подрібнення робочої рідини. За значної швидкості руху краплин при контакті з рослинною поверхнею вони руйнуються та стікають у ґрунт. Найбільш сприятливими є умови, за яких кінетична енергія краплини є меншою за поверхневу, що забезпечує її закріплення на рослині, адже саме кількість осілих краплин визначає результативність обприскування. За даними Д. Ф. Гассена, при використанні щілинних розпилювачів на рослинну поверхню потрапляє лише близько 5 % внесеного пестициду [9]. Дослідження швидкості та структури розподілу краплин інжекторних розпилювачів також показують, що частка робочої рідини, яка реально осідає на рослинах, не перевищує приблизно 8 % [1].

Широке застосування щілинних розпилювачів у системах хімічного захисту рослин призводить до підвищеного забруднення ґрунту. Зменшення розмірів краплин сприяє підвищенню повноти покриття рослинної поверхні,

кращому утриманню препарату, його проникненню в тканини рослин та зростанню токсичної дії на шкідливі організми. Водночас надмірне підвищення дисперсності супроводжується інтенсифікацією знесення краплин повітряними потоками, що знижує ступінь осідання препарату на рослинах і, відповідно, ефективність його використання за певних умов роботи.

Розпилювачі Роса Р.03 можуть ефективно експлуатуватися лише за незначної швидкості вітру, оскільки їх робота істотно залежить від метеорологічних та екологічних факторів. Разом із тим вони забезпечують нанесення пестициду переважно на рослинну поверхню з мінімальним потраплянням у ґрунт, а норма витрати робочої рідини може бути знижена до 25 л/га. У зв'язку з цим розроблення та вдосконалення технічних засобів ультрамалооб'ємного розпилення є актуальним і перспективним напрямом розвитку сучасної обприскувальної техніки.

# 1. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ І МЕТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Методи та системи захисту рослин

Паразити, збудники хвороб сільськогосподарських культур та бур'яни спричиняють значні втрати врожаю й негативно позначаються на його якості. Тому під час вирощування польових культур, особливо в умовах інтенсивних технологій, необхідно впроваджувати інтегровану систему захисту рослин [1], що поєднує агротехнічні, біологічні, фізико-механічні та хімічні заходи.

Агротехнічний метод ґрунтується на використанні науково обґрунтованих сівозмін, оптимальних систем обробітку ґрунту, раціонального внесення добрив, якісної підготовки насінневого матеріалу, а також добору та впровадження стійких до уражень сортів.

Біологічний метод передбачає застосування природних антагоністів шкідників і патогенів – хижаків, паразитів, ентомофагів, а також корисних мікроорганізмів, здатних стримувати розвиток небажаних видів.

Фізичний метод полягає у механічному збиранні та знищенні шкідників або використанні простих технічних засобів — бар'єрів, пасток, ловильних пристроїв. До цієї групи належать також способи, що базуються на застосуванні ультразвуку, ультракоротких електрохвиль, високовольтних струмів, радіаційного опромінення та інших фізичних факторів.

Хімічний метод передбачає використання різних препаратів для знешкодження шкідників, їх личинок, яєць, збудників хвороб і бур'янів. Це найпоширеніший спосіб захисту, для якого створено широкий спектр машин та засобів хімічної дії. Хімічний метод є основним з огляду на його високу ефективність і можливість масового контролю шкідливих організмів, а в окремих випадках – єдиним дієвим способом забезпечення стабільного захисту посівів.

Інтенсифікація вирощування зернових культур передбачає істотне збільшення норм внесення добрив, пестицидів, ретардантів та інших препаратів. Крім того, їх використання має бути збалансованим та узгодженим із запланованим рівнем урожайності на найкращому агротехнічному фоні – зокрема, після чистого пару або на другий рік після нього.

Інтенсивні технології вирощування передбачають виконання комплексу заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин. До цих вимог належить:

Внесення на поля науково обґрунтованих норм препаратів хімізації з точним дотриманням методики комплексного агрохімічного окультурення ґрунтів, що забезпечує необхідний рівень родючості для формування запланованого врожаю.

Періодичне додаткове внесення препаратів, синхронізоване з фазами розвитку рослин, для підтримання оптимального живлення та захисту.

Комплексна система захисту посівів від хвороб, шкідників і бур'янів, спрямована на запобігання втратам урожаю.

Передпосівна підготовка насіння, яка включає протруювання високоефективними засобами, інкрустацію та обробку мікроелементами.

Обов'язкове використання ретардантів для стабілізації ростових процесів рослин.

Ретарданти – це хімічні речовини, які сповільнюють видовження стебла, сприяють потовщенню його стінок і формуванню потужної кореневої системи. Їх застосування є одним із ключових способів запобігання виляганню посівів.

Недотримання хоча б одного з перелічених технологічних елементів або відступ від встановлених норм порушує загальну інтенсивність технологічного процесу.

Підвищення валових зборів і поліпшення якості зерна значною мірою залежить від мінімізації втрат урожаю, спричинених шкідливими

організмами. На посівах зернових культур виявляють понад 300 видів шкідників, близько 400 видів патогенів і більше 100 видів бур'янистих рослин. Річні втрати від їхнього впливу залишаються значними — у середньому 20–30% загального врожаю, а для окремих культур цей показник може бути ще вищим.

У впровадженні інтенсивних технологій вирощування найбільші труднощі виникають під час захисту посівів від бур'янів, шкідників та особливо від хвороб. Такий підхід передбачає переважне застосування системних препаратів – засобів, які здатні проникати всередину рослинних тканин і робити культуру токсичною для шкідливих організмів та патогенів. На відміну від контактних препаратів, системні засоби зберігають ефективність значно довше і менш чутливі до несприятливих погодних умов. До цієї групи належать, зокрема, гербіцид «Авадекс» (для контролю овсюга), «Діален», «Поаст» та інші препарати.

Виділяють кілька основних способів хімічного захисту рослин.

Протруювання – це обробка насіння перед сівбою спеціальними хімічними засобами, які знищують шкідників і збудників хвороб, що можуть міститися як на поверхні, так і всередині насінневого матеріалу.

Така обробка запобігає появі й поширенню багатьох хвороб у період росту культур. Існують три варіанти протруювання: сухе, напівсухе та мокре (вологе).

Обприскування – нанесення на рослини рідких пестицидів у вигляді розчинів, емульсій, суспензій чи екстрактів різної концентрації. Перевага надається малооб'ємному обприскуванню, при якому витрата робочої рідини зменшується, а концентрація діючої речовини збільшується.

Обпилювання — покриття рослин тонким шаром порошкоподібного препарату. Хоча цей спосіб простіший у приготуванні, порівняно з обприскуванням, витрата речовини є у 4–6 разів більшою, тому його застосовують рідко.

Аерозольна обробка – перетворення концентрованих розчинів хімічних засобів у дрібнодисперсний туман чи дим за допомогою механічних або термічних пристроїв. Частинки аерозолу розміром 1–15 мкм рівномірно осідають на рослинах, поверхнях приміщень і навіть на тваринах. Цей метод відзначається високою ефективністю та економічністю, однак потребує суворого дотримання погодних умов.

Отруєні принади – використання кормових сумішей, що приваблюють шкідників, попередньо оброблених токсичними речовинами. Такі приманки розміщують у місцях проживання гризунів або комах. Вони можуть бути сухими, напівсухими, вологими або водними.

Фумігація – внесення у ґрунт або середовище препаратів, які легко переходять у газоподібний стан. Фуміганти можуть бути твердими, рідкими чи газоподібними, і застосовуються для знищення шкідників у важкодоступних місцях.

Хемотерапія – введення всередину рослини хімічних речовин, безпечних для культури, але згубних для патогенів і шкідників. Після надходження у тканини препарат швидко розподіляється судинною системою, забезпечуючи тривалий захисний ефект. До методів хемотерапії належать, зокрема, окурювання та запарювання.

Серед усіх перелічених способів, найбільш поширеним та зручним у сучасній агрономічній практиці є метод обприскування, що вирізняється простотою виконання, високою якістю покриття та ефективністю дії. Саме тому подальший аналіз буде присвячено саме цьому способу хімічного захисту рослин.

## **1.2. Класифікація та аналіз засобів для хімічного захисту рослин**

### **1.2.1. Класифікація сільськогосподарської отрути**

За призначенням пестициди поділяють на такі групи:

Інсектициди – препарати, призначені для знищення комах-шкідників (наприклад, Децис, Децис Дуплет, Карате).

Бактерициди – засоби, що пригнічують або ліквідують бактерії (Превікур, Курзат, Татту).

Фунгіциди – препарати, активні проти грибних патогенів (Дерозал, Імпакт, Спортак).

Зооциди – хімічні засоби, що спрямовані на боротьбу з тваринними шкідниками, переважно гризунами (Шторм).

Гербіциди – речовини, що знищують бур'яну рослинність (2,4-Д, Гранстар, Дуал та інші).

За характером дії на організм пестициди поділяються на:

Кишкові препарати – потрапляють у організм разом із кормом, спричиняючи токсичний ефект.

Контактні засоби – діють через зовнішні покриви тіла шкідника при безпосередньому контакті.

Системні препарати – поглинаються рослиною, розповсюджуються по її провідній системі й уражають організми, що живляться соками культури.

Фуміганти – проникають переважно через дихальну систему шкідників.

### **1.2.2 Класифікація обприскувачів**

Обприскувачі призначені для диспергування рідких хімічних засобів і рівномірного нанесення їх на поверхню рослин або ґрунту у вигляді дрібних крапель. Їх застосовують для знищення шкідників, патогенів, бур'янів, а також для десикації та дефоліації рослин [2].

Обприскувачі класифікують:

За призначенням:

Спеціальні – польові, садові, виноградникові, бавовникові тощо.

Універсальні – здатні виконувати широкий спектр робіт у різних умовах.

За принципом дії:

Гідравлічні – розпилення відбувається за рахунок тиску робочої рідини.

Вентиляторні – утворення крапель здійснюється завдяки повітряному потоку.

Комбіновані – поєднують гідравлічний тиск та примусове осадження крапель повітряним струменем.

За витратою робочої рідини:

Звичайні – 500–2000 л/га, розмір крапель 200–500 мкм.

Малооб’ємні – 15–500 л/га, краплі 80–200 мкм.

Ультрамалооб’ємні – 0,5–15 л/га, діаметр крапель 25–125 мкм.

За видом приводу розрізняють такі типи обприскувачів: ручні, кінні, з моторним приводом, тракторні, автомобільні та авіаційні.

Авіаційні обробки мають низку переваг – високу продуктивність, відсутність пошкодження рослин і ґрунту, однак характеризуються значним зносом робочої рідини (інколи до 20 км) та великими втратами, які можуть становити 20–90% [1].

За способом агрегування (для тракторних моделей): начіпні, напівначіпні, причіпні.

### **1.2.3 Основні типи робочих та допоміжних органів обприскувачів**

Обприскувачі формуються з уніфікованих вузлів та робочих механізмів, серед яких: баки для рідини, насосне обладнання, фільтрувальні елементи, пристрої регулювання тиску, розпилювачі, системи розподілу та агрегати для заправки.

Бак виконує функцію накопичення робочого розчину, що забезпечує тривалу безперервну роботу машини (від половини робочої зміни до повної). Його виготовляють із металу або з полімерних матеріалів — пластику, склопластику, вуглепластику тощо. У конструкцію резервуара входять поплавковий рівнемір, заливна горловина з фільтром та мішалка – механічного або гідравлічного типу.

Конструкція повинна забезпечувати якісне перемішування рідини та можливість повного її зливу. Мінімальний діаметр горловини для баків до 600 л становить 200 мм, а для більших – не менше 300 мм.

Насосне обладнання має подавати робочий розчин до розпилювальних елементів рівномірно, підтримуючи стабільний тиск у системі. Коливання тиску в напірній лінії не повинні перевищувати 25 % від робочого значення. Усі частини насоса, що контактують із пестицидами, повинні бути стійкими до хімічних та корозійних впливів.

У техніці для захисту рослин використовують різні типи насосів: плунжерні, шестеренні, відцентрові, роликові, діафрагмові та інші. Продуктивність насоса під час заправлення баків об'ємом до 2000 л повинна бути не меншою ніж 100 л/хв, а для резервуарів з більшим об'ємом — щонайменше 200 л/хв.

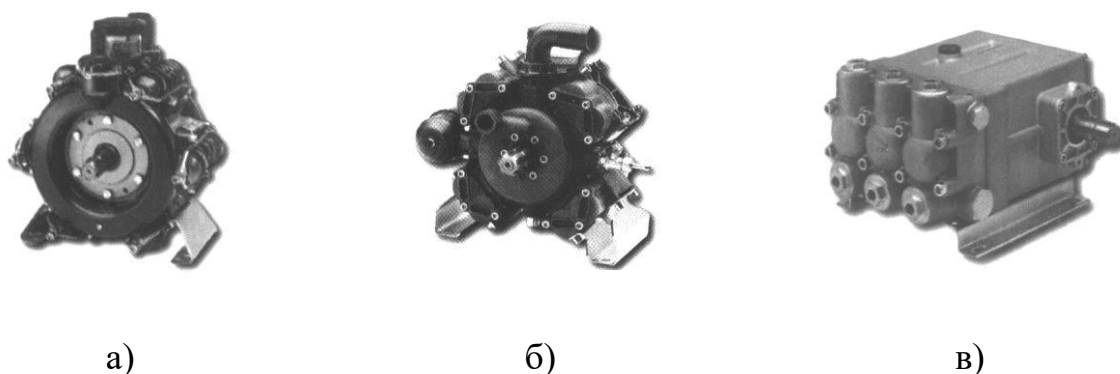


Рис. 1.1. Види насосів, що застосовуються в сучасних обприскувачах:

- а – мембранний насос низького тиску;
- б – мембранний насос високого тиску;
- в – поршневий насос високого тиску.

На сучасних штангових і вентиляторних обприскувачах зазвичай застосовують поршневі або мембранні насоси (рис. 1.1), оскільки вони забезпечують найвищу надійність і ефективність роботи машини. Основними робочими параметрами таких насосів є їхня продуктивність, вимірювана в літрах за хвилину, та робочий тиск, який вони здатні створювати (МПа).

Фільтрувальні елементи (рис. 1.2) виконують функцію очищення води під час заправлення, а також робочого розчину – від частинок, здатних спричинити забивання розпилювачів, некоректну роботу клапанів насоса, регуляторів тиску або прискорений знос деталей. Типовий фільтр складається з корпусу, опорного каркаса та фільтрувального елемента, виготовленого з матеріалів, стійких до хімічного впливу.

Розмір отворів у фільтрувальному елементі визначається його функціональним призначенням та місцем розміщення в гідросистемі обприскувача. У більшості машин застосовується багатоступеневе очищення рідини – від грубого до тонкого – завдяки послідовному зменшенню діаметра сітки фільтрів у напрямку руху розчину: від заправного вузла до розпилювачів. Для забезпечення ефективної роботи фільтрувальні елементи необхідно регулярно виймати з корпусу та промивати.



Рис. 1.2 Фільтруючі елементи комунікацій обприскувачів

Регулятори тиску призначені для встановлення та стабільного підтримання необхідного робочого тиску рідини в напірній системі обприскувача. Найпоширеніший варіант – здвоєний регулятор, який складається з редукційного та запобіжного клапанів тарілчастого типу. Обидва клапани утримуються в закритому положенні пружинами, що притискають їх до відповідних сідел. Потік робочого розчину проходить через циліндричну фільтрувальну сітку, надходить у корпус регулятора, а звідти – до розпилювального обладнання. Коли тиск у корпусі перевищує встановлене значення, редукційний клапан автоматично відкривається, і

надлишок рідини повертається назад у бак. Необхідний робочий тиск встановлюється за допомогою регулювального гвинта редукційного клапана.

Запобіжний клапан має окреме регулювання і налаштовується на гранично допустимий тиск (приблизно 2 МПа), після чого його положення фіксують пломбою. Крім цього, регулятор оснащений роздільно-демпферним вузлом, що складається з ковпачка та еластичної діафрагми. Цей вузол захищає манометр від прямого контакту з робочим розчином, забезпечуючи тривалий термін його служби.

На сучасних обприскувачах встановлюють регулятори (рис. 1.3) з ручним (а), або електронним (б) регулюванням тиску.

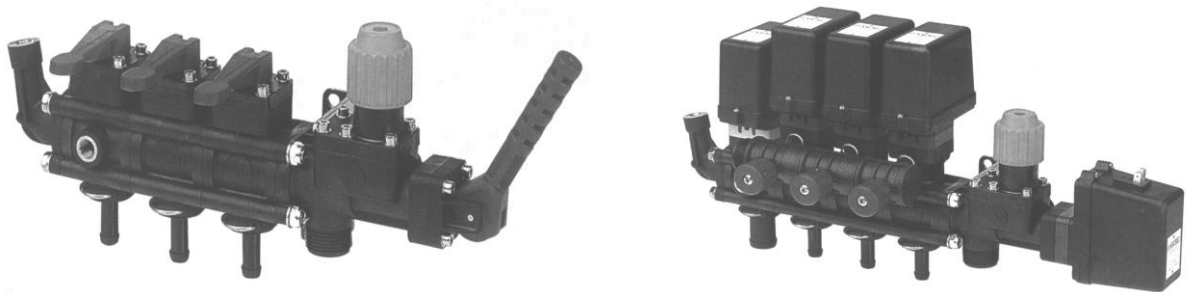


Рис. 1.3 Регулятори тиску сучасних обприскувачів

Розподільні системи призначені для транспортування робочого розчину та його рівномірного нанесення на оброблювані культури чи ґрунт. Вони можуть бути штанговими, вентиляторними, комбінованими або брандспойтними. Вентиляторні розподільні системи поєднують розпилювальні насадки з потужними вентиляторами, які створюють на виході повітряний потік зі швидкістю від 30 до 90 м/с. Така конструкція забезпечує ефективне розпилення пестицидів і транспортування крапель на значну відстань. У осьових вентиляторах повітря всмоктується вздовж осі робочим колесом пропелерного типу з одного боку і викидається під тиском у напрямку розпилювачів, забезпечуючи спрямований потік рідини. Для кращої взаємодії з потоком повітря робоче колесо вентилятора обладнане кожухом.

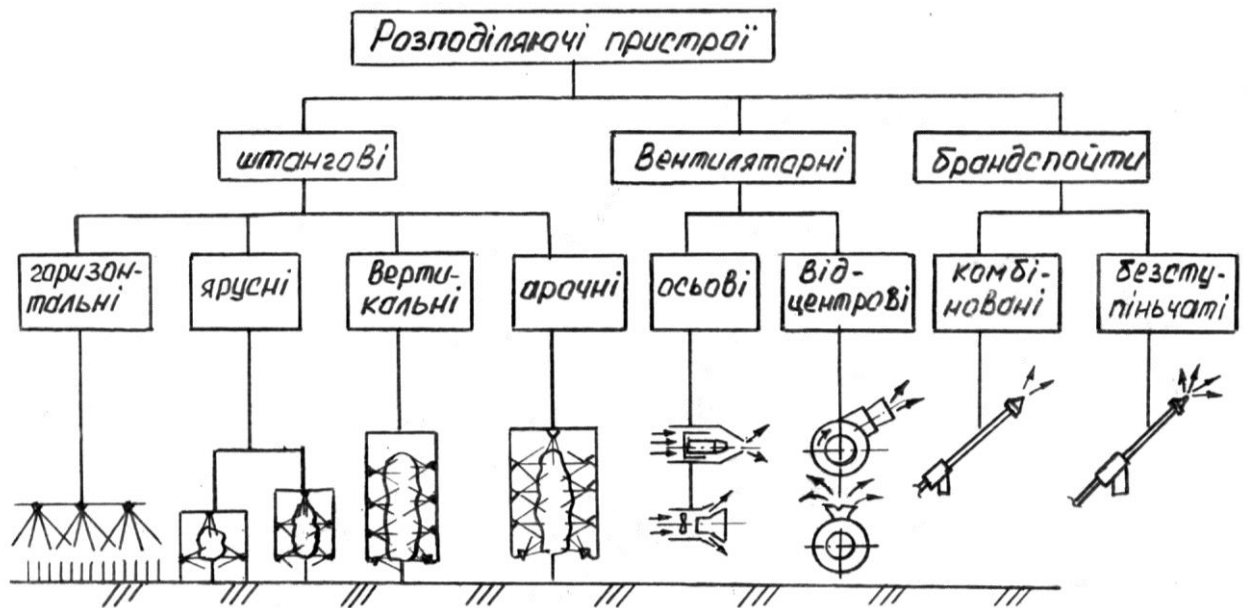


Рис. 1.4 Класифікація розподільних систем обприскувачів.

