

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**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 і режимів роботи розпилювача агрохімікатів**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-1-19  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Сокол Тарас Анатолійович

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

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2020

# ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Тракторів і сільськогосподарських машин  
Освітній ступінь: "Магістр"  
Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

## ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

**Соколу Тарасу Анатолійовичу**  
**(прізвище, ім'я, по батькові)**

**1. Тема роботи:** Обґрунтування параметрів і режимів роботи розпилювача агрохімікатів

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «8» жовтня 2020 року  
№ 2556

**2. Строк подання студентом роботи:** 4.12.2020 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	Кравець В.В., доцент		
6	Вініченко І.І., проф.		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 8.10.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 25.10.2020 р.	
2	Теоретичний	до 30.10.2020 р.	
3,4	Експериментальний	до 10.11.2020 р.	
5	Охорона праці	до 20.11.2020 р.	
6	Економічний	до 25.11.2020 р.	
7	Демонстраційна частина	до 04.12.2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Сокол Тарас Анатолійович. Обґрунтування параметрів і режимів роботи розпилювача агрохімікатів.

Випускна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 - Агроінженерія. – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, 2020.

Розрахунково-пояснювальна записка містить сторінки машинописного тексту та слайдів демонстраційного матеріалу.

В першому розділі роботи розглянуті існуючі технології внесення робочої рідини пестицидів, конструкцію та параметри сучасних розпилюючих пристроїв. За результатами першого розділу були обрані напрямки подальших досліджень.

В другому розділі роботи розроблено математичну модель руху і випаровування краплини у факелі та приведено методики розрахунку геометричних та гідравлічних характеристик розпилювачів.

Третій розділ роботи присвячений розробці програми та методики проведення експериментальних досліджень.

В четвертому розділі за розробленою програмою та методикою приведено результати аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень і їх аналіз.

В п'ятому розділі проведено аналіз травматизму при роботі удосконаленого обприскувача та розроблено карту безпеки праці під час випробувань розпилювачів на лабораторному стенді.

В шостому розділі виконано розрахунки техніко-економічних показників впровадження запропонованого відцентрового розпилювача.

Ключові слова: *розпилювач, пестициди, обприскувач, дисперсність, витрата, коефіцієнт варіації, економічна ефективність.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Аналіз способів хімічного захисту рослин.....	7
1.2. Аналіз існуючих розпилюючих пристроїв.....	9
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВИМ РОЗПИЛЮВАЧЕМ .....	18
2.1. Фізичні уявлення про взаємодію краплини з поверхнею зрошення.....	18
2.2. Математичне моделювання руху і випаровування краплин у факелі .....	23
2.3. Розрахунок параметрів форми і розмірів камери закручування.....	34
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРИЛАДИ ТА ОБЛАДНАННЯ.	
3.1. Програма та методика досліджень.....	44
4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ.....	51
4.1. Розрахунок параметрів форми і розмірів камери закручування.....	51
4.2. Розрахунок гідравлічної і дисперсної характеристики .....	54
4.3. Витрата рідини .....	56
4.4. Розподіл розпиленої рідини по довжині штанги .....	58
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	64
5.1. Пестициди та їх вплив на людину .....	64
5.2. Загальні відомості про науково-дослідну лабораторію ....	64
5.3. Розрахунок захисного заземлення лабораторного стенду для дослідження розпилювачів.....	67
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ОБПРИСКУВАЧА, ОБЛАДНАНОГО ВІДЦЕНТРОВИМИ РОЗПИЛЮВАЧАМИ.....	71
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	78
ЛІТЕРАТУРА.....	80
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва та широке впровадження механізованих технологій вирощування польових культур вимагає раціонального використання хімічних засобів захисту рослин. Значне різноманіття ґрунтово-кліматичних умов, метеорологічних факторів, забрудненість полів багатьма видами бур'янів, великий набір культурних рослин і багато інших факторів обумовлюють необхідність впровадження сучасних машин для захисту рослин. Обприскування є базовою технологією хімічного захисту рослин – згідно з опублікованими даними розпиляється 77 % пестицидів. Світове виробництво пестицидів досягло 2,2 млн тонн діючої речовини на рік, що складає 2,3 кг препаративної форми на гектар ріллі, а сільське господарство продовжує втрачати до 35 % запланованого врожаю через шкідливі організми [1].

Очевидною є вимога енергозбереження: високодисперсне розпилення за умови низького тиску та осаджування краплин з мінімальними втратами через випаровування, знесення і зісковзування з об'єктів обприскування.

Підвищення ефективності використання пестицидів є актуальним для сільськогосподарського виробництва.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення економічних, експлуатаційних та екологічних показників обприскувачів шляхом використання розпилюючих пристроїв, які відповідають всім агротехнічним вимогам.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних завдань:

- провести аналіз стану та визначити тенденції розвитку техніки і технологій обприскування;
- дослідити гідравлічну характеристику відцентрового розпилювача та розподіл розпиленої рідини по поверхні зрошення;

– оцінити економічність, надійність та довговічність розпилювача під час його експлуатування на обприскувачі.

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

**Предмет дослідження** – розподіл рідини по довжині штанги та об’ємна витрата рідини через розпилювач.

**Методи дослідження.** Експериментальне дослідження гідравлічних характеристик розпилювача і розподілу розпиленої рідини по поверхні зрошення виконувалося у лабораторних умовах на стенді.

**Особистий внесок здобувача.** Проведено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку технічних засобів застосування пестицидів обприскуванням. Визначено напрямки та обрано методи досліджень. Проведено експериментальні дослідження у лабораторних умовах.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Результати досліджень доповідалися на кафедрі такторів і сільськогосподарських машин Дніпровського державного аграрно-економічного університету, (Дніпро, 2020 рік).

**Публікації.** Результати магістерської роботи відображені в тезах доповіді IV міжнародної науково-практичної конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва», Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, м. Харків 26-27.11.2020 р.

# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА НАПРЯМКІВ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1. Аналіз способів хімічного захисту рослин.

Обприскування є одним з основних способів застосування пестицидів для захисту сільськогосподарських культур. Він полягає в нанесенні на поверхню рослин, ґрунт розпилених пестицидів або їх робочих рідин: розчинів, суспензій, емульсій.

Розрізняють звичайне, малооб'ємне та ультрамалооб'ємне обприскування [2].

При звичайному витрата робочої рідини становить 1000-2000 л/га в саду, 200-400 на польових культурах, 600-800 л/га на виноградниках. Таке обприскування малопродуктивне і потребує значних затрат праці.

Витрата робочої рідини при малооб'ємному обприскуванні, порівняно із звичайним, зменшується в 3-и рази, а пестицидів залишається незмінною, але збільшується їх концентрація.

При ультрамалооб'ємному обприскуванні застосовують заводські препарати, процес приготування робочих рідин повністю виключається, витрата їх становить 5-25 л/га в садах і на виноградниках та 0,5-3 л/га на польових культурах.

Технічні засоби застосування пестицидів поділяються на такі групи: обприскувачі, обпилювачі, аерозольні генератори, фумігатори, протруювання.

*Обприскувачі* поділяються на авіаційні, що монтуються на літаки, гелікоптери та дельтаплани, і наземні. Наземні обприскувачі діляться на автомобільні, тракторні та самохідні.

*Обпилювання* полягає в нанесенні на листову поверхню сільськогосподарських рослин сухих порошкоподібних пестицидів. Обпилювання менш трудомісткий та більш продуктивний, порівняно з обприскуванням, спосіб застосування пестицидів. Однак він має і суттєві



недоліки: недостатнє прилипання порошку до листової поверхні рослин призводить до збільшення (у кілька разів) витрати пестицидів, навіть при малій швидкості вітру (2-3 м/с) порошок обсипається з рослин і заноситься вітром на значні відстані [2].

За призначенням обпилювачі – універсальні машини. За типом привода поділяються на тракторні, авіаційні та ранцеві.