У відцентрових вентиляторах повітря надходить через отвір у стінці спірального корпуса в районі осі робочого колеса, після чого під дією відцентрової сили виштовхується назовні через вихідний патрубок, розміщений по дотичній до зовнішнього обводу.

Насадки вентиляторних систем можуть бути однотипними – циліндричними, конічними або щілинними – чи складатися з декількох (двох або трьох) патрубків. Напрямок роботи насадок в один чи два боки визначається продуктивністю вентилятора та потужністю гідронасоса.

Вентиляторний розподільчий пристрій (рис. 1.5) складається з силового агрегату та двох осьових вентиляторів, оснащених розпилувальними головками. Силовий агрегат містить двоступінчастий редуктор: головну циліндричну передачу та дві конічні зубчасті передачі з відцентровими муфтами.

Кожен вентилятор включає корпус, лопатеве колесо, спрямляючий апарат та насадок. Розпилувальна головка оснащена редуктором, дисковим розпилувачем, трубою підведення рідини та розподільником.

Прийомний вал передає обертання через головну передачу на дві симетрично розташовані шестірні, які, у свою чергу, через відцентрові муфти

та конічні передачі приводять у рух лопатеві колеса вентиляторів та диски розпилювачів. Відцентрові муфти дозволяють послідовно або одночасно відключати привід вентиляторів і розпилювачів. Керування муфтами здійснюється через вбудовані гідроциліндри, підключені до гідросистеми трактора. Частота обертання лопатевого колеса вентилятора становить 2000 об/хв, дисків розпилювачів — 6000 об/хв. Повітря, що переміщується в осьовому напрямку всередині кожуха, виходить через насадок зі швидкістю 25–30 м/с, захоплює розпилену рідину та переносить її на оброблювану поверхню. При обробці високорослих садів на корпус вентилятора встановлюють еліптичний насадок, тоді як для виноградників і польових культур його знімають. Положення осі кожуха вентилятора регулюють поворотом фланця під кутом 0–40° до горизонту, залежно від конкретної операції.

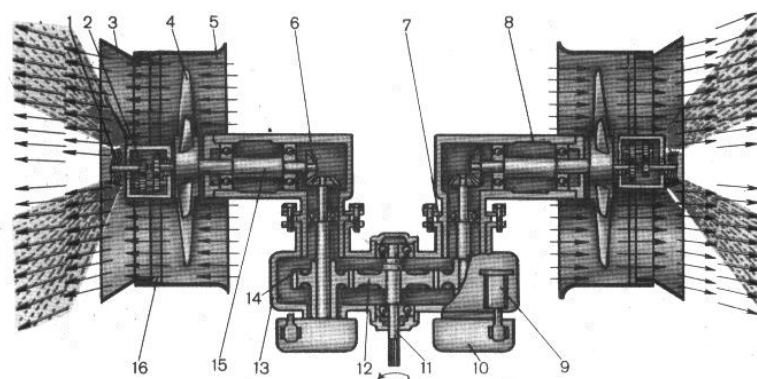


Рис. 1.5. Вентиляторний розподільний пристрій

1 – розпилювач; 2, 6, 12 – зубчасті передачі; 3 – насадки; 4 – вентиляторне колесо; 5 – кожух; 7 – фланець; 8, 13 – корпуси; 9 – гідроциліндр; 10 – муфта; 11, 15 – вали; 14 – шестірня; 16 – спрямувальний апарат.

Штангова розподільна система являє собою просторову або плоску ферму (штангу), розміщену горизонтально перпендикулярно до напрямку руху агрегату. Конструкція штанги складається з кількох секцій, з'єднаних між собою шарнірами. У транспортному положенні ці секції складають, повертаючи одну відносно іншої, що дає змогу зменшити ширину машини.

До кожної секції кріпляться колекторні труби 1 (рис. 1.6, а), на яких встановлюються скоби 2 з розпилювачами 3. Повертаючи колектори в кронштейнах, усі розпилювачі регулюють таким чином, щоб їхні факели розпилення були спрямовані строго вертикально. Вкладиші щілинних розпилювачів фіксують на ніпелях у положенні, де площина факела утворює кут  $5-10^\circ$  відносно осі труби. Висоту встановлення штанги підбирають так, щоб факели сусідніх розпилювачів перекривали один одного приблизно наполовину. Польова штанга верхнього розпилу застосовується для обприскування польових і овочевих культур.

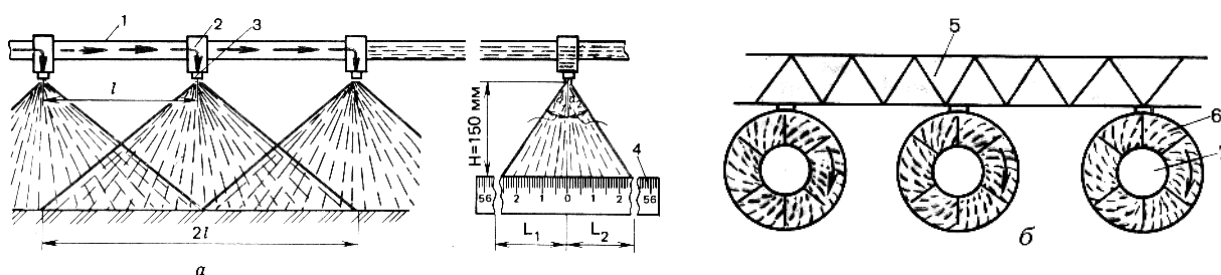


Рис. 1.6 Штангові розподільні пристрої:

а – штангова; б – штангово-вентиляторна; 1 – колектор; 2 – скоба;  
3 і 7 – розпилювачі; 4 – лінійка; 5 – штанга; 6 – вентилятор.

Дво- та трирусні штанги застосовують у тих випадках, коли необхідно покрити робочою рідиною як зовнішній шар листової маси, так і її внутрішню сторону. Такий тип обладнання ефективний, наприклад, при захисті картоплі від фітофторозу або під час обробки бавовнику проти павутинного кліща.

Вертикальні штанги призначені для роботи у насадженнях вертикального типу – виноградниках, хмільниках, ягідних та інших чагарниках. Конструктивно вони складаються з двох вертикальних трубчастих секцій, до яких приєднані гнучкі шланги з наконечниками для формування факелів розпилу.

Аркові штанги використовують переважно у виноградниках та інших культурах, розташованих рядками. Їхня конструкція включає підняту над

поверхнею ґрунту горизонтальну трубу з розпилювачами, що спрямовані вниз, та кілька вертикальних труб, які опускаються парами в міжряддя для рівномірного оброблення рослин.

Комбінована система розподілення (рис. 1.6, б) обладнується штангою, на якій змонтовано кілька вентиляторів з дисковими розпилювачами. Під час роботи розпилювачі утворюють дрібнодисперсну хмару крапель, яку вентилятори спрямовують на культуру, забезпечуючи глибоке проникнення робочої рідини в рослинність.

Брандспойт використовують для ручного обприскування молодих саджанців, окремих дерев і невеликих ділянок посадок. Існують дві основні конструкції:

- з плавним регулюванням форми струменя;
- комбіновані (зі змінними елементами).

Брандспойти з плавним регулюванням струменя застосовують в обприскувачах типу ОН та ОП. Залежно від діаметра вставленого диска та робочого тиску факел може мати кут від  $90^\circ$  до  $135^\circ$ , а довжина струменя становить 7–12 м.

Комбінований брандспойт, який входить до комплекту обприскувачів ОЧГ і ОВХ, конструктивно подібний до попереднього, але додатково забезпечується змінними шайбами з отворами діаметром 1,5; 2,0 і 2,5 мм, що дозволяє адаптувати витрату робочої рідини.

Ежектор для заправлення відкритим струменем складається з корпусу з насадкою, змішувальної камери з дифузором, напірного рукава, з'єднаного із соплом, та заправного рукава.

Ежектор функціонує спільно з насосом обприскувача, який подає рідину під тиском 1,5–2,0 МПа. Перед початком заправлення в баку обприскувача повинно знаходитись 25–30 л рідини. Корпус ежектора занурюють у ємність із препаратом і вмикають насос. Потік, що виходить із сопла, за рахунок високої швидкості та в'язкості захоплює рідину з ємності через заправний рукав. У змішувальній камері виникає розрідження, яке

збільшує швидкість подачі. Продуктивність такого пристрою становить 120–150 л/хв.

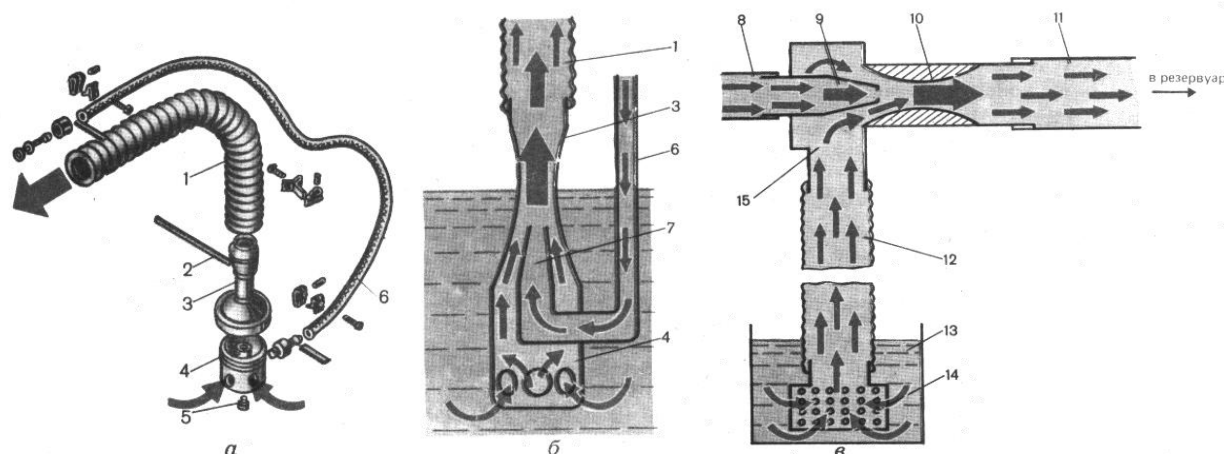


Рис. 1.7. Схеми рідинно-струминних ежекторів:

а, б – варіанти для заправлення відкритим струменем; в – схема для заправлення закритим струменем; 1, 6, 8, 11, 12 – рукави; 2 – ручка; 3, 15 – змішувальні камери; 4 – корпус; 5 – пробка; 7, 9 – сопла; 10 – дифузор; 13 – резервуар заправного пристрою; 14 – фільтр.

Ежектор, призначений для заправлення закритим струменем, забезпечує подавання робочої рідини в систему без відкритого контакту з навколишнім середовищем. Такий тип пристрою дозволяє виконувати заправлення більш безпечно та герметично, зменшуючи втрати рідини та ризик контакту оператора з препаратами.

Ежектор встановлюється безпосередньо на резервуарі обприскувача і призначений для швидкого самозаповнення бака робочою рідиною з окремої ємності-заправника.

Конструкція:

У корпусі ежектора розташовані:

- Камера змішування 15
- Сопло 9, через яке з великою швидкістю подається рідина від

насоса

- Дифузор 10, що сприяє підвищенню тиску після змішування потоків

- Рукав 8 – підведення рідини від насоса
- Рукав 12 – всмоктування рідини з ємності заправника
- Рукав 11 – подача суміші в основний бак обприскувача

Принцип роботи:

Насос обприскувача подає рідину по рукаву 8 в сопло 9.

Через сопло рідина виходить під великим тиском і формує швидкісний струмінь.

Цей струмінь створює розрідження (вакуум) у камері змішування 15 та в рукаві 12.

Під дією розрідження рідина з ємності-заправника (резервуар 13) засмоктується в рукав 12 й потрапляє в камеру змішування.

Змішана рідина через дифузор 10 подається по рукаву 11 в основний бак обприскувача.

Таким чином, насос обприскувача одночасно працює і як силовий елемент, і як «вакуумний» підсмоктуючий пристрій — завдяки дії ежектора.

### **1.3 Агровимоги до обприскувачів**

Обприскувальна апаратура повинна формувати однорідні за розміром краплі робочої рідини. Допустимі граничні діаметри крапель становлять:

при стандартному обприскуванні – 150-300 мкм;

при малооб'ємній та аерозольній технології – до 50 мкм;

при ультрамалооб'ємній – до 10 мкм.

Система має забезпечувати точну витрату препарату на площу, що обробляється. Допустиме відхилення від встановленої норми — не більше  $\pm 10\%$ .

Робоча рідина повинна рівномірно покривати листову поверхню з обох боків – як зовнішній, так і внутрішній шар крони. Ступінь покриття

листя повинен становити 80–100%, а співвідношення покриття верхнього та нижнього боку – приблизно 1,5 : 1.

Нерівномірність розподілу крапель не повинна перевищувати:

50% – поперек робочої ширини агрегату,

20% – у напрямку руху машини.

Обприскувач має дозволяти зручне та широкодіапазонне регулювання витрати рідини, від мінімальної до максимальної норми на гектар.

Коливання концентрації робочої суміші під час роботи не повинно виходити за межі  $\pm 5\%$ .

Для обробки садових насаджень повітряний потік, який переносить дрібнодисперсні краплі, повинен мати достатню енергію, щоб доставити їх до вершини дерев (до 8 м) та всередину крони. При цьому швидкість повітря на вході в крону не повинна перевищувати 30 м/с.

Розпилюючі елементи повинні працювати без засмічення та не спричиняти значних перерв на очищення.

Конструкція обприскувача повинна забезпечувати швидке спорожнення від залишків робочої рідини, а також можливість оперативного промивання бака та всіх елементів гідросистеми.

Проведення обприскування забороняється за умов:

- швидкість вітру більше 4–5 м/с,
- температура повітря понад 25 °С,
- наявність рясної роси або опадів.

Розпилювальні наконечники (розпилювачі) (рис. 1.8) забезпечують формування струменя рідини у вигляді суцільного або порожнистого конуса, віялоподібного факела чи рівномірної плівки. Ці елементи є найважливішими компонентами обприскувача, оскільки саме від правильного вибору розпилювачів залежить рівномірність покриття рослин робочим препаратом.

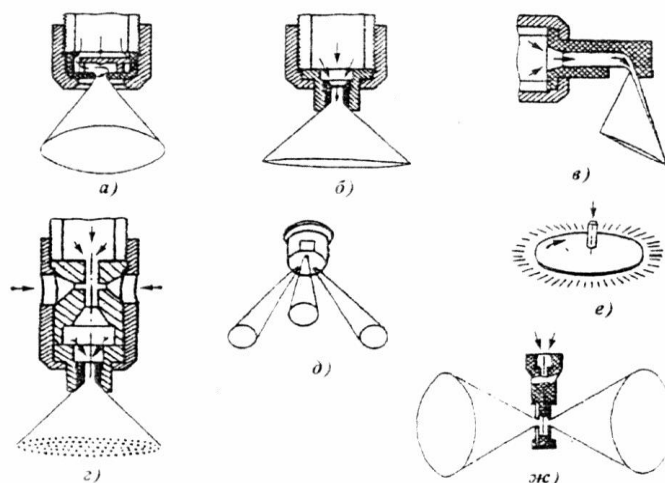


Рис. 1.8. Основні типи та принципи роботи окремих розпилювачів:  
 а – відцентровий (вихровий); б – щілинний; в – дефлекторний;  
 г – ежекційний; д – багатоструминний; те – дисковий; ж – двосторонній  
 відцентровий.

У сучасних умовах експлуатації існує велика кількість різновидів розпилювачів, що зумовлює необхідність правильного вибору оптимального типу для конкретних технологічних умов. Більшість сучасних обприскувачів оснащуються гідравлічними розпилювачами, які представлені кількома основними конструктивними типами.

Щілинний розпилювач призначений для внесення засобів захисту рослин та регуляторів росту за допомогою польових обприскувачів. Він забезпечує високу ефективність обробки за сприятливих погодних умов: температура повітря – до 20 °С, відносна вологість – понад 60–65%, швидкість вітру – до 3–4 м/с.

За відхилення таких параметрів у бік підвищеної температури чи зниження вологості значна частина робочого розчину втрачається через випаровування та знос дрейфом.

У щілинному розпилювачі поділ рідини на краплі відбувається після проходження її через сопло. Розмірний склад крапель суттєво залежить від робочого тиску:

- спектр крапель є менш однорідним,
- одночасно присутні крупні та дуже дрібні фракції,
- зі збільшенням тиску характер розпилу зміщується в бік дрібнодисперсних і ультрадрібних крапель.

У теорії дрібні краплини здатні створювати більш однорідну плівку на поверхні листка, що має ключове значення під час застосування контактних засобів захисту рослин. Проте на практиці, особливо за умов низької вологості, такі краплини значно швидше випаровуються і легко переносяться повітряними потоками. Унаслідок цього істотно зростають втрати робочого розчину, а ефективність використання щілинних розпилювачів помітно зменшується за несприятливої погоди.

На рисунку 1.9 представлено типовий щілинний розпилювач, що має корпус із пластмаси та змінну вставку. Її виготовляють із полімерних матеріалів, нержавної сталі або кераміки [4]. Перед входом у сопло зазвичай встановлюється фільтр. Розмір і форма щілини визначають основні параметри роботи такого розпилювача — ступінь подрібнення рідини, витрату та кут розкриття факела.

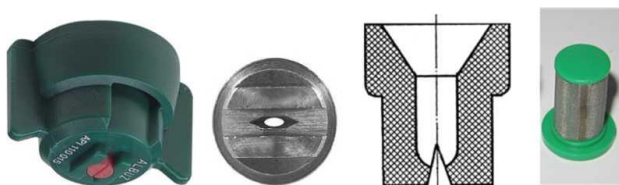


Рис.1.9. Загальний вигляд і конструктивна схема щілинного розпилювача та фільтра.

Інжекторний розпилювач типу ID доцільно застосовувати переважно тоді, коли погодні умови далекі від оптимальних – за температури не вище 25 °С (а найкраще до 20 °С) та відносної вологості повітря понад 60-65%. Аббревіатура ID походить від німецького Injektor Düse, тобто «інжекторне сопло».

Конструктивною особливістю таких розпилювачів є збільшена камера змішування, завдяки якій формується досить однорідний спектр великих крапель. Вони рухаються з високою швидкістю та добре проникають у густий рослинний покрив. Через коротку тривалість польоту краплі менш схильні до випаровування, що важливо під час роботи в умовах низької вологості.

Поєднання значного розміру крапель і їхньої швидкості суттєво знижує ризик дрейфу (знесення розчину вітром). Крім того, частина крапель містить у собі мікропухирці повітря: потрапляючи на листову поверхню, вони лопаються й розтікаються, забезпечуючи кращий розподіл робочої рідини, у тому числі й під листову пластину.

Більш швидкі краплі, ударяючись об лист, фактично «вибухають», розсіюючи препарат у різні боки. Для порівняння: у звичайних щілинних розпилювачах краплини значно дрібніші та не досягають такої кінетичної енергії, тому подібний ефект у них виражений слабше.



Рис.1. 10. Інжекторний розпилювач ID.

Дефлекторні розпилювачі, призначені для внесення рідких мінеральних добрив, належать до спеціалізованих типів обладнання, що забезпечують подачу робочого розчину у широкому діапазоні норм — від малих до дуже великих. Горизонтально спрямований факел розпилю дає змогу досягти стабільно рівномірного розподілу добрив по поверхні ґрунту чи рослин.

Основні характеристики дефлекторних розпилювачів із горизонтальним факелом:

доступні у типорозмірах 04, 05, 06, 08, 10, 15, 20;

робочий тиск – 0,15–0,5 МПа;

відзначаються підвищеною стійкістю до зношування;

рекомендована висота штанги – 50–70 см;

стандартний міжрозпилювальний інтервал – 50 см.

Переваги дефлекторних розпилювачів: горизонтальний струмінь забезпечує дуже рівномірне внесення рідких добрив; утворення надвеликих крапель мінімізує ризик хімічних опіків рослин; добрива рівномірно розподіляються по всій ширині захвату штанги; завдяки рівномірному поперечному розподілу не утворюються смуги з пошкодженнями; мають меншу схильність до забивання порівняно з багатоструменевими типами розпилювачів.



Рис.1.11. Дефлекторний розпилювач

#### Відцентровий розпилювач

Будова і принцип дії. На рис.1.12. показано загальний вигляд і конструктивну схему розпилювача. Складовими розпилювача є корпус 1, сопло 2, завихрювач 3 і гумове кільце 4. Робоча рідина з розподільника А

через канали Б надходить до кільцевої порожнини В, звідки по дотичних каналах Г спрямовується у камеру Д.

У цій камері потік набуває інтенсивного обертального руху й утворює стійку вихрову структуру, що складається з тонких вихрових ниток. Саме вони формують подальший спектр краплин. Після проходження соплового отвору Е вихрові нитки розриваються на окремі краплі, утворюючи конічний факел розпилу. Корпус і сопло таких розпилювачів виготовляють із корозійностійкої сталі, а завихрювач — з латуні.

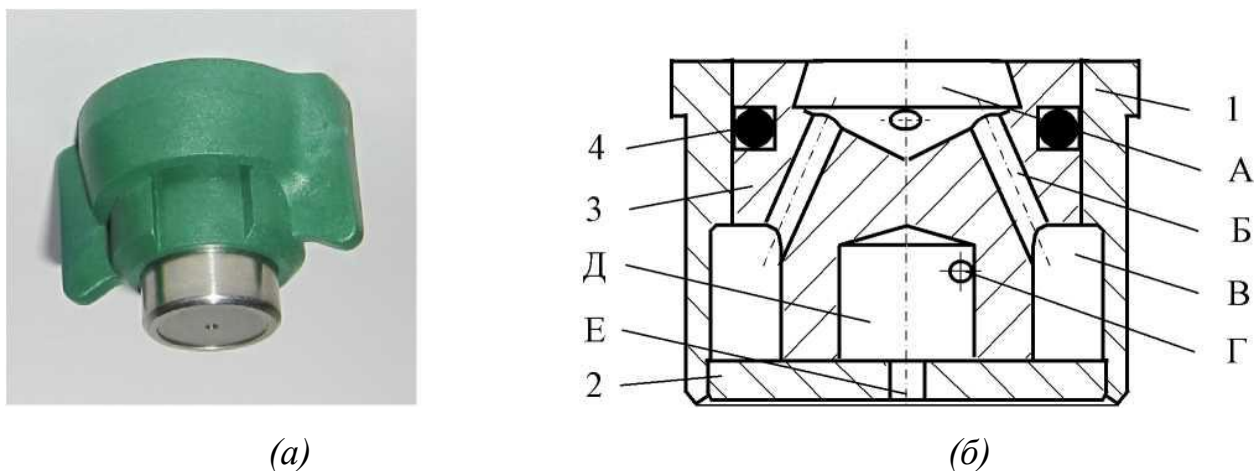


Рис.1.12. Загальний вигляд (а) і конструктивна схема (б) відцентрового розпилювача: А – розподільник; Б – канали; В – кільцевий колектор; Г – вхідні канали; Д – камера закручування; Е – сопловий отвір; 1 – корпус; 2 - сопло; 3 – завихрювач; 4 - гумове кільце.

Більш досконалі конструкції відцентрових розпилювачів забезпечують контроль траєкторії руху рідини та її домішок, формування необхідної дисперсності, примусове осаджування факела, а також покращене перемішування робочого розчину всередині розпилювача. Такі системи відзначаються стабільністю техніко-економічних показників обприскування, меншим ризиком засмічування та практично повною відсутністю зношування сопла.

Витрата рідини, відповідно до вимог європейського стандарту EN 12761-2, повинна відхилитися від табличного значення виробника не більше

ніж на  $\pm 10\%$  і при цьому не перевищувати середнє значення по комплекту більш ніж на  $\pm 5\%$ . Вітчизняні технічні умови ТУ У 29.3-31177688-002:2006 передбачають обов'язкове тестування кожного виготовленого розпилювача за витратою рідини. У комплектно поставлених розпилювачах допустимі відхилення становлять: до  $4\%$  – для Р.03.0.3,  $3,5\%$  – для Р.03.0.6,  $1,75\%$ . До кожного комплекту додається паспорт із зазначенням середнього значення витрати.

Виробник щілинних розпилювачів TeeJet окремо наголошує на необхідності регулярної перевірки сопел на зношення, оскільки робота зі зношеними елементами призводить до значних втрат робочого розчину й погіршення якості обробки. На відміну від них, сопла відцентрових розпилювачів практично не зношуються, тому їхні витратні та дисперсні характеристики залишаються незмінними протягом усього строку служби, що усуває потребу в постійному контролі витрати.

Номінальний тиск для роботи відцентрових розпилювачів становить  $0,3$  МПа з допустимими коливаннями  $\pm 0,05$  МПа. Короткочасно розпилювач може працювати за тиску до  $0,4$  МПа або зі зниженим тиском до  $0,2$  МПа. Кут розкриття факела становить приблизно  $90^\circ$  і зберігається сталим у межах робочого тиску  $0,2$ – $0,4$  МПа, що забезпечує стабільну ширину смуги покриття. У щілинних розпилювачів цей параметр значною мірою залежить від тиску. Наприклад, у моделі 11002 при збільшенні тиску з  $0,1$  до  $0,28$  МПа кут зростає з  $90^\circ$  до  $110^\circ$ , а ширина смуги на відстані  $0,46$  м — з  $0,92$  до  $1,31$  м.

Розмір краплин. Дія пестициду проявляється через порушення клітинного метаболізму молекулами речовини, тому теоретично найефективнішим є обприскування окремими молекулами. Проте поділ рідини до молекулярного рівня потребує надзвичайно великих затрат енергії (наприклад, дисоціація води на молекули відбувається за  $374^\circ\text{C}$  і  $22$  МПа). Тому на практиці застосовують краплинне розпилення, де краплини мають бути мінімально можливого розміру, але достатнього для надійного

осадження на цільову поверхню з мінімальними втратами через випаровування й дрейф. Відповідно до європейського стандарту EN 12761-2, частка краплин із діаметром менше 115 мкм має становити не більше 10 % від загального об'єму розпиленої рідини. Цей норматив виконує щілинний розпилювач із кутом розпилення 110° та витратою 0,72 л/хв за тиску 0,25 МПа. Зазначене обмеження не поширюється на обприскувачі, оснащені системами для зменшення дрейфу (екранові чи пневматичні конструкції), у яких потік всмоктуваного повітря примусово осаджує дрібнодисперсні краплини, знижуючи їх випаровування та перенос повітрям.

В таблиці 1.1 наведено порівняння еквівалентних діаметрів краплин, що відповідають 10-, 50- та 90-відсотковим часткам об'єму розпиленої рідини, для відцентрових та щілинних розпилювачів зі співставними витратами.

Таблиця 1.1.

## Розподіл діаметрів краплин

Розпилювач	Тиск, МПа	Витрата, л/хв	Діаметр краплин в мкм з об'ємом у % меншим			Об'ємно- поверхневий діаметр d
			10%	50%	90%	
			D <sub>v0.1</sub>	D <sub>v0.5</sub>	D <sub>v0.9</sub>	
POsa P.03.0.6	0,3	0,6	70	131	238	115
Lechler IDK 120-015			137	367	839	282
Tee Jet XR 110015			93	200	330	
Tee Jet TT 110015		158	296	563		
Lechler LU 120-02		0,78	88	183	314	164
POsa Ф.ОЗ.1.0		1,0	77	150	264	137
Tee Jet XR 11003		1 0	121	241	386	
Tee Jet TT 11003			189	373	723	
Hardi ISO F 110 03			144	274	422	228
Hardi ISO Injet 110 03			324	537	689	465

Об'ємно-медіанний діаметр крапель, утворених відцентровими розпилювачами, приблизно у півтора раза менший, ніж у щілинних, а найбільший їх розмір не перевищує 350 мкм. Підвищення дисперсності

розпилення пестицидів є ключовим чинником для покращення результативності процесу обприскування.

Надійність. Щілинні розпилювачі (рис. 1.9) мають звужений поперечний переріз каналу, що спричиняє зміщення механічних домішок до центральної осі потоку і підвищує ризик засмічення щілини та виходу розпилювача з ладу. Найчутливішою частиною розпилювача є крайки щілини, які найбільше схильні до пошкоджень і забивання. Щоб запобігти потраплянню домішок, застосовують багаторівневу систему фільтрації робочої рідини. Індивідуальний фільтр із розміром комірок, щонайменше утричі меншим за ширину щілини, забезпечує ефективний захист сопла від засмічення.

Проте засмічення фільтра призводить до підвищення його гідравлічного опору, зниження тиску перед розпилювачем і зменшення витрати рідини. Для очищення рекомендується використовувати щітки з м'якою щетиною, оскільки жорсткі інструменти, наприклад дерев'яні зубочистки, можуть пошкодити крайки щілини [4].

Обслуговування щілинних розпилювачів потребує контакту з ділянками, обробленими пестицидами, що робить цей процес потенційно небезпечним для оператора.

Відцентрові розпилювачі, навпаки, мають проточний тракт, який практично не піддається засміченню. Під час обертання потоку рідини відцентрові сили переміщують тверді частинки до стінок камери, де вони накопичуються у кільцевому колекторі. Постійне тертя частинок між собою подрібнює їх, а зменшені частки виносяться у вхідні канали завихрювача. Сопловий отвір додатково захищений: механічні домішки відкидаються до стінок камери закручування, що забезпечує надійну роботу розпилювача навіть при використанні одноступеневої фільтрації (сітка 300 мкм).

Довговічність. У щілинних розпилювачів зношування крайок щілини призводить до збільшення витрати рідини, зміни кута факела та погіршення

дисперсності. При перевищенні витрати більш ніж на 10 % від табличного значення розпилювач вважається непридатним до подальшого використання.

Дослідження SGS UK LTD Saint-Gobain AC (Франція) показали, що при тиску 0,275 МПа та наявності у воді 2,5 % каоліну латунні щілинні розпилювачі виходять за межі допустимих відхилень через 10 годин роботи; вироби з корозійностійкої сталі – через 30 годин; із полівінілденфториду – через 40 годин. Після 50 годин експлуатації витрата поліацеталевих розпилювачів збільшується на 8 %, керамічних – на 5 % [1].

Відцентрові розпилювачі мають ресурс роботи не менше 7000 годин, що дозволяє експлуатувати їх протягом приблизно 5 років без втрати технічних характеристик.

Матеріал виготовлення. Сучасний ринок пропонує розпилювачі з полімерів, кераміки, нержавіючої сталі та латуні. Ресурс виробів залежить від матеріалу: якщо умовно прийняти ресурс полімерного розпилювача за 100 %, то інші матеріали мають відповідний відносний строк служби, що значно впливає на вибір розпилювачів для тривалої експлуатації.

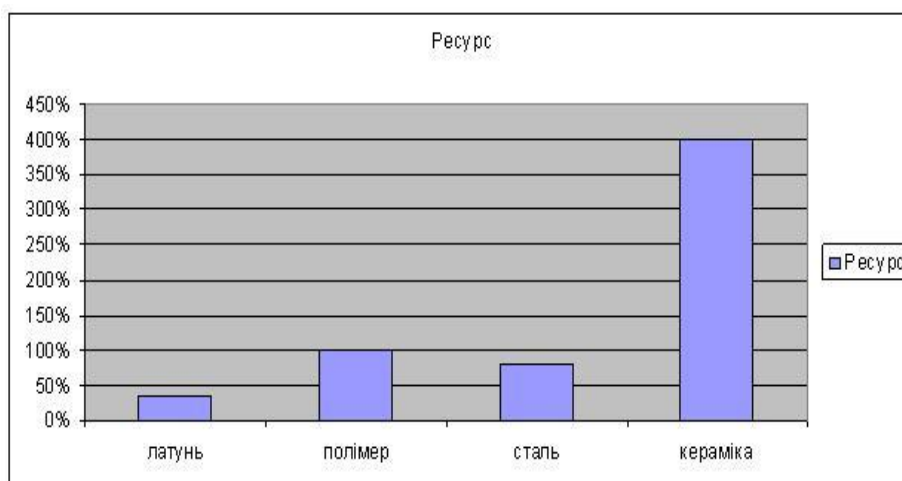


Рис.1.13. Діаграма ресурсу розпилювачів.

Теоретичний ресурс роботи полімерних розпилювачів може досягати приблизно 10 000 га, тоді як керамічні насадки здатні відпрацювати орієнтовно до 100 000 га. Проте ці значення є доволі умовними, оскільки інтенсивність зношування визначається не лише типом матеріалу, з якого

виготовлено розпилювач, а й низкою додаткових чинників. До основних факторів, що прискорюють деградацію розпилювальних елементів, належать робочий тиск, абразивні властивості розчину, а також формування нальоту внаслідок кристалізації компонентів препаративної суміші.

На практиці ситуацію ускладнює те, що більшість операторів не здійснює регулярного промивання розпилювачів лужними засобами, яке необхідне для своєчасного видалення нальоту. Через це фактичний строк ефективної експлуатації часто скорочується до приблизно 50 годин (приблизно одного робочого тижня). Утворений наліт поступово руйнує поверхню матеріалу та змінює геометрію розпилювальної камери, причому швидкість цього процесу практично не залежить від виду матеріалу й є аналогічною для полімерних і керамічних насадок.

Головною проблемою використання розпилювачів, що втратили первинні параметри, є погіршення рівномірності внесення робочого розчину. Візуально оцінити ступінь зношення за формою факела розпилювання неможливо, тому для визначення технічного стану застосовують спеціалізовані випробувальні стенди.

#### **1.4 Висновки до розділу**

Узагальнено та систематизовано основні теоретичні положення, отримані в процесі аналізу порушеної проблематики, зокрема щодо цілей, завдань та методів хімічного захисту сільськогосподарських культур у межах інтенсивних технологій вирощування. Впорядковано відомості про сучасні конструкції обприскувачів і різновиди їх робочих органів, що відображено у запропонованій класифікації.

Встановлено, що щілинні розпилювачі мають низку суттєвих недоліків: підвищену витрату робочого розчину, обмежений ресурс експлуатації, надмірну дисперсність крапель та схильність до забивання вихідного отвору. На противагу їм, відцентрові розпилювачі забезпечують обприскувачу принципово нові функціональні можливості, недосяжні для щілинних,

інжекторних та інших типів насадок. Основними їх перевагами є підвищена ефективність, надійність та безпечність роботи. За удвічі меншого енергоспоживання ці пристрої формують краплі діаметром до 350 мкм і забезпечують примусове осадження аерозолі потоком повітря, що стабілізує факел розпилу. Допустима робоча швидкість агрегату сягає 30 км/год, а експлуатація можлива навіть за вітрового навантаження до 9 м/с. Тривалість роботи таких розпилювачів перевищує 7000 годин, що створює технологічні передумови для їх застосування в режимах ультрамалооб'ємного обприскування.

### **Мета і завдання дослідження.**

Метою дослідження є підвищення економічної ефективності, експлуатаційної надійності та екологічної безпечності обприскувачів шляхом упровадження розпилювальних пристроїв для ультрамалооб'ємного внесення препаратів, які повністю відповідають сучасним агротехнічним вимогам.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- здійснити аналіз сучасного стану та визначити основні тенденції розвитку технічних засобів і технологій обприскування;
- вивчити гідравлічні параметри відцентрового розпилювача та характер розподілу робочої рідини на оброблюваній поверхні;
- провести оцінювання економічної доцільності та експлуатаційної надійності розпилювача в умовах його роботи у складі обприскувача.

Об'єктом дослідження є процес розпилення робочої рідини відцентровим розпилювачем.

Предмет дослідження — закономірності розподілу робочої рідини вздовж довжини штанги та об'ємна витрата рідини через розпилювач.

Методи дослідження. Математичне моделювання та експериментальне визначення гідравлічних характеристик розпилювача, а також вивчення параметрів розподілення рідини виконувалися у лабораторних умовах із використанням спеціалізованого випробувального стенда.

Публікації. Результати магістерської роботи відображені у матеріалах IV Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу» 21 листопада 2025 року

## **2. ОСОБЛИВОСТІ УЛЬТРАМАЛООБ'ЄМНОГО РОЗПИЛЕННЯ ПЕСТИЦИДІВ ТА РОЗПИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ЙОГО ПРОВЕДЕННЯ**

### **2.1 Ультрамалооб'ємне обприскування пестицидами**

Починаючи з 1950-х років у сільськогосподарській практиці спостерігається різке зниження норм витрати рідини під час обприскування агрохімікатами. Показовим є досвід США, де протягом 1935–1965 рр. норма витрати робочого розчину для боротьби з комарами зменшилась майже у тисячу разів – із 467 до 0,59 л/га [3]. Упродовж останніх десятиліть на багатьох об'єктах активно впроваджували технології ультрамалооб'ємного обприскування (УМО), при яких витрата робочої рідини становить  $G < 10$  л/га і може знижуватися до 1 л/га та навіть менше. При цьому кількість діючої речовини (токсиканта) зазвичай не змінюється – зменшується лише об'єм рідкого носія, що призводить до підвищення концентрації робочого розчину. Економічні переваги такого переходу є очевидними.

Особливо суттєвим чинником є те, що при застосуванні УМО відпадає потреба у приготуванні робочих розчинів безпосередньо в полі та транспортуванні великих обсягів води. Використовуються готові рідкі пестицидні препарати заводського виготовлення, фасовані у стандартну компактну тару. У разі застосування наземних обприскувачів за методом УМО необхідність у багаторазових заправках у полі зникає — однієї заправки, виконаної перед початком зміни, вистачає для повноцінної роботи протягом усього дня. Використання заводських препаратів істотно покращує

якість обробки, знижує імовірність помилок під час приготування розчинів, усуває ризики забруднення техніки та робочої рідини, зменшує трудомісткість та підвищує безпеку працівників, адже відсутні небезпечні операції змішування та дозування.

Постає питання: які ж фактори дозволили настільки радикально зменшити витрати робочої рідини та перейти до ультрамалооб'ємних норм внесення?

За умов традиційного великооб'ємного обприскування на листову поверхню потрапляла така кількість рідини, що краплі зливалися між собою, утворюючи суцільну плівку. Її товщина визначалася фізико-хімічними властивостями рідини та морфологією поверхні листка. Надлишки розчину стікали з верхніх листків на нижні, а далі — на ґрунт. Таким способом забезпечувалося рівномірне покриття всієї листової поверхні з усіх боків, проте втрати препарату через стікання в ґрунт сягали 30%. Хоча якість обробки при таких нормах була майже ідеальною, метод виявився занадто трудомістким і ресурсозатратним.

Через це почався перехід до малооб'ємних технологій (МО). Кількість рідини вже не забезпечувала утворення суцільної плівки, і на листках залишалися окремі краплини, які не зливалися між собою. Це створило низку нових технологічних труднощів.

Осадження крапель на листову поверхню є складним багатофакторним процесом. Великі краплі при слабкому вітрі осідають під дією сили тяжіння переважно на верхню поверхню листя. Дрібні краплі інтенсивніше піддаються впливу інерційних сил і вітрового перенесення, тому накопичуються переважно на навітряній стороні рослин. Значну роль відіграє також атмосферна турбулентність, яка впливає як на рух частинок, так і на коливання самих листків. Для осадження найдрібніших частинок важливими стають процеси термо- та дифузійфореми, а також броунівського руху. У результаті на листках формуються вкрай нерівномірні відкладення, найбільша густина яких спостерігається на верхній частині рослин та

навітряних ділянках посіву. Саме ця нерівномірність є основним недоліком МО порівняно з великооб'ємним методом.

Здавалося б, така нерівномірність мала би призвести до значного збільшення норми витрати діючої речовини, проте на практиці це не підтверджується. У більшості випадків ефективні норми витрати пестицидів при МО залишаються такими ж, як і при великооб'ємному внесенні, а інколи навіть більшими. Це пояснюється низкою факторів.

По-перше, при застосуванні контактних інсектицидів рівномірність відкладення не є критичною, оскільки рухливі комахи контактують і з більш, і з менш обробленими ділянками листків.