Зі створенням малооб'ємних і ультрамалооб'ємних обприскувачів, що забезпечують високодисперсне розпилювання робочої рідини без використання високої температури, інтерес до термомеханічних аерозолів зменшився, їх застосовують для обробки закритих приміщень, а також лісових насаджень у районах, віддалених від населених пунктів. Для потреб сільськогосподарського виробництва системою машин передбачено випуск однієї моделі аерозольного генератора.

*Фумігація* полягає в застосуванні пестицидів, що швидко випаровуються, проти найнебезпечніших збудників хвороб кореневої системи виноградників та шкідників чайних плантацій і цитрусових насаджень. Цей спосіб, здебільшого, застосовують для знезаражування ґрунту.

Фумігатори бувають ручні й тракторні. За характером технологічного процесу їх поділяють на безперервної та порційної дії, а за призначенням - на ґрунтові й наземно-наметні.

*Протруювання* – обов'язкова операція при вирощуванні сільськогосподарських культур, що проводиться з метою захисту насіння від хвороб та шкідників. Протруювання запобігає появі і поширенню багатьох захворювань рослин у період їх росту.

Розрізняють хімічне протруювання і термічне знезаражування. Хімічне протруювання проводять безпосередньо перед сівбою або завчасно. Воно полягає в обпилюванні насіння сухими порошкоподібними або змочуванні його рідкими пестицидами. Залежно від цього розрізняють сухе, мокре та зволожене (напівсухе) протруювання.

Застосовують два способи термічного знезаражування насіння: однофазний і двофазний. При однофазному способі насіння витримують у гарячій (45 – 47 °С) воді протягом 2 год., охолоджують його і просушують, а при двофазному – попередньо намочують у теплій (28 – 30 °С) воді протягом 4 годин (перша фаза), потім активно прогрівають 8 хвилин у гарячій (50 – 53 °С) воді (друга фаза), охолоджують і просушують.

## 1.2. Аналіз існуючих розпилюючих пристроїв.

Спеціалізуються на виробництві розпилювачів компанії Albus (Франція), Delavan, Lurmark (Великобританія), Agrotop, Lechler (Німеччина), Spraying Systems (США). Щілинний розпилювач торгової марки Teejet, розроблений компанією Spraying Systems, вже більше 50 років застосовується на штангових обприскувачах. Норми витрати пестицидів та робочої рідини при обприскуванні визначені для даного типу розпилювачів. Виготовлення щілинних розпилювачів заводом Львівсільмаш (Україна) на сьогодні припинено із-за низької якості керамічних сопел.

Щілинний розпилювач (рис. 1.1) по осі соплового отвору має циліндричний канал, що закінчується порожниною куполоподібної форми з клиноподібним прорізом, який спільно з порожниною утворює сопловий отвір складної просторової форми [3].

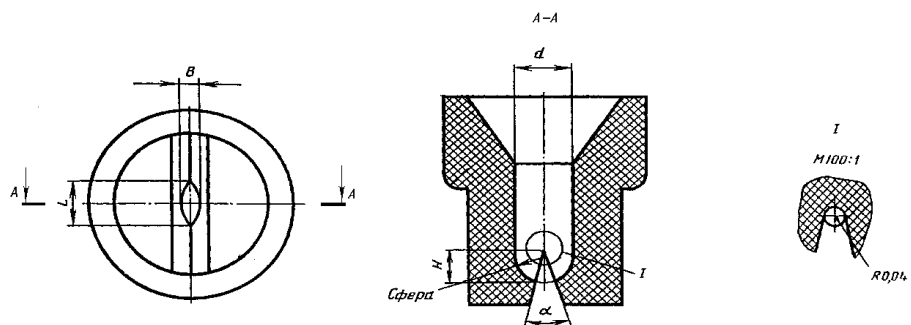


Рис. 1.1. Схема щілинного розпилювача

Рідина через циліндричний канал потрапляє в порожнину куполоподібної форми і витікає з соплового отвору, набуваючи форми плоскої плівки, яка розпадається на краплини.

Дефлекторний розпилювач (рис. 1.2) має форму циліндра з каліброваним циліндричним каналом, в кінці якого перпендикулярно осі розпилювача виконано виріз складної просторової форми, що включає дефлекторну поверхню.

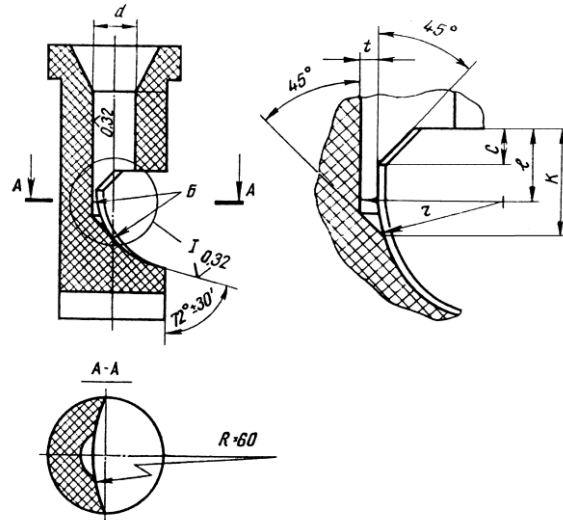


Рис. 1.2. Схема дефлекторного розпилювача ПОТ 27.000

Рідина під тиском через калібрований циліндричний канал потрапляє на дефлекторну поверхню, де змінює напрямок руху та набуває форми віялоподібної плоскої плівки, яка по мірі віддалення від сопла стає тоншою і подрібнюється на краплини.

Принцип дії відцентрових розпилювачів однаковий. Рідина під тиском поступає до камери закручування, де набуває обертального руху, і виходить з соплового отвору у вигляді плівки, яка, віддаляючись від сопла, тоншає і розпадається на краплини, утворюючи полий конічний факел, забезпечуючи вихід струменю рідини з соплового отвору не тільки з осьовою складовою швидкості, а й з радіальною.

Відцентровий розпилювач [4] з аксіальним підводом рідини до камери закручування через шнековий завихрювач показано на рис. 1.3. Цей розпилювач складається з корпусу і завихрювального осердя. На поверхні осердя є двоходова нарізка прямокутного перерізу, яка спільно з корпусом

утворює гвинтові канали. У корпусі виконано сопловий отвір у вигляді усіченого конусу.

Рідина, проходячи під тиском по гвинтових каналах осердя, набуває у камері завихрення обертального руху і виходить зі соплового отвору у вигляді конічної плівки, яка, віддаляючись від сопла, тоншає і розпадається на краплини, утворюючи полий конічний факел.

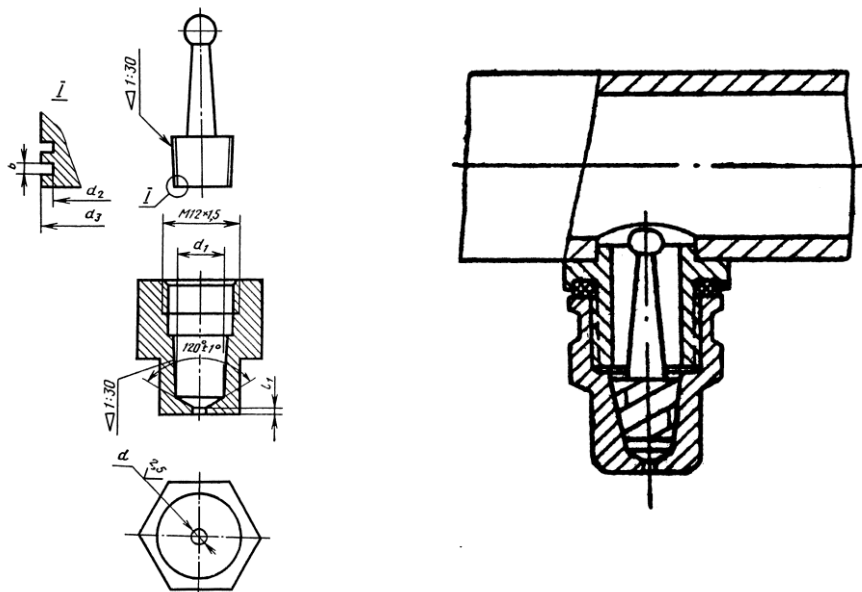


Рис. 1.3. Схема відцентрового розпилювача зі шнековим завихрювачем

Відцентрові розпилювачі серії РЦ-3 і Н.059 (рис. 1.4) конструктивно між собою схожі. Вхідний канал у цих розпилювачів один, знаходиться безпосередньо у корпусі 1 і входить до камери закручування дотично циліндричній поверхні. Розпилювачі серії РЦ-3 мають циліндричну камеру закручування, а сопло з боку камери закручування – сферичну виїмку. Сопло ущільнюється в корпусі гумовим кільцем і фіксується в спеціальному пазові на корпусі. Досвід експлуатування показав недосконалість такого ущільнення. Сопловий отвір розпилювача Н.059 виготовлений безпосередньо в корпусі. Камера закручування обмежена по висоті конусною заглушкою з нарізкою і за формою є усіченим конусом.

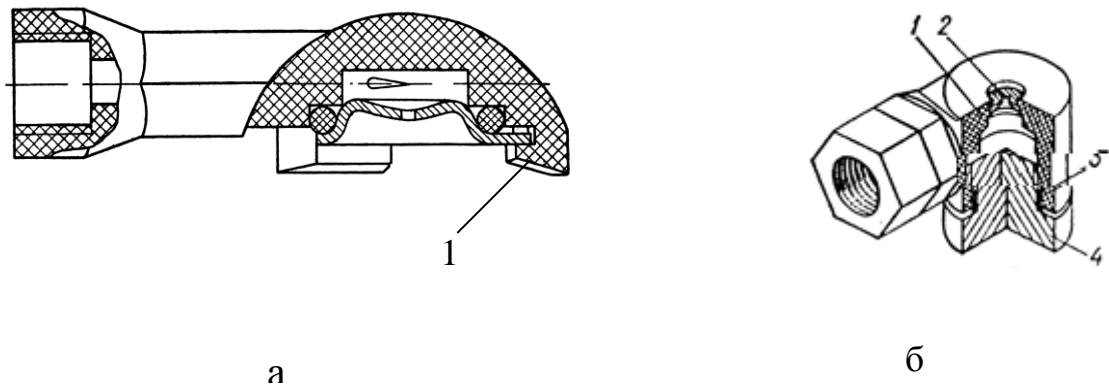


Рис. 1.4. Схема відцентрового розпилювача: а – РЦ-3, б – Н.059

Відцентровий розпилювач з дисковим завихрювачем має аксіальний підвід рідини до камери закручування через диск з вхідними каналами під кутом до камери (рис. 1.5). Камера закручування має циліндричну форму з конусом до сопла. Розміри вхідних каналів і соплового отвору визначають витрату рідини.

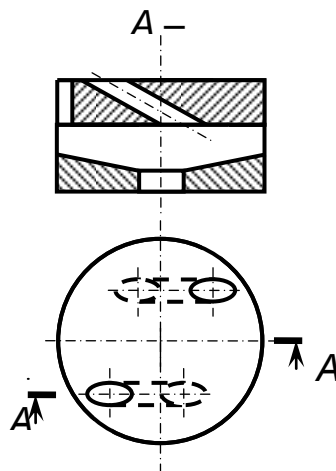


Рис. 1.5. Схема відцентрового розпилювача з дисковим завихрювачем

Відцентровий розпилювач з підводом рідини до камери закручування через тангенціальні канали прямокутної форми показано на рис. 1.6. Сопло має форму диска з сопловим отвором по осі. На диску підведення рідини виконано виступ, який змінює циліндричну форму камери закручування і впливає на дисперсність розпилення. Сопло ущільнюється в корпусі спільного з завихрювачем та диском підведення рідини притисненням штуцером з нарізкою. Складність забезпечення одночасного ущільнення п'яти складових розпилювача

та не прогнозовані перетікання рідини унеможливили широке застосування такого розпилювача.

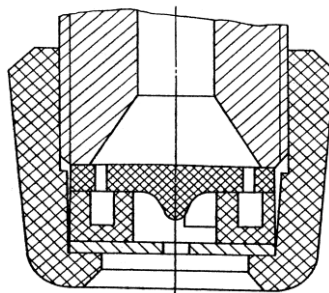


Рис. 1.6. Схема відцентрового розпилювача з тангенціальними каналами прямокутної форми

Механічний дисковий розпилювач (рис. 1.7) має частоту обертання диска від 16 до 200  $\text{с}^{-1}$  і приводиться в дію електричним, пневматичним чи гідравлічним двигуном. Край диска може виготовлятися як перфорація чи циліндр з сіткою.

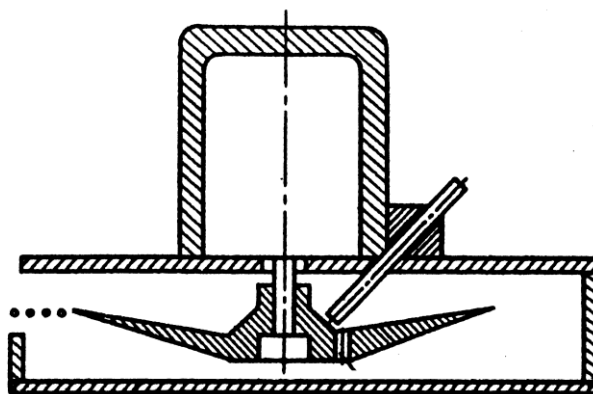


Рис. 1.7. Схема механічного дискового розпилювача

Рідина, що надходить під невеликим тиском, потрапляючи на поверхню диска, розтікається на плівку і під дією відцентрової сили переміщається на край диска, утворюючи рідинний тор з збуреними ділянками, з яких формуються відростки, перетворюючись в подальшому в основну краплину, з'єднану з тором рідинною ніжкою. Під час відриву основної краплини рідинна ніжка подрібнюється на краплини-супутники, значно менші за розміром від основної краплини. Зі збільшенням витрати рідини відростки не встигають

перетворитися на краплини і витягуються в довгі нитки. На певній відстані від краю диска вони розпадаються на практично однакові за розміром основні краплини, а тонкі перемички подрібнюються на краплини-супутники. З подальшим збільшенням витрати рідини з диска сходить суцільна плівка, яка подрібнюється на нитки і краплини різних розмірів. Швидкість обертання диска визначає товщину плівки, яка впливає на розміри основних краплин.

Дослідження ВІЗР і ВНДІ фітопатології, що проводяться з 60-х років минулого сторіччя, показали, що дисковий розпилювач може забезпечити монодисперсне розпилення робочої рідини за умови ультрамалооб'ємного обприскування, але складнощі технічної реалізації перешкоджають широкому впровадженню цих розпилювачів.

Компанія Spraying Systems розпочала виробництво розпилювачів серії Turbo TeeJet, у яких дросель і щілинний сопловий отвір зміщено в протилежні сторони від вісі розпилювача а (рис. 1.8). Такий захист щілинного соплового отвору від прямого попадання механічних домішок дозволяє збільшити ресурс розпилювача та зменшити вірогідність його відмови через засмічення. Розпилювачі серії Turbo TwinJet мають два щілинні соплові отвори, що рівновіддалені від осі розпилювача (рис. 1.8, б).

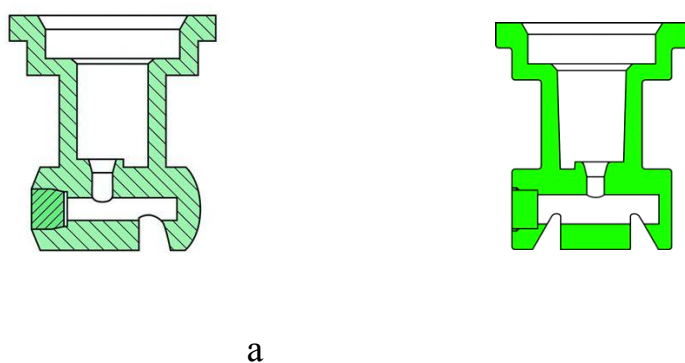


Рис. 1.8. Схема щілинного розпилювача:

а – Turbo TeeJet, б – Turbo TwinJet

Незважаючи на значне зменшення розмірів соплових отворів в порівнянні з одним сопловим отвором при тій же витраті, розпилення через два

соплові отвори, що утворюють кут  $60^\circ$ , дозволяє покращити покриття краплинами нижніх листків рослин.