По-друге, багато сучасних інсектицидів та фунгіцидів характеризуються системною дією: вони проникають у тканини рослини, після чого токсична дія виявляється через харчування шкідника рослинними тканинами. У такому разі рівномірність покриття листя також має другорядне значення.

По-третє, у деяких випадках токсичними є не лише краплі, а й пари препарату, навіть за надзвичайно низьких концентрацій. Це дозволяє компенсувати нерівномірність покриття, хоча питання потребує подальших досліджень [6].

Інші вимоги висуваються до МО та УМО під час застосування профілактичних фунгіцидів, які повинні покривати всю листову поверхню для ефективного знищення спор грибів. Тому витрати робочої рідини при фунгіцидних обробках зазвичай більші, ніж при використанні інсектицидів чи гербіцидів. Проте досвід показує, що навіть у цьому випадку МО може бути успішно застосованим, адже дію нерівномірності компенсують додаткові механізми: дія парів, перерозподіл препарату дощем, дифузія через листову тканину тощо. Із появою системних фунгіцидів потреба в суцільному покритті практично зникає.

При УМО витрати рідини становлять від 5 л/га до часток літра на гектар. Виникає питання: як при таких мінімальних нормах досягається достатньо рівномірна обробка рослин на великих площах?

За звичайного обприскування в теплу суху погоду вода з краплин швидко випаровується, через що малооб'ємне внесення фактично перетворюється на УМО. При цьому створюється хибне враження крупнокрапельного обприскування, хоча насправді краплі суттєво зменшуються й легко зносяться вітром. При УМО такої ілюзії не виникає: краплі з самого початку дрібні, але містять високу концентрацію нелетючої діючої речовини й не випаровуються в процесі перенесення.

Таким чином, випаровування води при МО та його відсутність при УМО призводять до того, що з погляду рівномірності покриття і небезпеки знесення препарату обидва методи в ряді випадків мають близькі результати.

У подальшому розглянемо узагальнені дані вітчизняних і зарубіжних досліджень щодо використання пестицидів методами МО та УМО.

Одним із перших напрямів застосування ультрамалооб'ємного обприскування (УМО) у наземних технологіях стала боротьба з пустельною сараною на території Східної Африки. Розвиток яєць цього шкідника можливий лише за наявності вологи в ґрунті, що зазвичай зумовлено випаданням опадів. Волога сприяє проростанню насіння та формуванню рослинного покриву, який, у свою чергу, використовується сараною як корм. Під час обробки цієї рослинності методом «хвилі» пересувні зграї сарани, що щоденно долають десятки й сотні кілометрів, постійно контактували з отруєними рослинами, споживали їх і внаслідок цього гинули.

Розроблення технологій УМО для боротьби із сараною в азійських та африканських країнах розпочалося ще у 1945 році. У період 1952–1967 рр. для наземного знищення сарани активно застосовували метод розпилення розчину діелдрину в олії за допомогою вихлопних газів автомобіля. Уже у 1965 р. авіаційне УМО з використанням нерозбавленого інсектициду карбофосу знайшло широке застосування у США. Зокрема, було оброблено

близько 500 тис. га пасовищ проти коників (норма 0,6 л/га), 400 тис. га посівів бавовнику проти бавовняного довгоносика (0,9 л/га) та 60 тис. га пшениці для знищення фітофагів (0,6 л/га). Загалом у 1965 році УМО карбофосом впроваджували у двадцяти країнах світу, серед яких Перу, Бразилія, Аргентина, Іспанія, Туреччина, Індія, Австралія та інші.

У СРСР технологія обприскування методом «хвилі» використовувалася протягом багатьох років, передусім у регіонах із великими масивами зернових культур (Північний Казахстан, Західний Сибір). Для цього застосовували широкий спектр обприскувачів, серед яких спеціалізовані машини ОП-450, розроблені саме для роботи за цією технологією. Їх використовували для боротьби з буряковим довгоносиком, колорадським жуком, шкідливою черепашкою на посівах пшениці. Такі обприскувачі забезпечували малооб'ємне обприскування концентрованими розчинами, емульсіями та суспензіями пестицидів при витраті робочої рідини  $G \approx 10$  л/га або більше. Основною їх перевагою була висока продуктивність, яка іноді наближалася до авіаційної завдяки значній ширині захвату (30–100 м і більше), а також можливість обробки густих посівів без їх пошкодження, що є важливим за вітряної погоди, коли авіацію застосовувати проблематично. Такі машини можуть ефективно працювати не тільки за технологією МО, а й забезпечувати УМО при витратах робочої рідини 3–5 л/га та навіть менше.

Наукове обґрунтування ефективності МО та УМО гербіцидами було отримано в результаті лабораторних та польових досліджень із застосуванням монодисперсних і полідисперсних систем розпилювання. Експерименти з препаратом 2,4-Д показали, що в широкому діапазоні витрат робочого розчину (5–100 л/га) гербіцидна дія на тест-культурі (квасолі) залишалася практично однаковою. Лише при нормі 5 л/га спостерігалось незначне зниження ефективності порівняно зі 100 л/га.

У дослідах із різними препаративними формами 2,4-ДБ (0,3 кг/га) встановлено, що робочі розчини як на основі масляних формуляцій, так і на основі водних емульсій не погіршували врожайності ячменю та пшениці. Сам

гербіцидний розчинник (дизельне паливо), застосований у діапазоні витрат 5–20 л/га, також не спричиняв негативного впливу на ці культури. Натомість збільшення дози гербіциду до 0,9 кг/га викликало пригнічення рослин.

Під час окремих дослідів із ячменем прагнули максимально зменшити норму витрати робочої рідини, застосовуючи нерозбавлений водорозчинний концентрат 2,4-ДА (3 л/га) у дозах 0,6 та 1,2 кг/га. Установлено, що ефективність обох доз залишалася високою. Хоча відмінності у дії на бур'яни та врожайність ячменю при варіюванні  $G$  були мінімальними, у всіх варіантах простежувалася тенденція до зниження ефективності при використанні найменших норм витрати. Це, ймовірно, пов'язано з недостатнім рівнем покриття поверхні бур'янів робочим розчином, яке становило лише близько 0,3 %, що нижче критичного значення.

Комплексний аналіз великого експериментального матеріалу з дослідження монодисперсного обприскування та літературних джерел показав, що саме ступінь покриття поверхні рослин є ключовим показником якості обробки, який визначає результативність післясходових гербіцидів.

Нижче наведено критичні значення ступеня покриття ( $R_k$ ) для різних груп гербіцидів, застосовуваних проти бур'янів із низькою змочуваністю (при коефіцієнті розтікання приблизно рівному 1):

Критичні значення ступеня покриття гербіцидів  $R_k$ , %

Системні	0,5–1,0
Напівсистемні	1,1–2,5
Контактні	2,6–5,0

На основі цих даних була створена номограма (рис. 2.1), що дозволяє обирати оптимальну норму витрати робочого розчину залежно від дисперсності крапель, забезпечуючи максимальну гербіцидну дію. Проведені

дослідження переконливо свідчать, що навіть при застосуванні системних препаратів зменшення  $G$  має технологічні межі й не може бути безмежним.

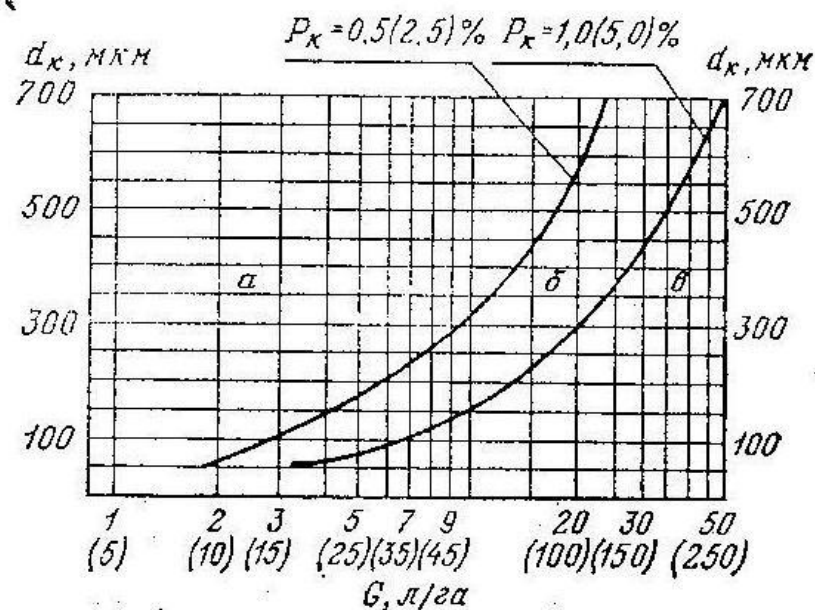


Рис. 2.1. Номограма для визначення оптимальних значень  $G$  і  $d_k$  під час внесення гербіцидів системної та контактної дії методом мікромалооб'ємного обприскування (ММО).

Режими роботи обприскувача:  $\alpha$  — неефективний;  $\beta$  — нестабільний;  $\theta$  — оптимальний.

Польові випробування різних моделей наземних обприскувачів, оснащених обертовими розпилювальними пристроями, засвідчили, що застосування МО та УМО гербіцидів на основі 2,4-Д є цілком придатним для обробки зернових культур за норм витрати робочої рідини  $G = 6 \dots 25$  л/га та середньому діаметрі крапель  $d_k = 150 \text{--} 200$  мкм. За таких умов забезпечується рівнозначне підвищення врожайності та гербіцидна ефективність, як і при традиційному великих нормах витрати —  $G = 300 \text{--} 400$  л/га.

Активно ведуться дослідження щодо застосування УМО фунгіцидів проти хвороб сільськогосподарських культур. Так, у Нігерії проведено експерименти із захисту томатів методом УМО. Використання фунгіциду-дефоліанта при нормі 12 л/га дало вищу ефективність порівняно з

традиційним великооб'ємним обприскуванням (1120 л/га), що підтверджує перспективність малих норм витрати для хімічного захисту овочевих культур.

## **2.2 Теоретичні засади розрахунку відцентрових гідравлічних розпилювачів**

Відцентрові розпилювачі широко використовуються у сучасних наземних ручних та причіпних обприскувачах, а також у системах, встановлених на вертольотах і літаках. Вони знаходять застосування у камерах згоряння газотурбінних і реактивних двигунів, у теплотехнічних установках, а також у різноманітних апаратах хімічної промисловості. Популярність таких розпилювачів пояснюється простотою конструкції, високою надійністю та ефективністю процесу розпилення.

Головною особливістю відцентрових розпилювачів є те, що рідина, проходячи через їхню робочу порожнину, набуває обертового руху, тобто отримує момент кількості руху відносно осі сопла.

Схематичне зображення розпилювача наведено на рис. 2.2. Потік рідини під тиском надходить через тангенціальний канал 1 у камеру закручування 2, де формує інтенсивний вихор. Покидаючи сопло 3, рідина перетворюється на конічну плівку, товщина якої зменшується зі збільшенням відстані від вихідного отвору. Через свою нестійкість ця плівка розпадається на краплини під дією аеродинамічних сил та поверхневого натягу.

Застосування закону збереження моменту кількості руху та закону збереження механічної енергії для ізотермічного руху ідеальної рідини приводить до теоретичного висновку, що поблизу осі сопла 3 тангенціальна швидкість потоку повинна прямувати до нескінченності, а тиск — до сильно від'ємних значень, що не відповідає фізичній реальності. У дійсності швидкість дійсно зростає, а тиск зменшується, але лише до рівня зовнішнього середовища, в яке відбувається вприскування (для сільськогосподарських обприскувачів — атмосферного тиску).

Оскільки тиск не може зменшитися нижче атмосферного, центральна зона сопла заповнюється не рідиною, а повітрям, унаслідок чого формується повітряний вихор, що стабілізує структуру потоку.

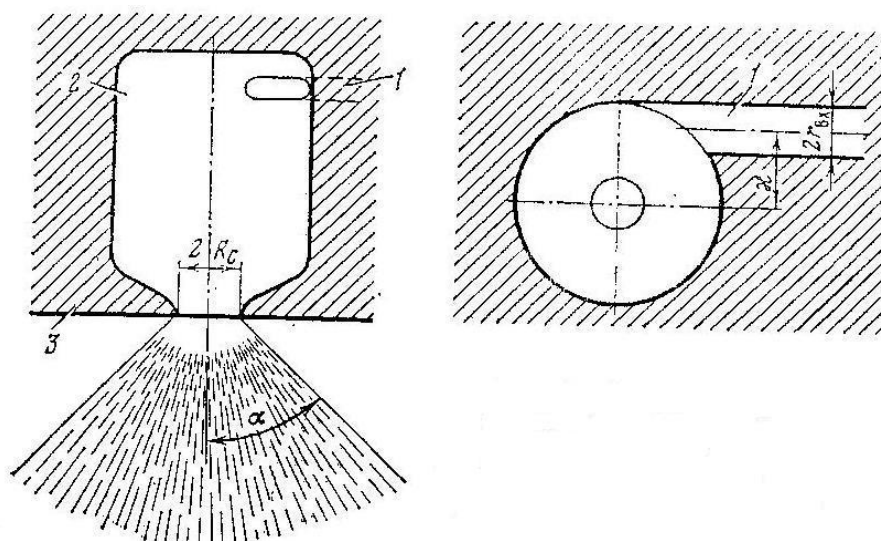


Рис. 2.2. Конструктивна схема відцентрового розпилювача:

1 – вхідний канал; 2 – камера завихрення; 3 – сопло;

$\alpha$  – кут факела розпилу.

В результаті аналізу течії рідини в розпилювачі з використанням «принципу максимальної витрати» (згідно з яким в соплі відцентрового розпилювача встановлюється повітряний вихор такого радіуса, при якому коефіцієнт витрати при даному тиску приймає максимальне значення) отримана система з трьох рівнянь, що дозволяє визначити коефіцієнт витрати відцентрового розпилювача  $\mu$ , кут при вершині його факела  $a$  і коефіцієнт заповнення сопла  $\varphi$  [факелом розпиленої рідини умовно називають двофазну струю (рідина + газ), яка утворюється в результаті розпаду рідкої плівки (струменя) і взаємодії потоку крапель з навколишнім газовим середовищем]:

$$\mu = \sqrt{\frac{\varphi}{2 - \varphi}} \quad (2.1)$$

$$\frac{(1 - \varphi)\sqrt{2}}{\varphi\sqrt{\varphi}} = A \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg}(a/2) = 2\mu A \sqrt{(1 + S) - 4\mu A} \quad (2.3)$$

де  $A = LRC/nr^2$ - «геометрична характеристика», розпилювача;

$S = r_m/Rc$ - безрозмірний радіус вихору на зрізі сопла;

$n$  - число вхідних каналів 1;

$r_m$  - внутрішній радіус вихору.

Коли перерізи вхідних каналів не круглі вираз для геометричної характеристики приймає вигляд

$$A = (LR_0 \sin \beta) / (nf_{ex}) \quad (2.4)$$

де  $f_{ex}$  - площа поперечного перерізу вхідного каналу;  $\beta$  - кут між напрямком вхідного каналу і віссю сопла.

Порівняння результатів, отриманих за наведеними теоретичними залежностями, з даними експериментальних вимірювань показало, що розрахунки, виконані в межах моделі ідеальної рідини, забезпечують прийнятну точність і для реальних рідинних систем. Водночас існує розширена теоретична модель роботи відцентрового розпилювача, у якій враховано вплив в'язкості рідини та конструктивних особливостей сопла. Застосування цієї моделі приводить до складніших аналітичних залежностей для визначення коефіцієнта витрати  $\mu$  та кутового параметра факела розпилю  $\alpha$  [3].

Для забезпечення ефективної роботи розпилювача він має пропускати необхідну кількість робочої рідини за заданого тиску подачі. При цьому важливо мінімізувати енергетичні втрати, оскільки їх зростання призводить до зниження швидкості витікання рідини та погіршення якості розпилення. На підставі узагальнення теоретичних положень і значного масиву експериментальних даних було сформульовано практичні рекомендації й запропоновано методику розрахунку відцентрових розпилювачів [3]. Ці рекомендації орієнтовані насамперед на аграрні конструкції, призначені для розпилення малов'язких робочих рідин — зокрема водних розчинів пестицидів для малооб'ємного та великооб'ємного обприскування. При роботі з високо-в'язкими препаратами, характерними для

ультрамалооб'ємного внесення, наведена методика потребує відповідного коригування.

Хоча коефіцієнт витрати  $\mu$  та кут факела  $\alpha$  є ключовими характеристиками відцентрового розпилювального пристрою, вирішальним параметром його роботи залишається якість розпилення. Вона визначається середнім діаметром крапель та ступенем полідисперсності, тобто шириною розподілу частинок за розмірами.

Існує значна кількість експериментальних робіт, присвячених дослідженню дисперсних характеристик відцентрових розпилювачів. Отримані результати зазвичай подано у формі емпіричних залежностей, критеріальних рівнянь, таблиць та графічних побудов; огляд таких формул наведено в монографії [5]. Кожна з них була отримана для певних діапазонів параметрів і, відповідно, не може бути застосована поза межами умов, у яких вона була виведена.

У результаті статистичної обробки експериментальних даних десяти різних дослідників запропоновано дві емпіричні формули для визначення медіанного (за масою) діаметра крапель, що утворюються при розпиленні рідини відцентровими розпилювачами [3].

Для води і сумішей води з гліцерином:

$$d_m/\delta = 1415 Lp^{-0,463} (WeM^{-1})^{-0,35}, \quad (2.5)$$

для керосину і розплавленого парафіну:

$$d_m/\delta = 269Lp^{-0,423} (WeM^{-1})^{-0,35}. \quad (2.6)$$

де  $\delta$  - товщина плівки при виході із сопла, яка розраховується за наближеною формулою:

$$\delta = Rc \frac{1 - \sqrt{1 - \mu \cos \alpha}}{\cos \alpha}, \quad (2.7)$$

де  $Lp = \rho \delta \sigma / \eta^2$  - критерій Лапласа;

$We = \rho_a \delta V^2 / \sigma$  - критерій Вебера;

$M = \rho_a / \rho$ ;

$\sigma$  - поверхневий натяг рідини;

$\eta$  - в'язкість рідини;

$\rho_a$  - густина повітря;

$V$  - швидкість рідини у вхідному каналі 1.

Застосування формули (2.5) обмежена діапазоном значень логарифма ( $WeM^{-1}$ ) від 2,9 до 3,8, формули (2.6) від 3,5 до 4,3, причому для формули (2.5)  $M=1,2 \cdot 10^{-3}$  і  $N = \eta_a / \eta = 10^{-2}$  ( $\eta_a$  - в'язкість повітря), а для формули (2.6)  $M = 1,5 \cdot 10^{-3}$  і  $N = 10^{-2}$ .

За наведеними емпіричними залежностями можливо визначити медіанний за масою діаметр крапель керосину, води або водних пестицидних розчинів за умови атмосферної густини повітря. Для цього мають бути відомі геометричні параметри відцентрового розпилювача, подача рідини та її фізичні властивості (зокрема динамічна в'язкість  $\eta$ ). Значення коефіцієнта витрати  $\mu$  та кута факела  $\alpha$ , які входять у формулу (2.7), обчислюються на основі співвідношень (2.1)–(2.3).

Швидкість руху рідини  $V$  у тангенціальному каналі, що входить до критерію  $We$ , визначається тиском рідини  $P$  перед входом у розпилювач. Тому формули (2.5) і (2.6) фактично відображають залежність медіанного діаметра крапель  $dm$  від значення тиску подачі.

Щодо емпіричних формул (2.5) і (2.6) необхідно дати кілька пояснень. Їх отримано шляхом узагальнення результатів різних експериментальних методик: уловлювання крапель керосину та води на сажистих поверхнях, фіксації крапель води та водних гліцеринових розчинів на масляних чи вазелінових шарах, просіювання застигаючих парафінових краплин через ситові набори, а також за допомогою оптико-седиментаційних способів. Кожний метод має власну похибку встановлення середнього діаметра крапель, тому наведені формули варто сприймати як приблизні орієнтовні залежності. Вони дають змогу оцінити рівень дисперсності розпилення для конкретного розпилювача із заданими параметрами.