Інжекторний щілинний розпилювач (рис. 1.9) запропоновано компанією Agrotop. Робоча рідина під тиском проходить через калібрований отвір і у трубці Вентурі змішується з повітрям, яке всмоктується до розпилювача. Великі краплини, що утворюються під час розпилення менше піддаються впливу вітру і, на думку спеціалістів компанії, за наявності у них повітря, подрібнюються при зіткненні з поверхнею зрошення. Аналогічні за принципом дії та з незначними конструктивними відмінностями розпилювачі виготовляють інші компанії, в тому числі Albus, Lechler, Spraying Systems.

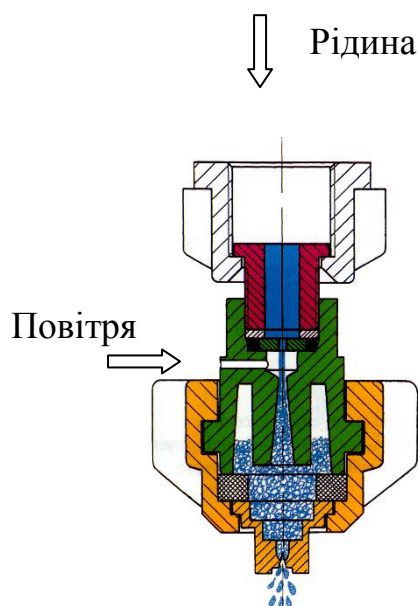


Рис. 1.9. Схема інжекторного щілинного розпилювача компанії Agrotop

З метою зменшення норм витрати пестицидів у Росії проводяться роботи по покращенню дисперсності розпилення механічним дисковим розпилювачем. За даними під час дискового розпилення, окрім основних крапель, утворюються краплини-супутники, частка яких може складати 10 % маси розпиленої рідини. Для зменшення кількості дрібних крапель-супутників при дисковому розпиленні ВІЗР і ВНДІ фітопатології спільно розробили



пристрій для відбору з факелу розпиленої рідини краплин-супутників (рис. 1.10).

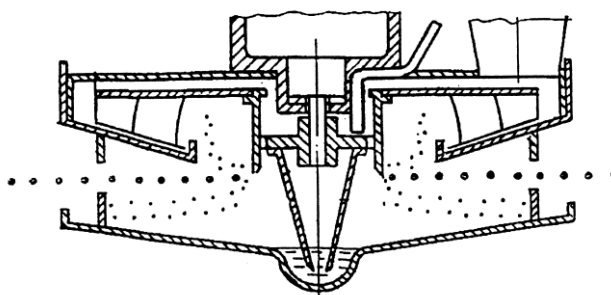


Рис. 1.10. Схема механічного дискового розпилювача з пристроєм для відбору дрібних краплин

Механічний дисковий розпилювач, який утворює 80 % краплин від 80 до 250 мкм при витраті робочої рідини до 20 л/га і затратах енергії на розпилення 0,8 кВт, дозволив зменшити норму витрати пестициду на 25 – 50 %, а робочої рідини у 15 разів, порівняно з ОП-2000-2-01 (Львівсільмаш). Подальше зменшення витрати робочої рідини до 5 – 20 л/га досягається розпиленням на краплини 30 – 60 мкм зарядженими від джерела високої напруги від 700 до 3000 В. Норму витрати пестициду обприскуванням зарядженими краплинами можна зменшити на 30 – 60 %. Дослідження свідчать, що покращення дисперсності розпилення перспективне для зменшення норм витрати пестициду, але механічний дисковий розпилювач, яким це досягається, складний і до застосування на штангових обприскувачах непридатний.

Способом підвищення ефективності обприскування щільним розпилювачем є подача вентилятором супутнього з факелом потоку повітря. подача повітря зменшує знесення краплин вітром та дозволяє зменшити норму витрати пестициду на 25 % і робочої рідини до 100 л/га. подача повітря практично не впливає на витрату рідини через розпилювач, а внаслідок вторинного подрібнення великих краплин збільшується кількість малих краплин від 50 до 100 мкм.

## Висновки

1. На теперішній час хімічному методу захисту рослин не має альтернативи, а основним способом захисту рослин є обприскування.

2. За умови якісного приготування робочої рідини ефективність обприскування залежить від дисперсності розпилення та осаджування краплин.

3. Норми внесення пестицидів і конфігурація обприскувачів визначається щілинним розпилювачем TeeJet, який є базовим у агротехнологіях розпилення більше 50 років.

4. Щілинні розпилювачі мають низькі експлуатаційні показники – економічність, надійність, довговічність екологічність та безпеку обслуговування.

5. Відомі відцентрові розпилювачі мають співставиму з щілинним розпилювачем дисперсність та експлуатаційні показники.

6. Механічний дисковий розпилювач забезпечує управління дисперсністю, але перспектив застосування не має через складнощі технічної реалізації та втраті пестициду при знесенні краплин під час обприскування.

7. Створення розпилювача з покращеною дисперсністю позбавленого недоліків щілинного і механічного дискового є актуальним завданням.

### 1.3. Вибір напрямку дослідження

На підставі проведеного аналізу характеристик існуючих розпилювачів та агротехнічних вимог до хімічного захисту рослин обрані наступні напрямки роботи:

1. Розробка математичної моделі процесу диспергування робочої рідини відцентровим розпилювачем.

2. Розробка програми та методики експериментальних досліджень.

3. Проведення експериментальних досліджень дисперсної і гідравлічної характеристик відцентрового розпилювача.

4. Математична обробка отриманих результатів та їх аналіз.

5. Економічне обґрунтування ефективності впровадження відцентрових розпилювачів у виробництво.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПИЛЕННЯ ВІДЦЕНТРОВИМ РОЗПИЛЮВАЧЕМ

2.1. Фізичні уявлення про взаємодію краплини з поверхнею зрошення

Краплина при зіткненні з поверхнею зрошення (рис. 2.1) може:

- а), б) – втриматися на ній; в) – розплющитися і подрібнитися на краплини менших розмірів; г), д) – відскочити; е) – зісковзнути.

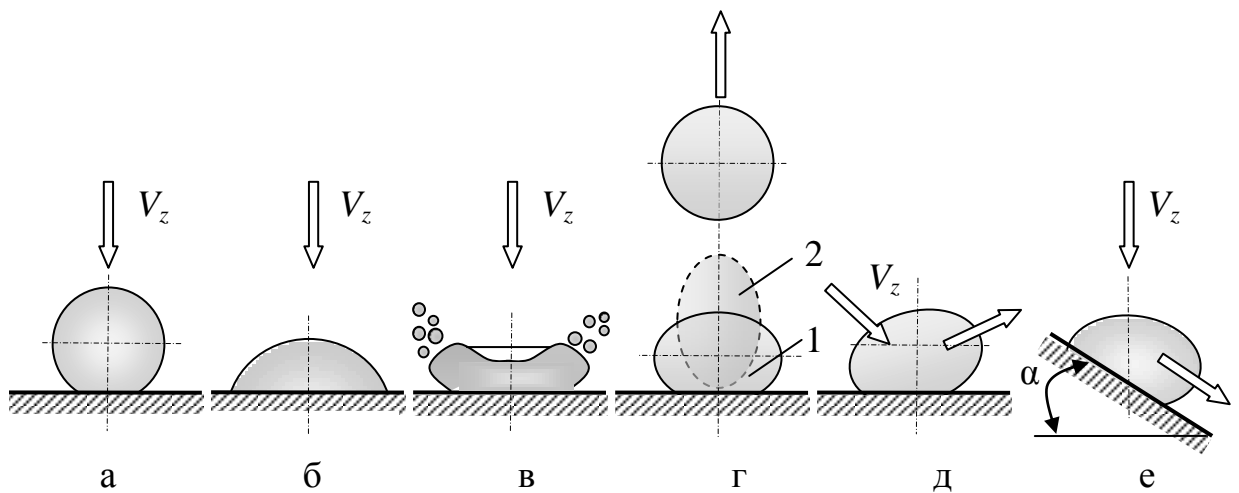


Рис. 2.1. Схема взаємодії краплини з поверхнею зрошення при зіткненні

Схема взаємодії краплини з поверхнею зрошення при зіткненні залежить від співвідношення кінетичної енергії

$$E_K = \frac{mV_z^2}{2}, \quad (2.1)$$

де  $m = \frac{1}{6}\pi d_k^3 \rho$  – маса краплини;  $d_k$  – діаметр краплини;  $\rho$  – густина рідини;