Однак у випадках, коли необхідно не просто оцінити якість утвореного факела, а визначити оптимальні геометричні параметри розпилювача з метою

отримання бажаних показників розпилення (наприклад, мінімального значення  $dm$  при фіксованих витраті та тиску подачі), використання формул (2.5) і (2.6) стає вкрай незручним. Розрахунки на їх основі набувають надмірної складності та трудомісткості.

### **2.3. Висновки до розділу**

Ультрамалооб'ємне обприскування (УМО) не завжди забезпечує переваги перед традиційними методами внесення рідких препаратів, оскільки процес його реалізації складніший, а вплив зовнішніх факторів — суттєвіший. Саме тому дослідження механізму дії УМО тривають, особливо в частині застосування цього методу для захисту плодкових насаджень від хвороб і шкідників. Водночас УМО має низку істотних переваг, що зумовлює активне розширення сфер його використання. Найновішим напрямом розвитку є мікрооб'ємне монодисперсне обприскування пестицидами.

Аналіз існуючих теоретичних робіт показує, що процес формування крапель у відцентрових розпилювачах є дуже складним, а наявні моделі дають лише наближені оцінки реальних явищ.

Питання встановлення закону розподілу розмірів крапель та параметра, що характеризує ступінь полідисперсності для розпилювачів різних конструкцій і за різних режимів роботи, досі остаточно не розв'язане.

### **3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРИЛАДИ ТА ОБЛАДНАННЯ.**

#### **3.1. Програма випробувань**

3.1.1. Дослідження характеру розподілу рідини у факелі відцентрового розпилювача проводиться за трьох рівнів тиску подачі (0,2; 0,3; 0,4 МПа) та трьох варіантів висоти встановлення розпилювача (0,4; 0,5; 0,6 м). За результатами вимірювань будуються відповідні графічні залежності.

3.1.2. Визначення нерівномірності подачі рідини вздовж штанги здійснюється за тих самих режимів тиску (0,2; 0,3; 0,4 МПа) та при висотах 0,4; 0,5; 0,6 м. На основі отриманих даних виконують побудову графіків, а також обчислюють коефіцієнт варіації розподілу рідини. Окремо встановлюється залежність цього коефіцієнта від висоти розташування штанги.

Експериментальні дослідження гідравлічних розпилювачів здійснюються у лабораторних умовах на спеціалізованих стендах, а також у польових умовах на реальних обприскувачах.

#### **3.2. Методика проведення експериментальних досліджень**

##### **3.2.1. Загальні вимоги до виконання досліджень**

Для проведення випробувань застосовується чиста вода без сторонніх твердих включень. Температура робочої рідини та повітря в приміщенні під час досліджень повинна підтримуватися у межах 10–25 °С. Відносна вологість повітря не може бути нижчою за 50 %.

Показники температури та вологості контролюються на початку та після завершення кожного випробування.

Тиск робочої рідини. Під час експериментів величина тиску подачі не повинна відхилятися більш ніж на  $\pm 2,5$  % від встановленого значення.

Вимірювання тиску здійснюють у штанзі безпосередньо перед розпилювальним елементом.

Висота розташування штанги. Вибір висоти проводять таким чином, щоб забезпечити перекриття приблизно половини факелів сусідніх розпилювачів. За таких умов досягається рівномірний розподіл робочого розчину по ширині захвату штанги. На оптимальне значення висоти впливають міжвузлова відстань між розпилювачами та кут розкриття факела конкретної форсунки.

Змінювати висоту штанги довільно не допускається — вона має відповідати рекомендованим виробником або нормативним значенням.

3.2.2. Проведення експерименту та визначення основних параметрів. Для виконання експериментальних досліджень було відібрано чотири відцентрові розпилювачі моделі Р.03.03, вибрані у довільному порядку. У початкових даних для випробувань фіксуються лише технічні характеристики кожного розпилювача, тоді як відомості про виробника не враховуються — кожному зразку надається окремий умовний номер.

3.2.3. Індивідуальні засоби безпеки:

засоби захисту органів дихання — не вимагаються;

захисні окуляри — не потрібні;

рукавички — не обов'язкові;

додатково — за необхідності застосовують прості засоби захисту від пилу та бризок рідини.

Гігієнічні вимоги: достатньо дотримання стандартних правил особистої гігієни, спеціальні заходи не передбачаються.

Пожежна та вибухобезпечність: додаткові заходи безпеки не потрібні.

3.2.4. Випробувальний тиск.

Випробування виконують під час максимального та мінімального тисків, вказаних виробником, а також на проміжному тиску. Різниця між двома послідовними тисками повинна бути менша або рівна 0,5 МПа (5 атм).

Випробовувальний тиск,  $P$  потрібно вибирати із вказаного нижче, згідно з максимальним тиском  $P_5$ , який рекомендує виробник:

$$0,05 \text{ МПа} < P_5 < 0,3 \text{ МПа} : P = 0,2 \text{ МПа};$$

$$0,3 \text{ МПа} < P_5 < 0,5 \text{ МПа} : P = 0,3 \text{ МПа};$$

$$0,5 \text{ МПа} < P_5 < 1,0 \text{ МПа} : P = 0,4 \text{ МПа}.$$

### 3.2.5. Розміщення розпилювачів.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}{n - 1}}, \quad (3.1)$$

де  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  – середньо арифметичне значення об'єму у мірних стаканах;

$x_i$  – об'єм води в  $i$ -му мірному стакані;

$n$  – кількість мірних стаканів між осями крайніх розпилювачів.

Нерівномірність розподілу рідини характеризується коефіцієнтом варіації %:

$$V = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Чим нижче значення коефіцієнта варіації, тим рівномірнішим є розподіл. Цей показник відображає співвідношення середньоквадратичного відхилення до математичного сподівання. Іншими словами, коефіцієнт варіації демонструє, наскільки крайні значення — максимальні та мінімальні — відхиляються від середнього показника.

Під час проведення випробувань розпилювач має бути встановлений у вертикальному положенні над виступом вимірювального стенда, тобто в умовах, максимально наближених до робочих. Це забезпечує правильний напрям факела на приймальну поверхню. Якщо виробником передбачено

спеціальне просторове розташування розпилювача, дослідження необхідно виконувати відповідно до цих вимог.

Площина розпилювача при випробуванні має бути зорієнтована таким чином, щоб найбільша ширина факела була перпендикулярна до жолобів стенда.

Якість суцільності факела контролюється візуально: його межі повинні мати чіткі контури, без локальних струмин чи виражених «язиків» рідини. Зразки, факел яких не відповідає цим критеріям, виключаються з подальших випробувань.

#### 3.2.6. Вимірювання кута розпилення

Кут факела визначають за допомогою спеціального вимірювального обладнання для граничних значень тиску (мінімального та максимального), рекомендованих виробником. При цьому використовують ті розпилювачі, у яких витрата рідини знаходиться поблизу середнього значення.

#### 3.2.7. Вимірювання хвилиної витрати

Для кожного досліджуваного розпилювача визначають витрату рідини в літрах за одну хвилину при тиску 0,3 МПа (3 атм). Похибка має бути меншою за 1 %. Час вимірювання, зафіксований секундоміром із точністю не гіршою ніж 1 с, повинен становити не менше 60 с.

#### 3.2.8. Вивчення розподілу рідини за довжиною факела

Розподіл рідини вимірюється окремо для кожного з чотирьох розпилювачів. Тривалість напрацювання під час зняття показань визначають за часом, необхідним для заповнення приблизно 2/3 мірної ємності; у даному досліді цей інтервал складає 3 хвилини.

Нерівномірність розподілу робочої рідини (коефіцієнт варіації) оцінюють за кількістю крапель, що осідають на приймальній поверхні. Для цього використовують колориметричний метод аналізу та визначають середньоквадратичне відхилення отриманих показників.

### 3.2.10. Результати

Усі вимірювання викладають у таблицях та графіках:

- Розподіл рідини по довжині факела;
- Розподіл рідини по довжині штанги;
- Коефіцієнт варіації.

Отримані результати досліджень необхідно представити у вигляді графіків та таблиць. Витрату робочої рідини кожним розпилювачем слід виражати у відсотках відносно середнього значення витрати, визначеного для всієї групи зразків. Додатково потрібно відобразити відхилення фактичних витрат від установлених значень відповідно до робочого тиску.

### 3.3. Об'єкт дослідження

У рамках експерименту досліджувалися відцентрові розпилювачі, призначені для ультрамалооб'ємного обприскування. Використані зразки моделі Р.03.0.4, встановлені на обприскувач із баком місткістю 2000 літрів, забезпечують обробіток площі до 40 га за одну заправку машини за умови робочої швидкості 9 км/год.



Рис. 3.1. Загальний вид та складові частини розпилювача

1-загальний вид; 2- байонетка; 3- корпус; 4-завихрювач; 5 – ущільнювач;  
6- гумове кільце.

Таблиця 3.1

Характеристика досліджуваного розпилювача ТОВ «Агромодуль»РОса®

P.03.0.4

Розпилювач РОса® P.03.0.4	Одиниця вимірювання	Значення
Тиск номінальний	МПа	0,3
Витрата води за умови номінального тиску	л/хв	0,40
Відхилення витрати води, не більше	%	± 5
Відстань між розпилювачами на штанзі	метрів	0,5
Положення штанги над об'єктом обробки, номінальне	метрів	0,6
Відхилення штанги від номінального положення, не більше	метрів	+ 0,2; - 0,1
Нерівномірність розподілу води по довжині штанги, не більше	%	15
Розмір отворів фільтру	мкм	365
Вага розпилювача, не більше	кг	0,03
Ресурс	годин	7000
Термін служби	років	5

Таблиця 3.2

Експлуатаційні показники досліджуваного розпилювача

Розпилювач	Тиск		Витрата Швидкість руху обприскувача, км/год										
	МПа	л/хв	45	6	7	8	9	10	11	12	16	30	
РОса® P.03.0.4	0,2	0,33	98	78	65	56	49	44	39	36	33	24	13
	0,25	0,37	110	88	73	63	55	49	44	40	37	27	15
	0,3	0,40	120	96	80	69	60	53	48	44	40	30	16
	0,35	0,43	130	104	86	74	65	58	52	47	43	32	17
	0,4	0,46	139	111	92	72	69	62	55	50	46	35	18

### 3.4. Прилади та обладнання, які використовуються при проведенні досліджень.

Стенд, призначений для експериментального дослідження параметрів розпилювачів (рис. 3.2), створено з метою забезпечення можливості їх комплексного випробування. Конструкція стенда включає: бак 1 об'ємом 400 л; відцентровий насос 2; електродвигун 3; фільтрувальні елементи 4; гумові рукави 5; регулятор тиску 6; манометр 7 (за ГОСТ 6521-71); полімерні штанги 8 діаметром 32 мм; розпилювальну головку з установленим розпилювачем 9; систему розподілу рідини 10; уловлювальні жолоби 11; мірні колби 12; механізм їх перевертання 13; та раму 14, на якій змонтовано всі елементи конструкції. Для фіксації розпилювальної апаратури передбачено спеціальний тримач 15. Стенд функціонує у циклічному режимі.

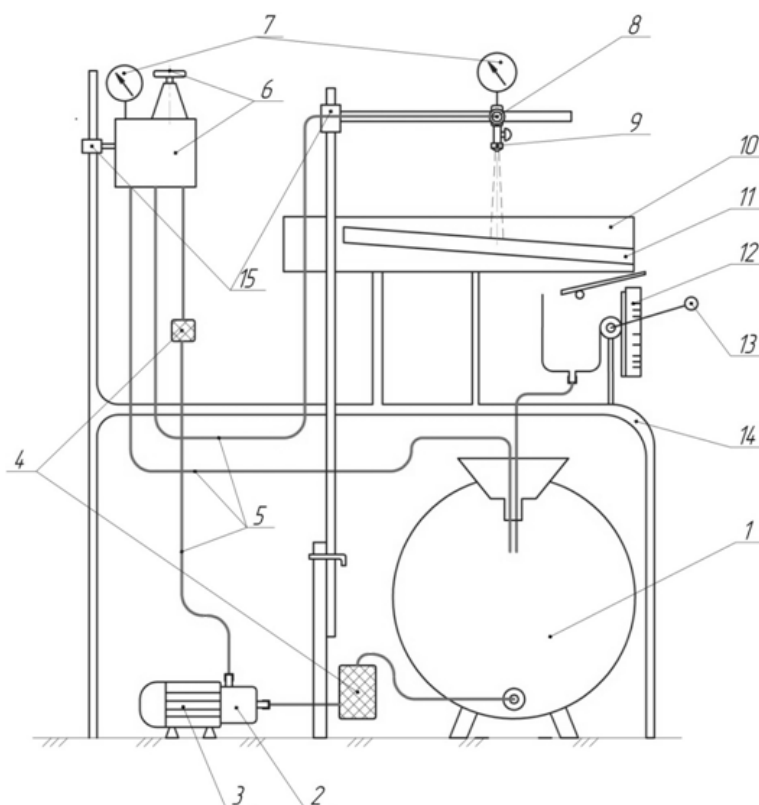


Рис. 3.2. Принципова схема гідралічного стенда для дослідження розпилювачів: 1 – резервуар; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – фільтр; 5 – рукав; 6 – регулятор тиску; 7 – манометр; 8 – штанга; 9 – розпилювальна головка з розпилювачем; 10 – розподільники; 11 – жолоб; 12 – мірні колби; 13 – поворотний механізм; 14 – рама; 15 – тримач.

Його робота організована таким чином: насос 2 здійснює всмоктування робочого розчину з баку 1 і подає його до регулятора тиску 5, який забезпечує підтримання заданого тиску в штанзі 8. Після цього рідина проходить крізь фільтрувальні елементи 4. Контроль параметрів тиску проводиться за показами манометра 6.

Далі робоча рідина надходить по штанзі до розпилювальної головки, де через розпилювач 9 розпоршується у вигляді факела.

Утворені краплини осідають на розподільвачах рідини 10 та спрямовуються по жолобах 11 у мірні колби 12. Поворотний механізм 13 дає змогу повертати колби для зливу рідини назад у бак, що забезпечує безперервність циклу роботи станда. Загальний вигляд конструкції подано на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Загальний вид гідравлічного станду для вимірювання параметрів розпилювачів: 1 – бак; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – фільтр; 5 – рукав; 6 – регулятор тиску; 7 – манометр; 8 – штанга; 9 – розпилююча головка з розпилювачем; 10 – розподільвачі ; 11 – жолоб; 12 – мірні колби; 13 – поворотний механізм; 14 – рама; 15 – тримач

Манометр, з точністю  $\pm 1\%$  дії робочого тиску.



Рис. 3.5. Загальний вигляд манометра.

Мірний циліндр об'ємом 2000 мл із ціною поділки 10 мл., (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Загальний вид мірного циліндра на 2000 мл., (ГОСТ 1770-74)

Лінійка з точністю  $\pm 1$  мм. Кутомір з точністю  $\pm 0,5^\circ$ .

### 3.5. Висновки до розділу

Створені та виготовлені лабораторні стенди забезпечують можливість проведення всього комплексу необхідних випробувань розпилювачів відповідно до чинних нормативних вимог і згідно із запропонованою програмою досліджень.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основною експлуатаційною вимогою до розпилувачів пестицидів є забезпечення рівномірного нанесення робочого розчину на поверхню оброблення за умови, що інтервал між розпилувачами на штанзі обприскувача становить 0,5 м. Теоретичні розрахунки свідчать, що необхідної рівномірності розподілу з коефіцієнтом варіації менше ніж 8% – можна досягти за умови, коли кут розкриття факела розпилення  $2\alpha$  становить  $90^\circ$ .

##### 4.1. Розрахунок параметрів форми і розмірів камери закручування.

Розрахунок параметрів форми та розмірів камери закручування. Визначаємо оптимальне відношення радіуса соплового отвору до радіуса початкового закручування при значенні коефіцієнта  $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$  при  $k = 1,8$ .

Оптимальний радіус початкового закручування залежить від конструктивної форми камери. При плоских торцевих стінках, коли  $R_0 \rightarrow \infty$ ,  $\frac{r_c}{R_0} = 0$ ,  $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0 \approx 0,26$ . Якщо  $\frac{r_c}{R_0} = 0,05$ , то можна прийняти  $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0 \approx 0,21$ . Але при цьому збільшується діаметр камери і тертя рідини об стінки, тому доцільно вибирати  $\frac{r_c}{R_0}$ , яке відповідає  $\alpha = \frac{R_k}{R_0} = 0$ .

Для забезпечення необхідного кута факела розпилювання  $2\alpha_c$ , приймають коефіцієнт заповнення сопла  $\varepsilon = 0,8$ , який характеризує частку площі перерізу соплового отвору, зайняту рідинною плівкою.

Визначаємо гідродинамічну характеристику камери закручування

$$A_r = \frac{\operatorname{tg} \alpha_c}{\varepsilon} = \frac{1,0048}{0,8} = 1,256, \quad (4.1)$$

При якій забезпечується заданий кут факелу  $2\alpha_c$ .

При прийнятому куті  $\delta=0,262$  визначаємо відношення радіуса початкового закручування до радіуса основи конуса

$$\alpha = \frac{R_k}{R_0} = \frac{0,0029}{0,0156} = 0,1. \quad (4.2)$$

У першому наближенні приймаємо  $\frac{l_k}{r_c} \approx 6-8$  і  $\frac{r_c}{R_k} = \left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0 = \frac{0,0008}{0,0029} = 0,28$

В першому наближенні приймаємо коефіцієнт відновлення обертальної швидкості на радіусі початкового закручування  $\eta_0 = 0,9 - 0,95$ .

Характеристику входу камери закручування розраховуємо за формулою:

$$A_0 = \frac{A_r}{\eta_0} f_0 = \frac{1,256}{0,9} \cdot 0,446 = 0,61. \quad (4.3)$$

Радіус соплового отвору розраховуємо за формулою

$$r_c = \sqrt{\frac{Q}{\pi\mu}} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}} = \sqrt{\frac{0,00167}{3,14 \cdot 0,38}} \cdot \sqrt{\frac{998,2}{2 \cdot 0,3}} = 0,0008 \text{ м.} \quad (4.4)$$

Радіус початкового закручування знаходимо за формулою

$$R_k = \frac{r_c}{\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0} = \frac{0,0008}{0,28} = 0,0029 \text{ м.} \quad (4.5)$$

Ефективну площу вхідних каналів визначаємо за формулою

$$mf_k = \frac{\pi r_c^2}{A_0} = \frac{3,14 \cdot 0,0029^2}{0,61} = 3,3. \quad (4.6)$$

З метою забезпечення мінімального відхилення швидкості обертання від осової симетрії вибираємо кількість вхідних каналів  $m \geq 2$ .

Діаметр вхідного каналу

$$d_{\text{ex}} = \sqrt{\frac{4 f_k}{\pi \chi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000205}{3,14 \cdot 0,82}} = 0,0016 \text{ м}, \quad (4.7)$$

де коефіцієнтом стиснення потоку у вхідному каналі  $\chi$  враховуємо зменшення площі потоку за вхідним крайком. Значення  $\chi$  залежить від числа Рейнольдса.

Діаметр камери закручування

$$D = 2R_k + d_{\text{ex}} + \Delta = 2 \cdot 0,0029 + 0,0016 + 0,0001 = 0,0075 \text{ м}. \quad (4.8)$$

З метою виключення врізання вхідного каналу в циліндричну стінку камери закручування приймаємо  $\Delta = 0,1 - 0,2$  мм.

Середній діаметр краплин залежить від довжини дуги тороїдальної поверхні камери закручування  $l_k = (R_0 - R_k)\delta$ , яка входить до характеристики закручування

$$B = \frac{2\pi R_k (R_0 - R_k)\delta}{mf_k} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0029 \cdot 0,005}{3,3} = 33,7. \quad (4.9)$$

Знаходимо середній об'ємний діаметр краплин відцентрового розпилювача:

$$\frac{d_{30}}{2r_c} = \frac{15}{A^{0,9} B^{0,7} 10^{0,7k}} = \frac{15}{1,31^{0,9} \cdot 33,7^{0,7} \cdot 10^{0,7 \cdot 2,17}} = 28 \text{ мкм}, \quad (4.10)$$

де геометрична характеристика  $A$ ,

$$A = \frac{\pi r_c R_k}{mf_{\text{ex}}} = \frac{3,14 \cdot 0,0008 \cdot 0,0029}{0,00036} = 1,31 \quad (4.11)$$

Визначаємо висоту камери закручування:

$$h = \left( R_0 - \frac{D}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \delta = \left( 0,0156 - \frac{0,0075}{2} \right) \cdot 0,0046 = 0,006 \text{ м.} \quad (4.12)$$

Ефективне число Рейнольдса камери закручування розраховуємо за формулою:

$$k = 0,96 \cdot \lg \left( \frac{Q}{2\pi R_0 \delta \nu} \frac{mf_k}{R_k^2} \right) = 0,96 \cdot \lg \left( \frac{0,00167}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0156 \cdot 0,262 \cdot 0,000001} \cdot \frac{3,3}{0,0029^2} \right) = 2,17 \quad (4.13)$$

Уточнюємо коефіцієнт відновлення обертальної швидкості на радіусі початкового закручування, враховуючи геометричні параметри камери та умови формування закрученого потоку.