$V_z$  – швидкість руху краплини;

і поверхневої енергії краплини

$$E_{II} = \sigma S, \quad (2.2)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг;  $S = \pi d_k^2$  – площа поверхні краплини.

За умови  $E_K < E_{II}$  краплина при зіткненні з поверхнею зрошення залишається цілою і може утриматися, відскочити або зісковзнути, а за умови  $E_K \geq E_{II}$  краплина розплющується і подрібнюється. Оскільки відношення

енергій

$$\frac{E_K}{E_{II}} = \frac{1}{12} We, \quad (2.3)$$

де  $We = \frac{d_k \rho V_z^2}{\sigma}$  – число Вебера, то критичним для краплини буде  $We_* = 12$ .

Краплини, для яких число  $We < We_*$ , при зіткненні з поверхнею зрошення деформуються в еліпсоїдальні 1 і 2 (рис.2.1, г) з площею поверхні еліпсоїда

$$S = \frac{E_K}{\sigma}, \quad (2.4)$$

Математичне моделювання [5] показує, що краплина (рис. 2.1, г) при зворотній деформації, може відскочити від поверхні, що не змочується. На поверхні, що змочується, така схема взаємодії не реалізується. За умови нахилу поверхні зрошення з кутом більшим за  $\alpha = 19^\circ - 35^\circ$  (рис. 2.1, е), краплина зісковзує. Взаємодія (рис. 2.1, в, г, д) приводить до втрати робочої рідини і практичне значення має схема (рис. 2.1, а, б), коли краплина утримується на поверхні зрошення. Дія цих чинників залежить від поверхневого натягу  $\sigma$  на межі розділу фаз повітря, рідини і твердого тіла, як це показано на рис. 2.2.

Характеристикою змочування є крайовий кут  $\theta$ , між дотичною  $AB$  до поверхні рідини та поверхнею твердого тіла. Рівноважний крайовий кут  $\theta_0$  визначається за формулою Юнга (1804р.):

$$\cos \theta_0 = \frac{\sigma_{ТП} - \sigma_{ТР}}{\sigma_{РП}},$$

де  $\sigma_{ТП}$ ,  $\sigma_{ТР}$ ,  $\sigma_{РП}$  – поверхневий натяг між твердим тілом і повітрям, твердим тілом і рідиною, рідиною і повітрям, відповідно.

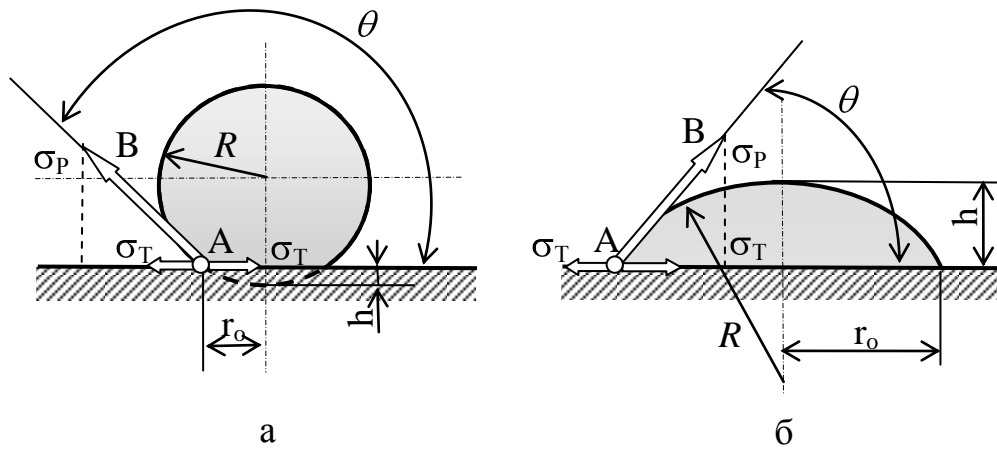


Рис. 2.2. Схема до розрахунку розмірів плями краплини на поверхні зрошення

У залежності від рівноважного крайового кута  $\theta_0$  розрізняють поверхні, які погано змочуються  $180^\circ > \theta > 90^\circ$  (рис. 2.2, а), змочуються -  $90^\circ > \theta > 0^\circ$  (рис. 2.2, б) і коли рівноважний крайовий кут не встановлюється  $\theta \approx 0^\circ$ , бо рідина розтікається у тонку плівку.

З геометричної побудови (рис. 2.2) визначаємо площу плями від краплини на поверхні зрошення:

$$S_{пл} = \pi r_0^2 \quad (2.5)$$

Для поверхні зрошення, що не змочується, при  $r_0 = R \cos(\theta - 90^\circ) = R \sin \theta$  радіус кулі визначаємо через об'єм краплини, який залишається незмінним під час деформації:

$$\frac{1}{6} \pi d_k^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 - \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h), \quad (2.6)$$

Висота сегменту кулі

$$h = R - R \cos(180^\circ - \theta) = R(1 + \cos \theta), \quad (2.7)$$

З формул (2.6) і (2.7)

$$R = \frac{d_k}{2} f_1(\theta), \quad (2.8)$$

де  $f_1(\theta)$  – функція крайового кута краплини до поверхні зрошення, що не змочується, (рис. 2.3), яка визначається за формулою

$$f_1(\theta) = \frac{1}{\sqrt[3]{1 - \frac{1}{4}(1 + \cos \theta)^2 \cdot (2 - \cos \theta)}}, \quad (2.9)$$

Радіус плями краплини на поверхні зрошення

$$r_0 = \frac{d_\kappa}{2} f(\theta), \quad (2.10)$$

Площа плями краплини [6]

$$S_{пл} = \frac{\pi d_\kappa^2}{4} f^2(\theta) \sin^2 \theta. \quad (2.11)$$

Для поверхні зрошення, що змочується, при

$r_0 = R \cdot \cos(90^\circ - \theta) = R \cdot \sin \theta$ , радіус сегменту кулі визначаємо за умови

незмінного об'єму краплини:

$$\frac{1}{6} \pi d_\kappa^3 = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h), \quad (2.12)$$

Висота сегменту кулі

$$h = R - R \cdot \cos \theta = R(1 - \cos \theta), \quad (2.13)$$

З формул (2.12) і (2.13) знаходимо:

$$R = d_\kappa f_2(\theta), \quad (2.14)$$

де  $f_2(\theta) = \frac{1}{\sqrt[3]{2(1 - \cos \theta)^2 \cdot (2 + \cos \theta)}}$  – функція рівноважного крайового кута

поверхні, що змочується, і показана на рис. 2.3.

Радіус плями краплини на поверхні зрошення:

$$r_0 = d_\kappa f_2(\theta), \quad (2.15)$$

Площу плями краплини на поверхні, що змочується, визначаємо за формулою:

$$S_{nl} = \pi d_k^2 f_2^2(\theta) \sin^2 \theta, \quad (2.16)$$

Площа поверхні зрошення, що покрита плямами краплин  $S = \sum n_i S_{nl.i}$ , де  $n_i$  – кількість краплин  $i$ -го діаметру,  $S_{nl.i}$  – площа плями. Якщо обрахувати кількість краплин в об'ємі  $Q$ , осадженому на одиницю поверхні, через об'ємно-поверхневий діаметр, то  $n = \frac{6Q}{\pi d_{32}^3}$ , оскільки  $S_{nl} \approx d_{32}^2$ , то  $S \sim \frac{1}{d_{32}}$ . Тому покращення дисперсності забезпечує збільшення площі плям і ефективність дії пестициду.

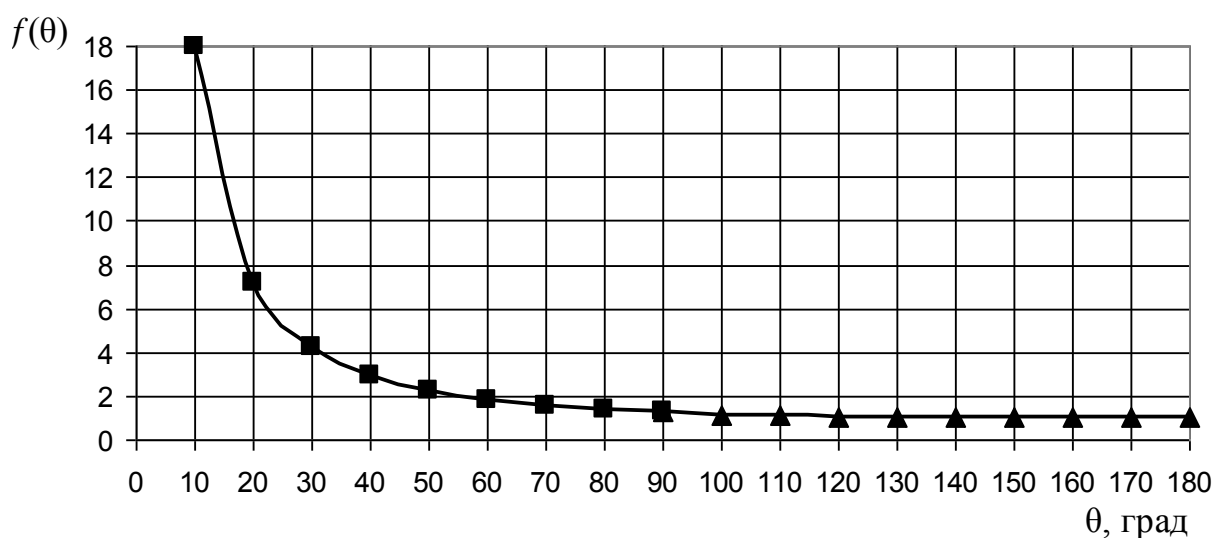


Рис. 2.3. Функції рівноважного крайового кута поверхні зрошення, що: не змочується (▲) –  $f_1$  і змочується (■) –  $f_2$ .

Виходячи з фізичного уявлення про осаджування краплин при математичному моделюванні, необхідно виявити закономірності руху і випаровування краплин у факелі та сформулювати вимоги до дисперсності розпилення з метою мінімізації витрати пестициду.

## 2.2. Математичне моделювання руху і випаровування краплин у факелі

На виході з соплового отвору відцентрового розпилювача [7] робоча рідина розпиляється на краплини. Внаслідок зниження тиску у струмені розпиленої рідини, повітря з атмосфери всмоктується в струмінь з утворенням двофазового факелу, в якому краплини рухаються супутньо з повітрям (рис. 2.5).

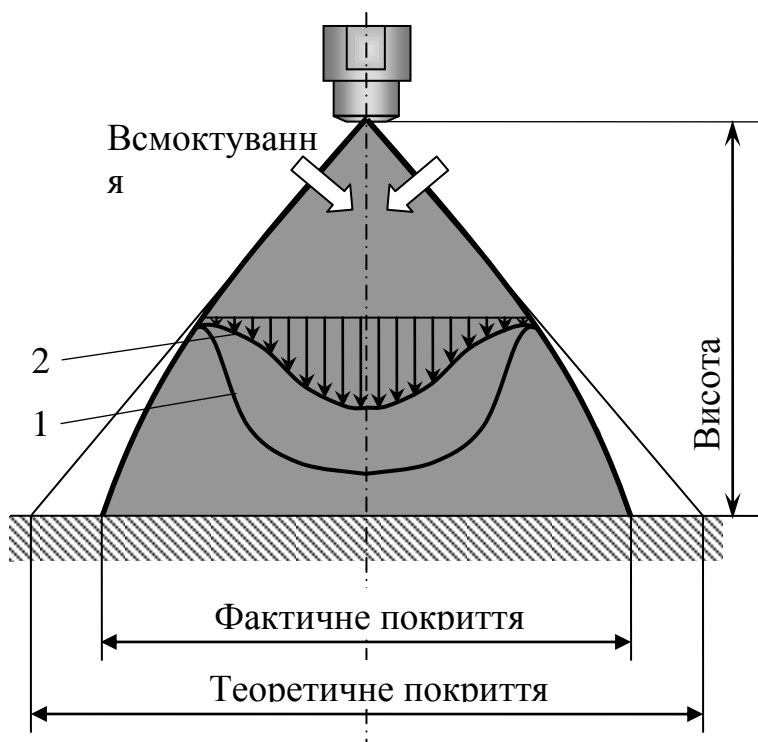


Рис. 2.5. Схема формування двофазового факелу відцентрового розпилювача: 1 – швидкість руху краплин; 2 – швидкість повітря.

Таке всмоктування відоме як ежекція. Розширення струменю повітря всередині факелу зумовлює зменшення його швидкості як по осі, так і по радіусу. Швидкість руху та випаровування краплин визначається взаємодією з повітрям. При цьому біля зовнішньої поверхні факелу швидкість повітря мінімальна, а біля осі факелу швидкість руху малих краплин вирівнюється з швидкістю повітря. Зменшення швидкості повітря у факелі супроводжується переходом з примусового осаджування краплин повітрям до осідання під дією масової сили і сили аеродинамічного опору.



### 2.2.1. Рівняння руху і теплообміну краплин

Математична модель руху краплин у факелі побудована з припущеннями, що краплини вилітають з точкового джерела на осі факелу, мають форму кулі і не взаємодіють між собою, температура і вологість повітря у факелі відповідають атмосферним.

Схему факела відцентрового розпилювача показано на рис. 2.6.

Розпилювач рухається із швидкістю обприскувача  $U_{\text{обр}}$ . На факел діє вітер з швидкістю  $U_{\text{в}}$ , а швидкість повітря, яке всмоктується в факел  $\vec{U}$ . Краплина рухається в факелі під дією масової і аеродинамічної сили.

Рівняння руху центру маси  $i$ -ої краплини, яка вилітає з сопла розпилювача під кутами  $\alpha_j$  і  $\gamma_k$ :

$$\frac{d(m\vec{V})_{ijk}}{d\tau} = \vec{F}_{ijk} + m_{ijk} \cdot \vec{g}, \quad (2.17)$$

$$\frac{d\vec{X}_{ijk}}{d\tau} = \vec{V}_{ijk}, \quad (2.18)$$

де  $m_{ijk} = \frac{\pi d_{ijk}^3 \rho}{6}$  – маса краплини;  $\vec{V}_{ijk} = \{V_x, V_y, V_z\}$  – швидкість руху краплини;

$U_{\text{в}}$  – швидкість вітру;  $\vec{X}_{ijk} = \{x, y, z\}$  – радіус-вектор центру маси краплини;  $d_{ijk}$  – діаметр краплини; позначаємо індексом  $i$  – діаметр краплин у спектрі розпилення;  $\alpha_j$  – кут вильоту краплин відносно осі  $z$ ;  $\gamma_k$  – кут вильоту краплин відносно напрямку руху обприскувача;  $\rho$  – густина робочої рідини;  $\tau$  – час.