Число Рейнольдса для вхідних каналів

$$Re_{ex} = \frac{W_{ex} d_{ex}}{\nu} = \frac{4,65 \cdot 0,0016}{0,000001004} = 7018. \quad (4.14)$$

де середня швидкість рідини у вхідних каналах

$$W_{ex} = \frac{Q}{mf_{ex}} = \frac{0,00167}{0,00036} = 4,65 \text{ м/с.} \quad (4.15)$$

Число Рейнольдса біля циліндричної стінки камери закручування

$$Re_l = Re_{ex} \frac{\pi D}{d_{ex}} = 7018 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0075}{0,0016} = 1,03 \cdot 10^5 \quad (4.16)$$

Якщо  $Re_l < 5 \cdot 10^5$ , розрахунки коефіцієнта тертя на циліндричній стінці виконуємо за формулою Г. Блазіуса:

$$\overline{C_f} = 1,328 Re_l^{-0,5} = 1,328 \cdot 103000^{-0,5} = 0,004, \quad (4.17)$$

а коефіцієнт відновлення обертальної швидкості  $\eta$  з рівняння:

$$a_1 \eta^{1,5} + a_2 \eta - 1 = 0, \quad (4.18)$$

Якщо  $Re_l > 5 \cdot 10^5$ , розрахунки коефіцієнта тертя на циліндричній стінці виконуємо за формулою Л. Прандтля:

$$\overline{C_f} = 0,074 Re_l^{-0,2} = 0,074 \cdot 103000^{0,2} = 0,004, \quad (4.19)$$

а рівняння коефіцієнта відновлення обертальної швидкості  $\eta$  матиме вигляд:

$$a_1 \eta^{1,8} + a_2 \eta - 1 = 0, \quad (4.20)$$

$$\text{У рівняннях (4.18) і (4.20) } a_1 = \frac{1}{2} \overline{C_f} \psi B = 0,111, \quad a_2 = 1,$$

де коефіцієнт форми камери закручування

$$\psi = \frac{h}{(R_0 - R_k) \delta} \left( \frac{D}{2R_k} \right)^2 = \frac{0,006}{(0,0156 - 0,0029) \cdot 0,262} \cdot \left( \frac{0,0075}{2 \cdot 0,0075} \right)^2 = 1,64.$$

Якщо уточнений коефіцієнт відновлення обертальної швидкості  $\eta$  не перевищує початкового в межах похибки розрахунків, вибір розмірів вважається закінченим.

## 4.2. Розрахунок гідравлічної і дисперсної характеристики.

Порядок розрахунків наступний:

1. Розраховуємо ефективну площу вхідних каналів

$$mf_k = mf_{ex} \cdot \chi = 0,00036 \cdot 0,82 = 3,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (4.21)$$

2. Об'ємна витрата рідини через розпилювач

$$Q = \pi r_c^2 \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (4.22)$$

або у вигляді гідравлічної характеристики через коефіцієнт

$$A = \pi r_c^2 \mu \sqrt{\frac{2}{\rho}},$$

$$Q = A \sqrt{\Delta P} = 1,31 \cdot \sqrt{0,3} = 0,7 \text{ л/хв.} \quad (4.23)$$

3. Обертальну швидкість на радіусі початкового закручування визначаємо

$$W_k = \eta W_{ex} = 0,91 \cdot 4,65 = 4,28 \text{ м/с.} \quad (4.24)$$

Обертальну швидкість на радіусі соплового отвору

$$W_c = W_k \left( \frac{r_c}{R_k} \right)^{1-k} = 4,28 \cdot \left( \frac{0,0008}{0,0029} \right)^{1-0,8} = 11,9 \text{ м/с,} \quad (4.25)$$

Осьову швидкість в сопловому отворі

$$U_c = \frac{Q}{\pi r_c^2 \varepsilon} = \frac{0,00167}{3,14 \cdot 0,00000064 \cdot 0,8} = 11,6 \text{ м/с.} \quad (4.26)$$

4. Кут розкриття факелу на радіусі соплового отвору

$$2\alpha_c = 2 \arctg \frac{W_c}{U_c} = 2 \arctg \frac{11,9}{11,6} = 91^\circ. \quad (4.27)$$

5. Середній об'ємний діаметр краплин у факелі розраховуємо за формулою

$$\frac{d_{30}}{2r_c} = \frac{15}{A^{0,9} B^{0,7} 10^{0,7k}} = \frac{15}{1,31^{0,9} \cdot 33,7^{0,7} \cdot 10^{0,7 \cdot 2,17}} = 28 \text{ мкм.}$$

6. Розраховуємо ефективне число Рейнольдса

$$k = 0,96 \cdot \lg \left( \frac{Q}{2\pi R_0 \delta v} \frac{mf_k}{R_k^2} \right) = 0,96 \cdot \lg \left( \frac{0,00167}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0156 \cdot 0,262 \cdot 0,000001} \cdot \frac{3,3}{0,0029^2} \right) = 2,17$$

7. Визначимо коефіцієнти регулювання розпилювача по об'ємній витраті рідини

$$\frac{Q_1}{Q} = 10^{k^* - k} = 1,94, \quad (4.28)$$

та тиску

$$\frac{P_1}{P} = \left( \frac{Q_1}{Q} \right)^2 = 1,94^2 = 3,76. \quad (4.29)$$

### 4.3. Розробка плану 2-х факторного експерименту

Використання відомих методів побудови математичних моделей дає змогу з високою точністю (до 5%) оцінити імовірність отриманих результатів та подати їх у вигляді відповідного математичного рівняння.

Під час дослідження технічних систем, на які впливають два основні фактори (змінні), доцільно застосовувати методи математичного планування експерименту. У даному випадку ключовими факторами, що визначають витрату робочої рідини, є тиск ( $P$ , МПа) та висота розташування штанги ( $h$ , м).

Аналіз впливу цих параметрів здійснюється відповідно до стандартної схеми, передбаченої для трирівневого варіювання кожного фактора. З метою спрощення подальших розрахунків фактичні величини тиску та висоти переводять у безрозмірну форму. Значення змінних задаються так, щоб після нормування вони відповідали умовним рівням  $-1$ ,  $0$  та  $+1$ .

Різниця між нульовим та крайніми рівнями ( $\pm 1$ ) визначає крок варіювання, що встановлює межі досліджуваної області, у межах якої отримують необхідні експериментальні дані.

Під час побудови математичної моделі впливу досліджуваних факторів формується план експерименту для двох змінних—тиску  $P$  та висоти  $h$ . На основі цього плану розробляють схему розрахунків і подальше опрацювання отриманих експериментальних результатів.

Вибір режимів проведення експерименту здійснюється за такою послідовністю.

Спочатку встановлюють базові, тобто нульові (середні), рівні досліджуваних факторів:

тиск – 0,3 МПа;

висота штанги – 0,5 м.

Далі визначають величину інтервалу варіювання (кроку зміни) кожного параметра:

для тиску – 0,1 МПа;

для висоти – 0,1 м.

Конструкція гідравлічного стенда дає можливість точно регулювати параметри  $P$  та  $h$ . Метою проведених досліджень є встановлення характеру впливу цих факторів на витрату робочої рідини  $Q$ , л/хв.

Для коректного опрацювання експериментальних даних було виконано кодування факторів.

Таблиця 4.1.

## Фактори та рівні їх варіювання

Фактори	Рівні варіювання		
	-1	0	+1
$P$ , МПа	0,2	0,3	0,4
$h$ , м	0,4	0,5	0,6

Для одержання регресійної моделі у вигляді полінома I ступеня були проведені експерименти згідно наступного плану: ( $3^2 = 9$ ).

Таблиця 4.2.

## Матриця планування і результати проведення експериментів

№ досліджу	$X_1$	$X_2$	$Q$ л/хв
1	+1	+1	0,290
2	+1	-1	0,240
3	-1	+1	0,330
4	-1	-1	0,240
5	0	0	0,290
6	0	+1	0,336
7	-1	0	0,240
8	0	-1	0,290
9	+1	0	0,320

У результаті обробки факторного експерименту можна одержати регресійну модель у вигляді полінома I ступеня:

$$Q = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (4.30)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}$  – коефіцієнти регресії, що для даної матриці можна розрахувати по формулах

$$* b_0 = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i}{9},$$

(4.31)

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i \cdot x_1}{9},$$

(4.32)

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i \cdot x_2}{9},$$

(4.33)

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i \cdot x_1 \cdot x_2}{9},$$

(4.34)

Коефіцієнти рівняння для двох змінних розраховують за результатами дев'яти експериментів.

Фактичні значення тиску та висоти при постановці досліду наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Схема планування експерименту для двох компонентів

№ експерименту	Значення параметру				
	Умовних одиниць		Реальне значення		
	$X_1$	$X_2$	$P, \text{МПа}$	$h, \text{м}$	$Q, \text{л/хв}$
1	2	3	4	5	6
1	-1	-1	0,2	0,4	0,290
2	-1	0	0,225	0,425	0,240
3	-1	+1	0,25	0,45	0,330
4	0	-1	0,275	0,475	0,240
5	0	0	0,3	0,5	0,290
6	0	+1	0,325	0,525	0,336
7	+1	-1	0,35	0,55	0,240
8	+1	0	0,375	0,575	0,298
9	+1	+1	0,4	0,6	0,320

Розраховуємо коефіцієнти регресії за формулами (4.31...4.34):

$$b_0 = \frac{0,290 + 0,240 + 0,330 + 0,240 + 0,290 + 0,336 + 0,240 + 0,298 + 0,320}{9} = 0,287;$$

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{0,290 \cdot (-1) + 0,240 \cdot (-1) + 0,330 \cdot (-1) + 0,240 \cdot 0 + 0,290 \cdot 0}{9} + \\
 &+ \frac{0,336 + 0,240 \cdot (+1) + 0,298 \cdot (+1) + 0,320 \cdot (+1)}{9} = 0,01 \\
 b_2 &= \frac{0,290 \cdot (-1) + 0,240 \cdot 0 + 0,330 \cdot (+1) + 0,240 \cdot (-1) + 0,290 \cdot 0 + 0,336(+1)}{9} + \\
 &+ \frac{0,240(-1) + 0,298 \cdot 0 + 0,320 \cdot (+1)}{9} = 0 \\
 b_{12} &= \frac{0,290 \cdot (-1) \cdot (-1) + 0,240 \cdot (-1) \cdot 0 + 0,330 \cdot (-1) \cdot (+1) + 0,240 \cdot 0 \cdot (-1)}{9} + \\
 &+ \frac{0,290 \cdot 0 \cdot 0 + 0,336 \cdot 0 \cdot (+1) + 0,240 \cdot (+1) \cdot (-1) + 0,298 \cdot (+1) \cdot 0 + 0,320 \cdot (+1) \cdot (+1)}{9} \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

Таким чином, рівняння отримане для розрахунку має наступний вигляд:

$$Q = 0,287 + 0,01 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2.$$

За допомогою даного рівняння можна вирахувати значення витрати рідини при різних значеннях факторів  $P$  і  $h$ .

Наприклад, витрата для заданих значень  $P = 4,5$  МПА і  $h = 0,7$  м становитиме:

$$Q = 0,287 + 0,01 \cdot 4,5 + 0 \cdot 0,7 + 0,01 \cdot 4,5 \cdot 0,7 = 0,363 \text{ л/хв.}$$

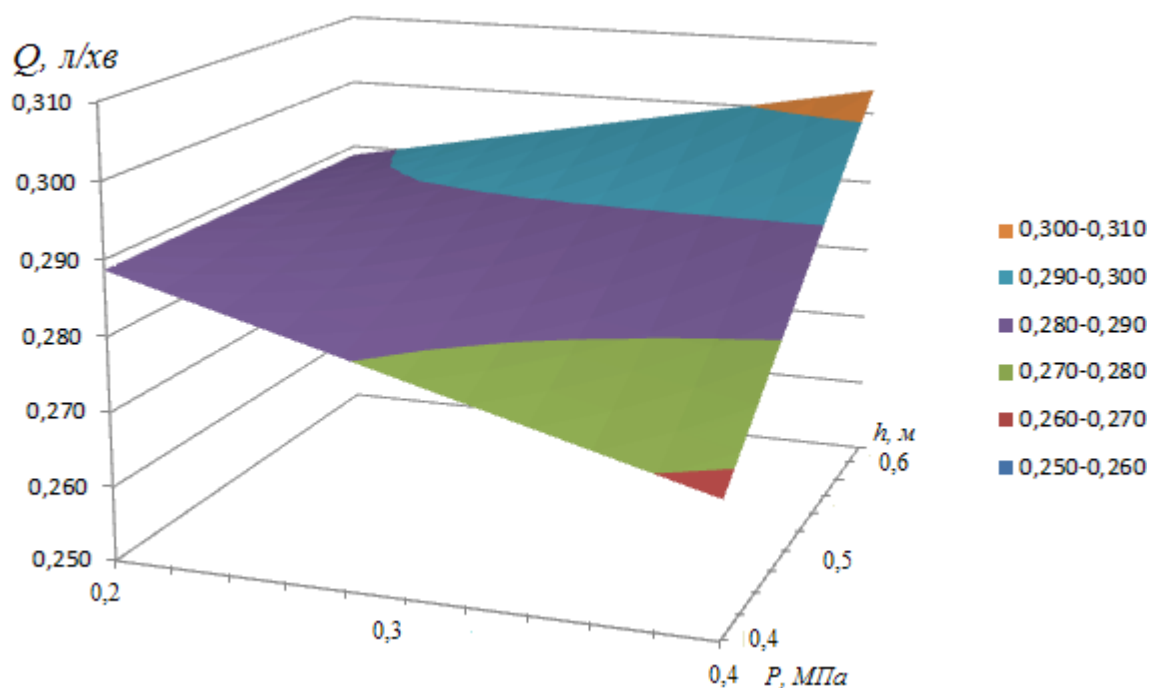


Рис.4.1. Поверхня відгуку значення витрати рідини при різних значеннях тиску  $P$  та висоти  $h$ .

Виходячи з умови, що оптимальна витрата рідини розпилювачем Р.03.04 за хвилину становить 0,3л, то аналізуючи рис.4.1. можемо зробити висновок, що найбільш оптимальним параметром для розпилювача буде тиск  $P=0,3$  та висота штанги  $h=0,5$  м

#### 4.4.Розподіл розпиленої рідини по довжині факела

Як було зазначено у попередньому розділі, дослідження розподілу робочої рідини по довжині факела здійснювали при трьох рівнях тиску – 0,2; 0,3 та 0,4 МПа – і трьох значеннях висоти розташування штанги – 0,4; 0,5 та 0,6 м. Кожне випробування проводили двічі з метою підвищення достовірності отриманих даних; після цього визначали середнє значення, яке занесли до таблиці 4.5. Інші детальні результати подані у додатках.

Оцінювання нерівномірності розподілу розпиленої рідини вздовж штанги, на якій розпилювачі були встановлені з інтервалом 0,5 м, виконувалося на гідравлічному стенді (рис. 4.5). Приклади отриманих графічних даних наведені на рисунках 4.2–4.5.

Таблиця 4.4

Результати розподілу рідини по довжині факелу розпилювачем  
Р 03.04. при тиску 0,3 МПа на висоті 0,5м

При $P$ 0,3МПа, $h$ 0,5м		Об'єм колби (Vмл)	№ колби	Відстань від осі факела, мм
Спроба №1	Спроба №2			
0	0	0	13	-35
20	20	20	14	-30
40	42	41	15	-25
66	62	64	16	-20
135	128	132	17	-15
167	160	164	18	-10
172	168	170	19	-5
150	152	151	20	0
98	107	103	21	5
81	88	85	22	10
30	33	32	23	15
0	0	0	24	20

З одержаних результатів будемо графік

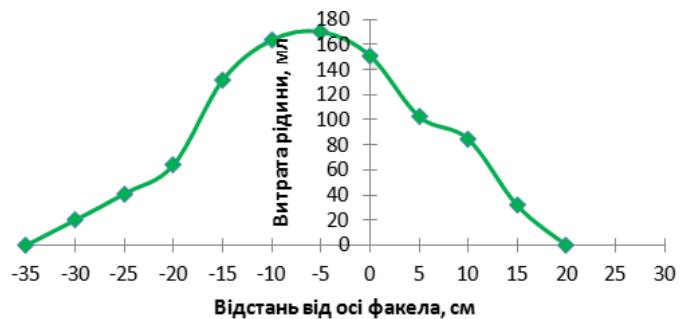


Рис.4.2. Графік розподілу рідини по довжині факелу при  $P = 0,3$   $h = 0,5$



Рис.4.3 Фото розподілу рідини одного розпилювача при  $P = 0,3, h = 0,5$



Рис.4.4. Графік розподілу рідини по довжині штанги, при  $P= 0,3$  МПа;  $h=0,5$

М



Рис. 4.5. Фото гідравлічного стенду під час дослідження рівномірності розподілу рідини по довжині штанги

#### 4.5. Визначення коефіцієнта варіації

Розрахунок коефіцієнта варіації та середньоквадратичного відхилення здійснювали за формулами 3.1 і 3.2, після чого результати заносили до відповідної таблиці та відтворювали у вигляді діаграми.

Експериментальні вимірювання були проведені при розташуванні штанги на висоті від 0,4 до 0,6 м над поверхнею зрошення за сталого тиску 0,3 МПа. Отримані значення коефіцієнта варіації становили відповідно 39,97 %, 28,7 % та 28,4 %.

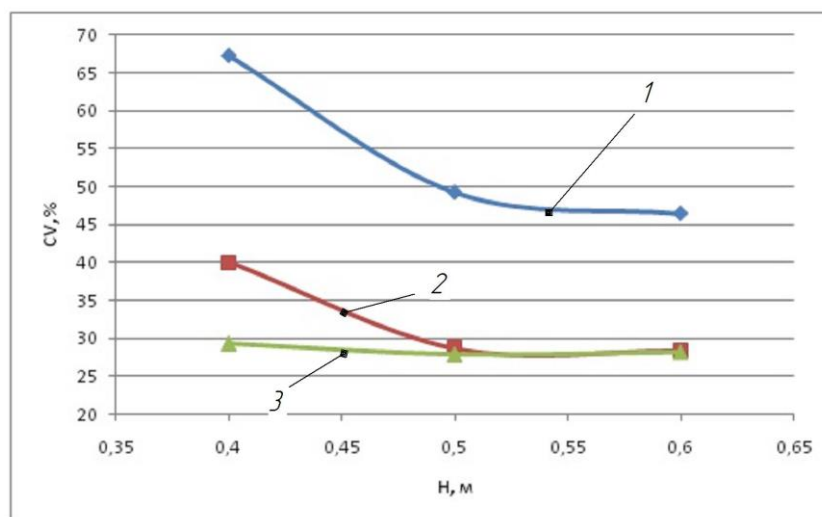


Рис. 4.6. Залежності коефіцієнту варіації розподілу від висоти розташування розпилювача для тиску: 1 - 0,2 МПа; 2 - 0,3 МПа ; 3 - 0,4 МПа.

На рисунку 4.6 подано залежність коефіцієнта варіації розподілу робочої рідини уздовж штанги від величини тиску та висоти встановлення розпилювачів у межах 0,4–0,6 м над оброблюваною поверхнею.

Графічні дані свідчать, що для відцентрового розпилювача з теоретичною витратою робочого розчину 0,3 л/хв за робочого тиску 0,3 МПа значення коефіцієнта варіації розподілу рідини вздовж штанги змінюється в межах 28,4–39,97 % при висоті розташування розпилювача 0,4–0,6 м. Найменше значення коефіцієнта варіації, зафіксоване при висоті 0,4 м,

становило 28,4 %. Випробування проводилися за умов температури повітря 22 °С та відносної вологості 54 %.