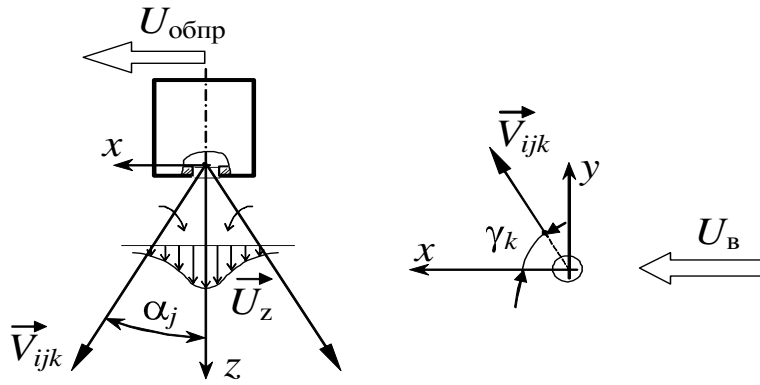


Рис. 2.6. Схема факелу відцентрового розпилювача.

Сила аеродинамічного опору краплини:

$$\vec{F}_{ijk} = \frac{1}{8} C_{ijk} \psi_{ijk} \pi d_{ijk}^2 \rho_{\text{п}} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk} (\vec{V} - \vec{U})_{ijk}, \quad (2.19)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  – густина повітря,  $\vec{U} = (U_x, U_y, U_z)$  – швидкість повітря у факелі.

Коефіцієнт аеродинамічного опору визначаємо за формулою Клячко

Л.С.:

$$C_{ijk} = \frac{24}{Re_{ijk}} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re_{ijk}}}, \quad (2.20)$$

де  $Re_{ijk} = \frac{\rho_{\text{п}} d_{ijk} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}}{\mu_{\text{п}}}$  – число Рейнольдса;  $\mu_{\text{п}}$  – динамічна в'язкість повітря.

Динамічний коефіцієнт форми краплини [8]:

$$\psi_{ijk} = \exp(0,03 We_{ijk}^{1,5}), \quad (2.21)$$

де  $We_{ijk} = \frac{\rho_{\text{п}} d_{ijk} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}^2}{\sigma}$  – число Вебера.

В проєкціях на вісі координат  $x, y, z$  рівняння руху (2.17), (2.18)

запишемо так:

$$\frac{dV_{x_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho} \cdot (V_{x_{ijk}} - U_x) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}, \quad (2.22)$$

$$\frac{dV_{y_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot (V_{y_{ijk}} - U_y) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}, \quad (2.23)$$

$$\frac{dV_{z_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot (V_{z_{ijk}} - U_z) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk} + g, \quad (2.24)$$

$$\frac{dx_{ijk}}{d\tau} = V_{x_{ijk}}, \quad \frac{dy_{ijk}}{d\tau} = V_{y_{ijk}}, \quad \frac{dz_{ijk}}{d\tau} = V_{z_{ijk}}, \quad (2.25)$$

Рівняння балансу маси краплини:

$$\frac{dm_{ijk}}{d\tau} = -\beta_{ijk} f_{ijk} (\rho_n^\theta - \rho_{в.п}), \quad (2.26)$$

де  $f_{ijk}$  – поверхня краплини,  $\rho_n^\theta$  – густина насиченої водяної пари біля краплини,  
 $\rho_{в.п}$  – густина водяної пари в атмосфері.

Коефіцієнт масовіддачі краплини  $\beta_{ijk}$  визначаємо в залежності від числа Шервуда  $Sh_{ijk} = \beta_{ijk} d_{ijk} / D_{п}$ , де  $D_{п}$  – коефіцієнт дифузії водяної пари в атмосфері.

Рівняння (2.26) запишемо так:

$$\frac{d}{d\tau} d_{ijk} = -2 \frac{\beta_{ijk}}{\rho} (\rho_n^\theta - \rho_{в.п}), \quad (2.27)$$

Температуру краплини визначаємо з рівняння збереження енергії:

$$\frac{d}{d\tau} \theta_{ijk} = -\frac{6}{\rho \cdot C_p \cdot d_{ijk}} \left[ f_{ijk} (\theta_{ijk} - T) + \beta_{ijk} (\rho_n^\theta - \rho_{в.п}) L \right], \quad (2.28)$$

де  $T$  - температура повітря,  $C_p$  - теплоємність робочої рідини,  $L$  - теплота пароутворення,  $\alpha_{ijk}$  - коефіцієнт тепловіддачі краплини. Коефіцієнт  $\alpha_{ijk}$  визначаємо в залежності від числа Нуссельта:

$$Nu_{ijk} = \frac{\alpha_{ijk} d_{ijk}}{\lambda_{\Pi}}, \quad (2.29)$$

де  $\lambda_{\Pi}$  - теплопровідність повітря.

Числа Нуссельта і Шервуда визначаємо за формулами Фреслінга:

$$Nu_{ijk} = 2 + 0,55 Re_{ijk}^{0,5} Pr^{0,33}, \quad (2.30)$$

$$Sh_{ijk} = 2 + 0,55 Re_{ijk}^{0,5} Sc^{0,33}, \quad (2.31)$$

де  $Sc$  – число Шмідта

$$Sc = \frac{\mu_{\Pi}}{D_{\Pi} \rho_{\Pi}}, \quad (2.32)$$

де  $Pr$  – число Прандтля

$$Pr = \frac{\mu_{\Pi} C_{p\Pi}}{\lambda_{\Pi}}, \quad (2.33)$$

Початкові умови для розв'язку рівнянь при  $\tau = 0$ :

$$V_{x\,ijk0} = |\vec{V}_0| \sin\alpha_j \cos\gamma_k + U_{\text{обпр}}, \quad V_{y\,ijk0} = |\vec{V}_0| \sin\alpha_j \sin\gamma_k, \quad V_{z\,ijk0} = |\vec{V}_0| \cos\alpha_j, \quad d_{ijk} = d_{ijk0}, \quad \theta_{ijk} = \theta_0.$$

Швидкість обприскувача  $U_{\text{обпр}}$  враховується в компоненті швидкості руху краплин  $V_x$ . Швидкість і напрямок вітру  $U_B$  вважаємо відомими. З розв'язку системи рівнянь (2.22 – 2.27) з граничними умовами (2.28) визначимо швидкість руху, траєкторію, діаметр і температуру краплин у факелі за координатами  $x, y, z$  до досягнення поверхні зрошення.

### 2.2.2. Швидкість повітря у факелі

У рівняння руху (2.22 – 2.24) входить швидкість повітря  $\vec{U}$  у факелі, яку необхідно визначити для замикання системи рівнянь. Слід зауважити, що на цей час відсутній метод розрахунку швидкості повітря у факелі розпилювача, незважаючи на те, що двофазові факели використовуються в різних областях техніки.

Довгий час вважали, що дискретна фаза (тверді домішки, краплини) є пасивною. Лаатс і Фрішман [9], [10], показали, що двофазові струмені більш вузькі та далекобійні. На думку Абрамовича (1960), дискретна фаза впливає на характеристики факела через збільшення густини факелу і, відповідно, далекобійності. Але вже у [11] Абрамович пов'язує вплив домішок на струмінь через зміну турбулентної структури і пульсацій швидкості. Така точка зору детально викладена в [12] і зводиться до того, що домішки зменшують пульсації швидкості повітря і дотичні напруження у струмені. Особливістю дослідів є те, що двофазовий факел отримували під час витікання повітря з твердими домішками (корунд 32, 49 мкм) з трубки діаметром 35 мм. Тому виявлені закономірності руху твердих частинок і повітря в струмені не можуть бути перенесені на двофазовий факел, який формується внаслідок всмоктування повітря у розпилену рідину.