#### **4.6. Висновки до розділу**

Виконані аналітичні розрахунки параметрів камери закручування дали змогу визначити основні характеристики відцентрового розпилювача, зокрема: об'ємну витрату рідини  $Q = 0,3$  л/хв, кут розкривання факела на радіусі сопла 9–10°, середній об'ємний діаметр крапель  $d \approx 28$  мкм, висоту камери закручування  $h = 0,006$  м та радіус соплового отвору  $r_c = 0,0008$  м.

У результаті побудови та реалізації плану двофакторного експерименту встановлено оптимальні параметри роботи розпилювача Р 03.04. Найкращі показники забезпечуються при тиску  $P = 0,3$  МПа та висоті встановлення штанги  $h = 0,5$  м.

Під час експериментальних досліджень значення коефіцієнта варіації коливалося в широкому діапазоні — від 28,2 до 67,25 %, що свідчить про істотний вплив умов випробувань та параметрів встановлення розпилювачів на рівномірність розподілу робочого розчину.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Охорона навколишнього середовища при застосуванні гербіцидів та їх детоксикація

Застосування гербіцидів у системах сучасного землеробства є необхідним елементом технологій догляду за посівами, однак воно супроводжується низкою екологічних ризиків. Основна загроза полягає у здатності гербіцидних речовин зберігати активність у ґрунті та мігрувати за межі обробленої ділянки, що може викликати забруднення прилеглих екосистем. Під дією опадів або поверхневого стоку певні сполуки потрапляють у водойми, де вони здатні порушувати баланс екосистем, негативно впливати на водні організми та погіршувати якість питної води. Значну увагу також привертає їхня дія на мікробіоту ґрунту, адже зміна структури мікробних угруповань може призвести до зниження родючості та порушення природних процесів гуміфікації.

Особливості поведінки гербіцидів у довкіллі визначаються їх хімічною природою, розчинністю, здатністю адсорбуватися на ґрунтових частинках, швидкістю розкладання та умовами навколишнього середовища. Наприклад, препарати з високою стійкістю повільно руйнуються природними механізмами, тоді як більш легко гідролізуючі чи фотолабільні сполуки втрачають токсичність швидше. Важливу роль відіграють тип ґрунту, рівень вологості, температура та наявність органічної речовини, що визначає швидкість їх перетворень.

Для зменшення ризиків негативного впливу гербіцидів першочерговим завданням є дотримання технологічних регламентів застосування. Сюди належать правильний вибір препарату залежно від культур та бур'янів, оптимальні норми внесення, погодні умови під час обприскування та використання технічних засобів, що забезпечують рівномірне розпилення і знижують дрейф краплин. Використання сучасних форсунок малооб'ємного

та точкового внесення істотно зменшує ризик потрапляння препарату на нецільові ділянки.

Детоксикація гербіцидів є ключовим напрямом зниження їх екосистемної небезпеки. До природних механізмів нейтралізації належать мікробіологічна деградація, фотоліз та хімічні реакції окиснення. Мікроорганізми ґрунту здатні розкладати низку гербіцидів, перетворюючи їх на менш токсичні сполуки або повністю мінералізуючи до води та вуглекислого газу. Ці процеси можуть бути підсилені шляхом внесення органічних матеріалів, які активізують розвиток мікробіоти.

Серед техногенних підходів до детоксикації застосовують адсорбенти, що зв'язують залишки гербіцидів у ґрунті та перешкоджають їх міграції. Найчастіше використовують активовані вуглецеві матеріали, цеоліти, природні сорбенти на основі глин та модифіковані мінерали. У водних середовищах ефективними є методи фільтрації, коагуляції та окиснення з використанням ультрафіолету або пероксидних систем. Окрему увагу привертає біоремедіація – технологія очищення ґрунтів і води із залученням спеціально підібраних штамів мікроорганізмів або рослин, здатних поглинати та розкласти токсичні речовини.

Запровадження комплексної системи екологічного контролю є важливою складовою раціонального застосування гербіцидів. Вона включає моніторинг залишкових кількостей у ґрунті та воді, оцінку стану біоти, аналіз можливого накопичення в сільськогосподарській продукції та контроль дотримання нормативів. Такий підхід дає змогу своєчасно виявляти потенційні ризики та коригувати технологічні рішення.

Таким чином, екологічна безпека застосування гербіцидів базується на поєднанні правильного вибору препаратів, технологічної дисципліни та впровадження сучасних методів детоксикації. Забезпечення контролю за їхнім рухом у довкіллі та впровадження природно орієнтованих технологій очищення сприяють мінімізації негативних наслідків і створюють передумови для сталого функціонування агроєкосистем.

## 5.2. Вказівки до заходів безпеки

Забезпечення безпечних умов праці при застосуванні гербіцидів є обов'язковою вимогою, яка спрямована на захист працівників, сільськогосподарських культур та довкілля від можливого негативного впливу хімічних речовин. Основою такої безпеки є правильна організація технологічних процесів, використання індивідуальних засобів захисту та суворе дотримання регламентів роботи з препаратами.

Першим етапом безпечного використання гербіцидів є правильне поводження з препаратом ще до початку польових робіт. Продукцію слід зберігати у спеціальних складських приміщеннях, що відповідають вимогам пожежної безпеки та санітарних норм. Препарати необхідно розміщувати в оригінальній, щільно закритій тарі, окремо від продуктів харчування, кормів та засобів індивідуального захисту. Забороняється перекладати або пересипати хімічні речовини в не марковану тару, оскільки це може спричинити помилки у використанні та створити додаткові ризики для персоналу.

Під час приготування робочого розчину працівникам необхідно використовувати повний комплект засобів індивідуального захисту: спецодяг, прогумовані рукавиці, закрите взуття, захисні окуляри та респіратор, адаптований до роботи з аерозолями і парами пестицидів. Забороняється виконувати будь-які операції з хімікатами без належного захисного спорядження, оскільки більшість гербіцидів може потрапляти в організм через шкіру або органи дихання. Робочий розчин готують у добре провітрюваному місці або на відкритому повітрі, уникаючи утворення бризок. У разі випадкового потрапляння препарату на шкіру його слід негайно змити великою кількістю води.

Під час обприскування необхідно суворо дотримуватися регламентів внесення, враховуючи швидкість вітру, температуру та вологість повітря. Роботи виконують у ранкові або вечірні години, коли атмосферні умови найменше сприяють дрейфу робочої рідини. Працівникам забороняється

палити, вживати їжу або напої під час роботи, а також перебувати з навітряного боку від обприскувача. Особливу увагу слід звертати на справність обладнання: перед початком робіт необхідно перевірити форсунки, фільтри, шланги, а також герметичність системи подачі рідини.

Після завершення робіт проводиться комплекс заходів із дезактивації та санітарної обробки. Обприскувачі та допоміжний інвентар промивають у спеціально визначених місцях, недопускаючи потрапляння промивних вод у природні водойми чи на території житлових зон. Одяг та засоби індивідуального захисту очищають або замінюють згідно з інструкціями виробника. Працівники повинні прийняти душ та змінити одяг для запобігання можливому накопиченню токсичних залишків на шкірі чи тілі.

Окрему увагу слід приділити заходам першої допомоги. У виробничому приміщенні або на полі має бути доступна аптечка з антидотами (у разі їх наявності для конкретних препаратів), сорбентами та засобами для промивання очей. Персонал повинен бути ознайомлений із симптомами отруєння та правилами дій у випадку аварійної ситуації: негайне припинення роботи, евакуація з небезпечної зони, звернення по медичну допомогу.

Таким чином, системне дотримання вимог безпеки при роботі з гербіцидами зменшує ризики негативного впливу на працівників та довкілля, забезпечує ефективність технологічних процесів і сприяє формуванню відповідального ставлення до використання хімічних засобів у сільському господарстві.

### **5.3. Висновки по розділу**

Аналіз екологічних аспектів застосування гербіцидів показує, що їх використання, попри беззаперечну ефективність у контролі бур'янів, супроводжується потенційними ризиками для компонентів довкілля та здоров'я людини. Гербіциди можуть мігрувати у ґрунтово-водних системах, змінювати діяльність ґрунтової мікробіоти й накопичуватися у біологічних

ланцюгах. Це зумовлює необхідність впровадження ефективних природних і техногенних методів детоксикації, включно з адсорбційними технологіями, біоремедіацією та підсиленням природних процесів розкладання. Комплексний підхід до екологічного контролю дозволяє зменшити небезпеку забруднення та підвищити екологічну стійкість агроecosystem.

Розгляд питань безпеки засвідчив, що дотримання регламентів роботи з гербіцидами є критично важливим чинником мінімізації ризиків для працівників та навколишнього середовища. Правильні умови зберігання препаратів, використання засобів індивідуального захисту, контроль технічного стану обприскувального обладнання та своєчасне виконання санітарної обробки після завершення робіт істотно знижують імовірність отруєнь, аварійних ситуацій і вторинного забруднення. Наявність інструкцій першої допомоги та базових знань персоналу щодо дії гербіцидів є обов'язковою умовою безпечного виробничого процесу.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що екологічна безпека та професійний захист персоналу є взаємопов'язаними елементами раціональної стратегії поводження з гербіцидами. Лише поєднання технологічної дисципліни, екологічно орієнтованих підходів до нейтралізації хімічних залишків і чітких вимог щодо безпеки дозволяє забезпечити сталий розвиток агровиробництва та мінімізувати вплив гербіцидів на природне середовище.

## 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОБПРИСКУВАЧА, ОБЛАДНАНОГО ВІДЦЕНТРОВИМИ РОЗПИЛЮВАЧАМИ

### 6.1. Вихідні дані

Техніко-економічна ефективність є одним із ключових критеріїв оцінювання доцільності впровадження нових технічних рішень у сільськогосподарське виробництво. В умовах зростання вартості матеріально-технічних ресурсів, зокрема мінеральних добрив та паливно-мастильних матеріалів, особливого значення набуває раціональне використання обприскувальної техніки та підвищення якості внесення робочих розчинів. Застосування відцентрових розпилювачів у конструкції обприскувача потенційно дозволяє покращити рівномірність розподілу рідких мінеральних добрив, зменшити втрати препарату та підвищити продуктивність агрегату.

Таблиця 6.1

Вихідні дані до розрахунку

Показники	Варіанти	
	Базовий	Проектний
Вид роботи, що виконується	Обприскування	
Склад агрегату	Беларус-89.2+ ОПШ-2000	Беларус-89.2+ ОПШ-2000М
Обсяг роботи, га	2000	2000
Продуктивність агрегату за годину робочої зміни, га/год.	17,2	21,5
Балансова вартість агрегату, грн.:		
трактора	175000	175000
обприскувача	146300	148000
Всього:	321300	323000
Тривалість зміни, год.	6	6
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
Вартість палива, грн/кг	52	52

## 6.2. Розрахунок показників техніко-економічної ефективності

Метою даного розрахунку є визначення ключових показників ефективності, зокрема річного економічного ефекту та строку окупності модернізованої машини. Користуючись методикою [21] та стандартом [22] обґрунтуємо доцільність впровадження запропонованого вдосконалення у виробничий процес і підтвердимо його економічну раціональність. Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.3

Техніко – економічні показники впроваджуваного проекту

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Обсяг роботи, га	2000	2000
Годинна продуктивність, га/год.	17,2	21,5
Витрати палива на 1 га, кг	0,6	0,4
Балансова вартість агрегату, грн.:		
трактора	175000	175000
обприскувача	146300	148000
Всього:	321300	323000
Нормативне навантаження, год.	116,28	93,02
Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. всього:	36,74	34,24
в т.ч. заробітна плата з нарахуваннями, грн.	10,20	8,17
амортизаційні відрахування, грн.	25,3	25,8
вартість ПММ, грн.	39	26
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	0,5	0,4
інші витрати.	2,25	1,81
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	160,7	161,5
Приведені витрати на 1 га, грн.	101,34	86,40
Річний економічний ефект, грн.	-	29880
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,05

### **6.3. Висновки до розділу**

Отримані результати підтверджують економічну доцільність використання відцентрових розпилювачів для внесення робочих розчинів пестицидів. Це обґрунтовується досягнутим річним економічним ефектом у розмірі близько 30 тис. грн, а також тим, що додаткові капітальні вкладення повністю окупаються протягом одного сезону експлуатації.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розпилювач є одним із визначальних вузлів технічних засобів для обприскування, оскільки саме від його конструкції та режимів роботи залежить ефективність хімічного захисту рослин і зменшення потенційних ризиків, пов'язаних із застосуванням пестицидів.

2. Примусове осаджування краплин у факелі відцентрового розпилювача забезпечує суттєве скорочення витрати робочої рідини — щонайменше у шість разів — без зниження біологічної результативності дії препаратів. Це стає можливим завдяки надійному осадженню дрібнодисперсних краплин та збереженню необхідної густоти покриття робочої поверхні.

3. Аналітичні розрахунки камери закручування дають змогу визначити ключові робочі параметри відцентрових розпилювачів: об'ємну витрату рідини ( $Q = 0,3$  л/хв), кут розкриття факела на радіусі сопла  $91^\circ$ , середній об'ємний діаметр краплин ( $d = 28$  мкм), висоту камери закручування ( $h = 0,006$  м) та інші конструктивно-технологічні характеристики.

4. На основі отриманих даних встановлено, що зі збільшенням тиску робочої рідини від 0,2 до 0,4 МПа її витрата зростає від 0,24 л/хв до 0,33 л/хв. Оптимальний режим роботи для розпилювача з номінальною витратою 0,3 л/хв досягається при тиску 0,3 МПа, за якого фактична витрата становить 0,31 л/хв.

5. Коефіцієнт варіації розподілу рідини у відцентрового розпилювача з витратою 0,3 л/хв знаходився в межах від 28,2 до 67,25 %. Найкраща рівномірність розподілу по довжині штанги зафіксована при тиску 0,3 МПа і висоті встановлення розпилювача 0,4 м — коефіцієнт варіації становив 28,4 %.

6. Поліпшення якості диспергування та збільшення густоти покриття поверхні краплинами дають можливість зменшити норми витрат пестицидів і

робочої рідини на 25–50 %, що повністю відповідає вимогам ультрамалооб'ємного обприскування.

7. У результаті розробки та реалізації плану двофакторного експерименту встановлено оптимальні параметри функціонування розпилювача Р 03.04: тиск  $P = 0,3$  МПа і висота розташування штанги  $h = 0,5$  м, що забезпечують найбільш стабільні показники роботи.

8. Розроблено інструкцію з охорони праці під час роботи з обприскувальним обладнанням, а також сформульовано рекомендації щодо охорони навколишнього середовища та порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

9. Розрахунок економічної ефективності показав доцільність упровадження удосконаленого відцентрового розпилювача у виробництво. Річний економічний ефект становить 7758 грн, що підтверджує перспективність застосування даної конструкції у сільськогосподарській практиці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Машины для хімічного захисту рослин. / За ред. Кравчука В.І., Войтюка Д.Г. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2010. 184 с.
2. Сільськогосподарські машини: підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін.; За ред. Д. Г. Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с.
3. ДСТУ ISO 5682-2:2019. Устаткування для захисту рослин. Обприскувальне устаткування. Частина 2. Методи випробовування гідравлічних обприскувачів. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 11 с.
4. Дунський В.Ф. Пестицидные аэрозоли/ Дунський В.Ф., Никитин Н.В., Соколов М.С. М: Наука, 1982р. - 288 с.
5. Войтюк Д.Г., Барановський В.Н., Булгаков В.Н. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. – К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.
6. В.П. Коваль. Відцентровий розпилювач пестицидів./ В. Коваль, О. Мележик.-Захист рослин. – 1999. - №1, с .21-22.
7. Барановський О. Як підвищити якість внесення та ефективність використання пестицидів./ О. Барановський, М. Грицишин. ІМЕСГ УААН. - Сільськогосподарська техніка. №3 1999.- стор. 32.
8. Озолс Я.Г. Анализ факторов, влияющих на качество работы штанговых опрыскивателей/ Я.Г.Озолс.- Труды ЛСХА, 1987. вып. 239. стр.18.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлением / И.Е. Идельчик. – Л.: Энергия, 1960.
10. Дитякин Ю.Ф. Распыливание жидкостей./Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко, Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин. - М.,: Машиностроение, 1977.- 208 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика/ Гмурман В.Е. – М.: Высшая школа 1977 .

12. Винарский М.С. Планирование эксперимента и технологических исследований/ М.С. Винарский, М.В Лурье. – К.: Техніка, 1975. - 168 с.

13. Лехман С.Д. Довідник з охорони праці у сільському господарстві. Запитання і відповіді /Лехман С.Д., Целинський В.П., Козирев С.М.; За ред. С.Д. Лехман.-К.:Урожай, 1990.-400с.

14. Опрыскиватели и протравливатели: каталог продукции «Кертитоке» Фармгеп КФТ.

15. Сушко І. Підготовка до експлуатації штангових обприскувачів ОПШ-2000/ Сушко І. ВАТ “Львівагромашпроект”. /Техніка АПК Науково-технічний журнал. №1 2001.- стор. 8-9.

16. Масло І. П., Тимошенко С. П., Онуфриенко Ю. Ф. та ін. Механізація захисту рослин. – К.: Урожай, 1989. – 124 с.

17. Методичні рекомендації по економічному обґрунтуванню дипломних проектів для студентів факультету МСГ, що захищають диплом на кафедрі СГМ/Дніпропетр. держ. агр. ун-т. Дніпропетровськ, 2011, 20 с.

18. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М.Сагун, В.Ф.Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності.– Одеса «Видавництво», 2009.-184с.

19. Teejet: Catalog 50-RU – США : Спреинг Системс Ко.,2007.- 193 с.

20.Maas W.: Y.ULV – application and formulation technigues. Amsterdam,1971. -164 с.

21. Методичні рекомендації по економічному обґрунтуванню дипломних проектів для студентів факультету механізації сільського господарства, які захищають диплом на кафедрі сільськогосподарські машини. / ДДАУ. Дніпропетровськ, 2011 20 с.

22. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

# Додатки

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

Демонстраційний матеріал  
До дипломної роботи  
Освітнього ступеня “Магістр”  
на тему:

Обґрунтування параметрів розпилювачів  
пестицидів при малооб’ємному обприскуванні

Виконав: Бобрика Олександр Євгенійович  
студент 2 курсу, групи МГАІ-1-24  
спеціальність 208 “Агроінженерія”  
Керівник: доц. Кобець О.М.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення економічних, експлуатаційних та екологічних показників обприскувачів шляхом використання розпилювачів для малооб'ємного обприскування, відповідаючих агротехнічним вимогам.

Досягається поставлена мета за допомогою вирішення наступних задач:

- Провести аналіз стану та визначити тенденції розвитку агрегатів та технологій обприскування;
- Дослідити гідравлічну характеристику відцентрового розпилювача та розподіл розпиленої рідини по поверхні обробітку;
- Оцінити економічність та надійність розпилювача під час його експлуатації під час польових робіт.

**Об'єкт дослідження** – розпилення робочої рідини відцентровим розпилювачем.

**Предмет дослідження** – розпилення робочої рідини по ширині штанги та об'ємна витрата рідини через розпилювач.

**Методи дослідження.** Математичне моделювання та експериментальне дослідження гідравлічних характеристик розпилювача і розподілу робочої рідини по поверхні зрошення, що виконувалось у лабораторних умовах.

## Аналіз існуючих розпилювачів для внесення пестициду

<p>Розпилювач ХР</p>  <p>щільний</p>	<p>Розпилювач ТТ</p>  <p>щільний</p>	<p>Розпилювач TRJ 60</p>  <p>щільний</p>	<p>Розпилювач ХРС</p>  <p>щільний</p>
<p>Розпилювач ТТІ</p>  <p>інжекторний</p>	<p>розпилювач АІС</p>  <p>інжекторний</p>	<p>Розпилювач АХР</p>  <p>інжекторний</p>	<p>Розпилювач АІТТ J60</p>  <p>інжекторний</p>
<p>Розпилювач SJ3</p>  <p>для внесення КАС</p>	<p>Розпилювач SJ7</p>  <p>для внесення КАС</p>	<p>Розпилювач ТР</p>  <p>дефлекторний</p>	<p>Розпилювач ТК</p>  <p>дефлекторний</p>

## ТЕОРИТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

4

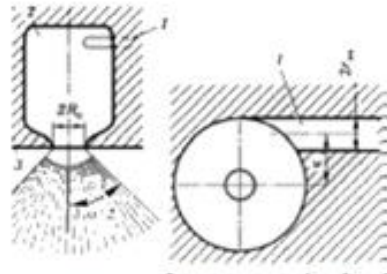


Схема відцентрового розпилювача:  
1 — тангенціальний входний канал, 2 — камера закручування, 3 — вихідне сопло

У результаті аналізу потоку рідини в розпилювачі з використанням «принципу максимальної витрати» (згідно з яким усю площу відцентрового розпилювача утворюється повітряний вихор такого радіуса, за якого коефіцієнт витрати при такому напорі набуває максимального значення) отримано систему з трьох рівнянь. Ця система дає змогу визначити коефіцієнт витрати відцентрового розпилювача  $\mu$ , кут при вершині його факела  $\alpha$  і коефіцієнт заповнення сопла  $\varphi$ . При цьому під факелом розпиленої рідини розуміють двофазний струмінь (рідина + газ), який утворюється

наслідок розпаду рідинної плівки струменя і взаємодії потоку краплин з навколишнім азотним середовищем.

Основні характеристики відцентрових розпилювачів визначаються такими залежностями:

$$\mu = \sqrt{\varphi^3 / (2 - \varphi)};$$

$$\frac{(1 - \varphi)\sqrt{2}}{\varphi\sqrt{\varphi}} = A;$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{2\mu A}{\sqrt{(1 + S)^2 - 4\mu^2 A^2}};$$

де  $A = LR_c/m^2$  - «геометрична характеристика», розпилювача;

$S = r_m/R_c$  - безрозмірний радіус вихору на зрізі сопла;

$n$  - число входних каналів 1;

$r_m$  - внутрішній радіус вихору.

Коли перерізи входних каналів не круглі вираз для геометричної характеристики

приймає вигляд

$$A = \frac{LR_c \sin \beta}{nf_{ex}}$$

де  $f_{ex}$  - площа поперечного перерізу входного каналу;

$\beta$  - кут між напрямком входного каналу і віссю сопла.

Витрату рідини (продуктивність відцентрового розпилювача) визначають за такою залежністю, л/хв:

$$q = \mu 0,06 f_c \sqrt{2gp}.$$

де  $\mu$  — коефіцієнт витрати;  $f_c$  — площа перерізу вихідного сопла розпилювача, мм<sup>2</sup>;  $g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $p$  — тиск рідини, мм водяного стовпчика.

Об'ємну витрату води у літрах за хвилину визначали за формулою:

$$Q = \frac{60V}{\tau},$$

де  $V$  – об'єм води в мірному циліндрі, л;

$\tau$  – час, с.

Максимальна похибка при визначенні об'ємної витрати води при  $V = 1$  л,  $\tau = 60$  с склала  $\frac{\delta Q}{Q} = \left| \frac{\delta V}{V} \right| + \left| \frac{\delta \tau}{\tau} \right| = \frac{0,010}{1000} + \frac{0,2}{60} \approx 0,003$ , або 0,3 %, тоді як має бути не більшою ніж 1 %.

Рівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги оцінюють коефіцієнтом варіації :

$$V = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100,$$

де  $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  – середньоквадратичне відхилення об'єму води в мірних

стаканах,  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  – середньоарифметичне значення об'єму у мірних

стаканах, де  $x_i$  – об'єм води в  $i$ -му мірному стакані;  $n$  – кількість мірних стаканів між осями крайніх розпилювачів.



## Програма та методика експериментальних досліджень

У програмі експериментальних досліджень передбачалося визначення наступних параметрів:

- об'ємну витрату води через розпилювач;
- Ширину факелу розпилу;
- Розподіл рідини по довжині штанги;
- Коефіцієнт варіації розподілу рідини по довжині штанги.

Методика досліджень:

- бробка даних проводилась з використанням Microsoft Exel 2016,
- аналіз даних виконувався з використанням MS Office (WORD/Exel).

Експерименти проводилися на гідравлічному стенді. На ньому при зміні тиску від 0,2 до 0,4 Мпа та висоти від 0,40 до 0,60 м проводили забір рідини, в нашому випадку води, у жолобки стікаючи по яких вода потрапляла у мірні циліндри об'ємом 250 мл. Час проведення дослідів контролювали секундоміром. Кожний дослід проводився три рази. При цьому визначалися та вносились до таблиці такі параметри, як тиск в напірному трубопроводі, витрата рідини через розпилювач, розподіл рідини по ширині факела та штанги.

## Об'єкт дослідження

Дослідження проводилися при тиску 0,2; 0,3; 0,4 МПа на висоті 0,4; 0,5 та 0,6 м. дослідними зразками був комплект відцентрових розпилювачів з витратою рідини  $Q=0,3$  л/хв «Агромодуль»

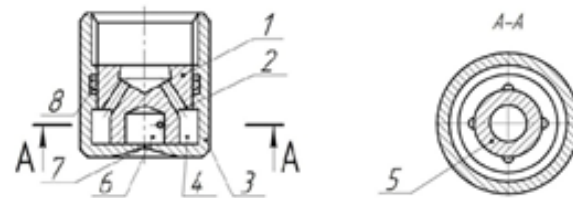
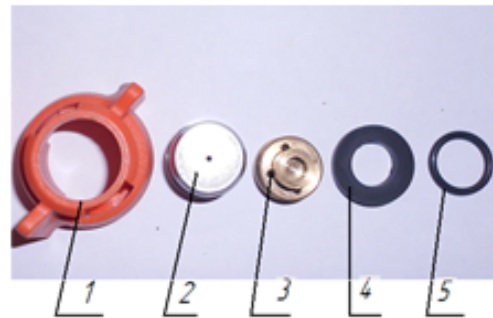


Схема відцентрового розпилювача

1 - завихрювач; 2 - канал завихрювача; 3 - втулка;  
4 - кільцевий колектор; 5 - дотичні канали; 6 - камера;  
7 - сопловий отвір; 8 - еластичне кільце



Складові частини розпилювача

1 - байонетка; 2 - корпус; 3 - завихрювач;  
4 - ущільнювач; 5 - гумове кільце

Розпилювач має в своєму складі завихрювач 1 з каналами 2, втулку 3, кільцевий колектор 4, з'єднаний круглими дотичними каналами 5 з камерою 6. Втулка має сопловий отвір 7 і проточку, в якій розміщене кільце 8 з еластичного матеріалу.

Рідина під тиском подається на завихрювач 1 і по вхідним отворам 2 перетікає в кільцевий колектор 4, з якого по круглим дотичним каналам 5 поступає в камеру 6. Внаслідок закручування в камері в сопловому отворі утворюється плівка рідини, яка при витіканні розпадається на краплини, що попадають на об'єкт, який обробляється.

Загальний  
вигляд  
розпилювача



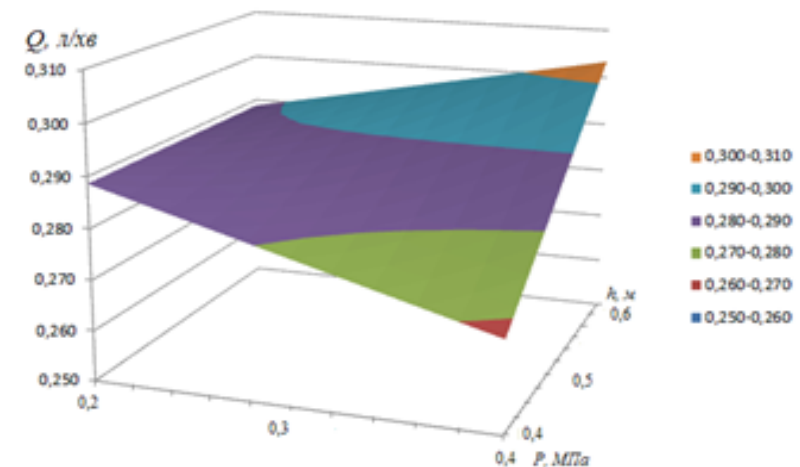
## РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

При дослідженні технічних систем основних двох факторів (змінних) можна застосувати математичне планування експерименту. Основними факторами, що впливають на витрату рідини є тиск ( $P$ , МПа) та висота штанги ( $h$ , м).

Вплив цих факторів досліджується за загальною схемою при трьох рівнях кожного з них. Значення змінних встановлюють таким чином, щоб при переведенні в умовний масштаб вони відповідали умовним одиницям -1; 0; +1. При розробці математичної моделі впливу факторів які ми досліджуємо будують схему планування експерименту при двох змінних: тиск  $P$  та висота  $h$ . Складаємо схему розрахунку з урахуванням експериментальних даних.

№ експерименту	Значення параметру				
	Умовних одиниць		Реальне значення		
	$X_1$	$X_2$	$P$ , МПа	$h$ , м	$Q$ , л/хв
1	-1	-1	0,2	0,4	0,290
2	-1	0	0,225	0,425	0,240
3	-1	+1	0,25	0,45	0,330
4	0	-1	0,275	0,475	0,240
5	0	0	0,3	0,5	0,290
6	0	+1	0,325	0,525	0,336
7	+1	-1	0,35	0,55	0,240
8	+1	0	0,375	0,575	0,298
9	+1	+1	0,4	0,6	0,320

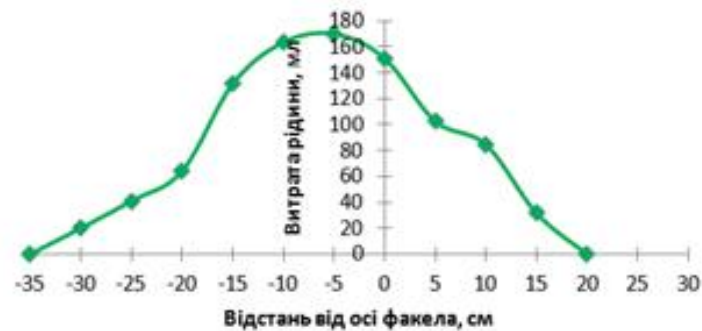
Схема планування експерименту  
для двох компонентів



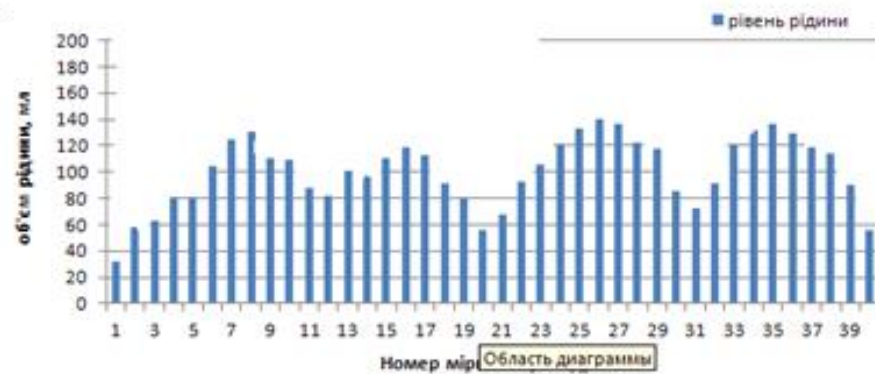
Поверхня відгуку значення витрати рідини  
при різних значеннях тиску  $P$  та висоти  $h$

## Розподіл розпиленої рідини по довжині факела та штанги

Нерівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги для розпилювачів, що були встановлені через 0,5 м, досліджували на гідравлічному стенді.



Графік розподілу рідини по довжині факелу при  $P=0,3$  МПа



Графік розподілу рідини по довжині штанги, при  $P=0,3$  МПа;  
 $h=0,5$  м



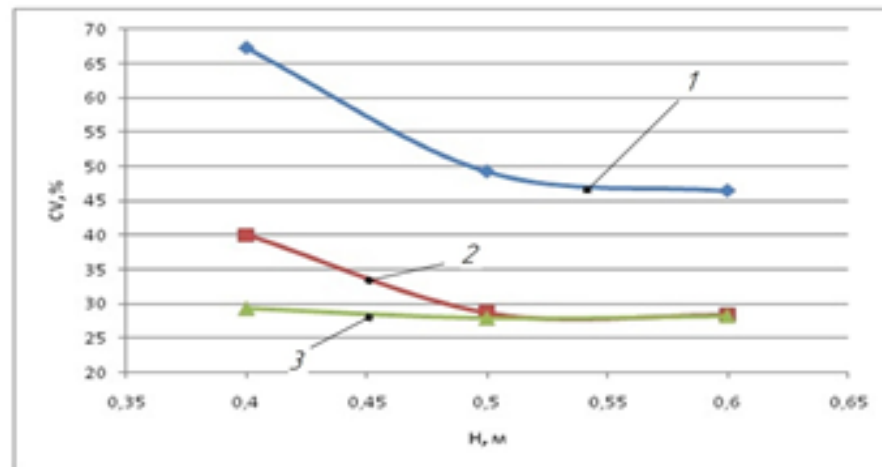
Фото розподілу рідини одного розпилювача при  $P=0,3$  МПа,  $h=0,5$  м



Фото гідравлічного стенду під час дослідження рівномірності розподілу рідини по довжині штанги

## Визначення коефіцієнта варіації

Заміри проводили при висоті штанги над поверхнею зрошення від 0,4 до 0,6 м при тиску 0,3 МПа. Коефіцієнт варіації склав 39,97, 28,7 і 28,4 %, відповідно.



Залежності коефіцієнту варіації розподілу від висоти розташування розпилювача для тиску: 1 - 0,2 МПа;  
2 - 0,3 МПа ; 3 - 0,4 МПа.

На графіку видно, що для відцентрового розпилювача з теоретичною витратою рідини 0,3 л/хв за умови тиску 0,3 МПа коефіцієнт варіації розподілу рідини по довжині штанги 28,4 – 39,97% при висоті 0,4 – 0,6 м.

Мінімальний коефіцієнт варіації розподілу рідини по довжині штанги при тиску 0,3 МПа і висоті розпилювача над поверхнею, що обробляється 0,4 м дорівнював 28,4 %. Дослідження проводилися при температурі повітря 22 °С, відносній вологості повітря 54 %.



### БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПІД ЧАС ОБВРІСКУВАННЯ

1. Під час наземного обприскування рослини санітарно-захисна зона повинна бути не меншою ніж 300 м;

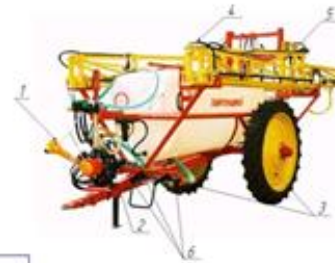
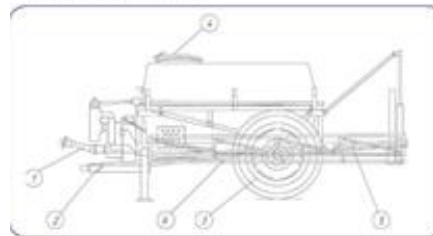
2. Обприскування із застосуванням штангових тракторних обприскувачів дозволяється за швидкості вітру не більшої ніж 3 м/с (дрібнокраплинне) і 4 м/с (велизнокраплинне). Зв'язок допустимої швидкості вітру і дисперсності розпилення пестициду відстежується і у вимогах до швидкості руху обприскувача, яка встановлюється у залежності від розпилювача:

- для шлангового, в тому числі з ежекцією повітря – 12 км/год.
- для дефлекторного – 25 км/год.
- для відцентрового – 30 км/год.

Обмеження швидкості вітру або руху обприскувача зумовлене можливим перевищенням концентрації шкідливих речовин, безпосередньо у зоні обприскування або на прилеглих територіях.

3. Велика увага приділяється безпеці обслуговування розпилювачів, зокрема очищення від засмічення фільтрів і соплового отвору, коли персонал контактує із забрудненими складовими обприскувача.

- забороняється очищення фільтру розпилювача чи самого розпилювача за допомогою продування ротом. У випадках засмічення дозволяється промивати, або промивати водою, прочищати спеціальною щіткою.



Зона	Небезпечний фактор	Знак чи символ небезпеси	Заходи по запобігненню травматизму
1	Деталі передач, що обертаються (кардан)		Не допускається експлуатація агрегату без захисних кожухів
2	Агрегат, що рухається		Забороняється знаходитися ближче 5 м від агрегату, що рухається в транспортному положенні
3	Колеса машини		При рушії агрегату встановити противідкатні колодки
4	Небезпечна зона (Висота)		Забороняється знаходитися під час роботи агрегату
5	Хімічні речовини (пестициди)		Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту при роботі з отрутохімікатами
6	Розпилювачі, фільтри розпилювачів		При заміні або очищенні розпилювачів обов'язкове використання рукавиць та спеціальних інструментів для очищення

## Техніко – економічні показники впроваджуваного проекту

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Обсяг роботи, га	2000	2000
Годинна продуктивність, га/год.	17,2	21,5
Витрати палива на 1 га, кг	0,6	0,4
Балансова вартість агрегату, грн.:		
трактора	175000	175000
обприскувача	146300	148000
Всього:	321300	323000
Нормативне навантаження, год.	116,28	93,02
Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. всього:	36,74	34,24
в т.ч. заробітна плата з нарахуваннями, грн.	10,20	8,17
амортизаційні відрахування, грн.	25,3	25,8
вартість ПММ, грн.	39	26
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	0,5	0,4
інші витрати.	2,25	1,81
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	160,7	161,5
Приведені витрати на 1 га, грн.	101,34	86,40
Річний економічний ефект, грн.	-	29880
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,05

# Висновки

- Розпилювач є одним із визначальних вузлів технічних засобів для обприскування, оскільки саме від його конструкції та режимів роботи залежить ефективність хімічного захисту рослин і зменшення потенційних ризиків, пов'язаних із застосуванням пестицидів.
- Примусове осаджування краплин у факелі відцентрового розпилювача забезпечує суттєве скорочення витрати робочої рідини — щонайменше у шість разів — без зниження біологічної результативності дії препаратів. Це стає можливим завдяки надійному осадженню дрібнодисперсних краплин та збереженню необхідної густоти покриття робочої поверхні.
- Аналітичні розрахунки камери закручування дають змогу визначити ключові робочі параметри відцентрових розпилювачів: об'ємну витрату рідини ( $Q = 0,3$  л/хв), кут розкриття факела на радіусі сопла  $91^\circ$ , середній об'ємний діаметр краплин ( $d = 28$  мкм), висоту камери закручування ( $h = 0,006$  м) та інші конструктивно-технологічні характеристики.
- На основі отриманих даних встановлено, що зі збільшенням тиску робочої рідини від 0,2 до 0,4 МПа її витрата зростає від 0,24 л/хв до 0,33 л/хв. Оптимальний режим роботи для розпилювача з номінальною витратою 0,3 л/хв досягається при тиску 0,3 МПа, за якого фактична витрата становить 0,31 л/хв.
- Коефіцієнт варіації розподілу рідини у відцентрового розпилювача з витратою 0,3 л/хв знаходився в межах від 28,2 до 67,25 %. Найкраща рівномірність розподілу по довжині штанги зафіксована при тиску 0,3 МПа і висоті встановлення розпилювача 0,4 м — коефіцієнт варіації становив 28,4 %.
- Поліпшення якості диспергування та збільшення густоти покриття поверхні краплинами дають можливість зменшити норми витрат пестицидів і робочої рідини на 25–50 %, що повністю відповідає вимогам ультрамалооб'ємного обприскування.
- У результаті розробки та реалізації плану двофакторного експерименту встановлено оптимальні параметри функціонування розпилювача Р 03.04: тиск  $P = 0,3$  МПа і висота розташування штанги  $h = 0,5$  м, що забезпечують найбільш стабільні показники роботи.
- Розроблено інструкцію з охорони праці під час роботи з обприскувальним обладнанням, а також сформульовано рекомендації щодо охорони навколишнього середовища та порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій.
- Розрахунок економічної ефективності показав доцільність упровадження удосконаленого відцентрового розпилювача у виробництво. Річний економічний ефект становить 7758 грн, що підтверджує перспективність застосування даної конструкції у сільськогосподарській практиці.