Двофазовий факел, який формується внаслідок всмоктування повітря у розпилену рідину, досліджував Сімаков (1987) [13]. В [14] запропоновано математичну модель факела розпилювача, а в [15] наведені експериментальні дані про розподіл швидкостей руху краплин і повітря в факелі та аналіз отриманих результатів. На противагу припущенню, що двофазовий факел всмоктує повітря по всій зовнішній поверхні факелу, Сімаков вважає, що повітря всмоктується у корені факела і у подальшому рухається автономно від потоку краплин..

Математична модель факела розпиленої рідини побудована з уведенням до рівняння руху дотичного напруження тертя:

$$\tau = -\rho \frac{rZ}{2\xi^2} \left( \frac{dU_r}{dr} \right)^2, \quad (2.34)$$

де  $Z = z + Z_0$  – осьова координата, яка відраховується від полюса газового струменю; де  $Z_0$  – відстань від полюса газового струменю до соплового отвору;  $\xi = const \left( \frac{r}{Z} \right)^{\frac{1}{2}}$  – безрозмірна змінна.

У розрахунках для  $P_\phi = 0,5$  МПа прийнято  $Z_0 = 0,39$ м,  $\xi = 11,9$ .

Такий підхід до визначення  $\tau$  не відрізняється від запропонованого Прандтлем (1925):

$$\tau = \rho l^2 \left| \frac{du}{dy} \right| \frac{du}{dy}, \quad (2.35)$$

де  $l$  – довжина шляху перемішування, яка залишається для струменю невизначеною.

Дотичні напруження згідно з (2.34) і (2.35) відрізняються тим, що одна невідома  $l^2$  замінена на дві  $\xi^2$  і  $Z_0$ .

В подальшому Л. Прандтль (1942) для струменю запропонував більш просту залежність дотичного напруження:

$$\tau = A \frac{du}{dy}, \quad (2.36)$$

де  $A = \rho \chi_1 b \left( U_{\max} - U_{\min} \right)$  – коефіцієнт турбулентного обміну, який залежить від ширини струменю  $b$  і швидкості  $U_{\max}$  на осі і залишається незмінним для будь-якого поперечного перерізу струменю.

З використанням такої гіпотези про коефіцієнт турбулентного обміну, у отримані формули розподілу осьової і радіальної швидкості повітря у факелі для круглого струменя:

$$U_z = \frac{3}{8\pi} \frac{K}{\varepsilon_0 z} \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4}\eta^2\right)^2}, \quad (2.37)$$

$$U_x = U_y = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\sqrt{K}}{z} \frac{\eta - \frac{1}{4}\eta^2}{\left(1 + \frac{1}{4}\eta^2\right)^2}, \quad (2.38)$$

де  $K$  – кінематичний імпульс, а приведена координата:

$\eta$  – приведена координата, знаходиться за формулою:

$$\eta = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \frac{\sqrt{K}}{\varepsilon_0} \frac{x}{z}. \quad (2.39)$$

Емпіричною константою є відношення  $\frac{\sqrt{K}}{\varepsilon_0}$ , де  $\varepsilon_0$  – кінематична

в'язкість струменю

$$\varepsilon_0 = \chi_1 b U_{z \max}. \quad (2.40)$$

Оскільки швидкості в периферійній зоні змінюється повільно, то за пропозицією Г. Рейхардта введена ширина  $b_{\frac{1}{2}}$ , при якій швидкість  $U_z$  відповідає

половині максимальної швидкості на осі (рис. 2.7).

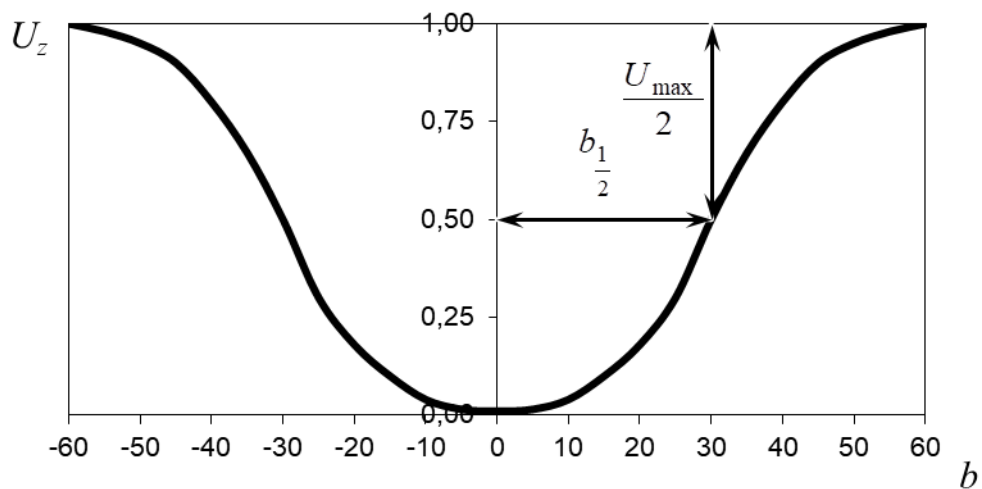


Рис. 2.7. Осьова швидкість струменю

Відповідно з експериментальними даними Г. Рейхардта для круглого струменю:

$$b_{\frac{1}{2}} = 0,0848z, \quad (2.41)$$

що відповідає куту  $\alpha = \arctg 0,0848 = 4^\circ 50'$ .

При  $\chi = 0$ ,  $\eta = 0$  –  $U_z = U_{z \max}$  із формули (2.37) слідує, що

$$U_{z \max} = \frac{3}{8\pi} \frac{K}{\varepsilon_0 z}, \quad (2.42)$$

При  $b_{\frac{1}{2}} - U_z = \frac{U_{z \max}}{2}$ , і з формули (2.37)  $\frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{+0,25\eta^2}}$ , відповідно

$\eta = 1,286$ , а з формули (2.39) при заміні  $x = b_{\frac{1}{2}}$ :

$$b_{\frac{1}{2}} = 5,27z \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{K}}, \quad (2.43)$$

Після заміни  $b_{\frac{1}{2}}$  у відповідності з формулою (2.41) отримаємо значення

емпіричної константи:

$$\frac{\varepsilon_0}{\sqrt{K}} = 0,0161, \quad (2.44)$$

з формул (2.42) і (2.43)

$$\sqrt{K} = 1,59U_{z \max} b_{\frac{1}{2}}, \quad (2.45)$$

а з формул (2.44) і (2.45) кінематичну в'язкість струменю

$$\varepsilon_0 = 0,0256U_{z \max} b_{\frac{1}{2}}, \quad (2.46)$$



Швидкості у круглому струмені (2.37) і (2.38) застосовано нами для струменю повітря у факелі розпилювача. Очевидним є те, що чим менша концентрація краплин у факелі, тим краще розрахункові швидкості будуть збігатися з фактичними у струмені. Для розпилювача пестицидів важливою є відстань до поверхні зрошення. Чим вона більша, тим менша швидкість руху та щільність краплин у струмені. Це дає змогу вважати, що розрахунки швидкості краплин у струмені біля поверхні зрошення по (2.37) і (2.38) будуть близькими до фактичних.

При визначенні  $b_{\frac{1}{2}}$  і  $\frac{\varepsilon_0}{\sqrt{K}}$  для струменю повітря всередині факела з

краплинами, доцільно використати експериментальні дані [15], рис. 2.8.

Досліджувався відцентровий розпилювач конструкції Всесоюзного теплотехнічного інституту ім. Ф.Е. Держинського з сопловим отвором діаметром 2 мм, який забезпечує розпилення на краплини діаметром  $d_{32} = 140$  мкм з кутом розкриття факелу  $2\alpha_0 = 65^\circ$  при тиску 0,5 МПа. Як видно з рис. 2.8, максимальна швидкість руху краплин цього розпилювача змінюється від 23,5 до 19,0 м/с на відстані 0,7 м. Згідно з експериментальними даними, у розпилювача при тиску 0,3 МПа з  $d_{32} = 135,77$  мкм, кутом розкриття факелу  $2\alpha_0 \approx 90^\circ$ , середня швидкість руху краплин на осі зменшується з 12 м/с до 2 м/с на відстані 0,6 м.

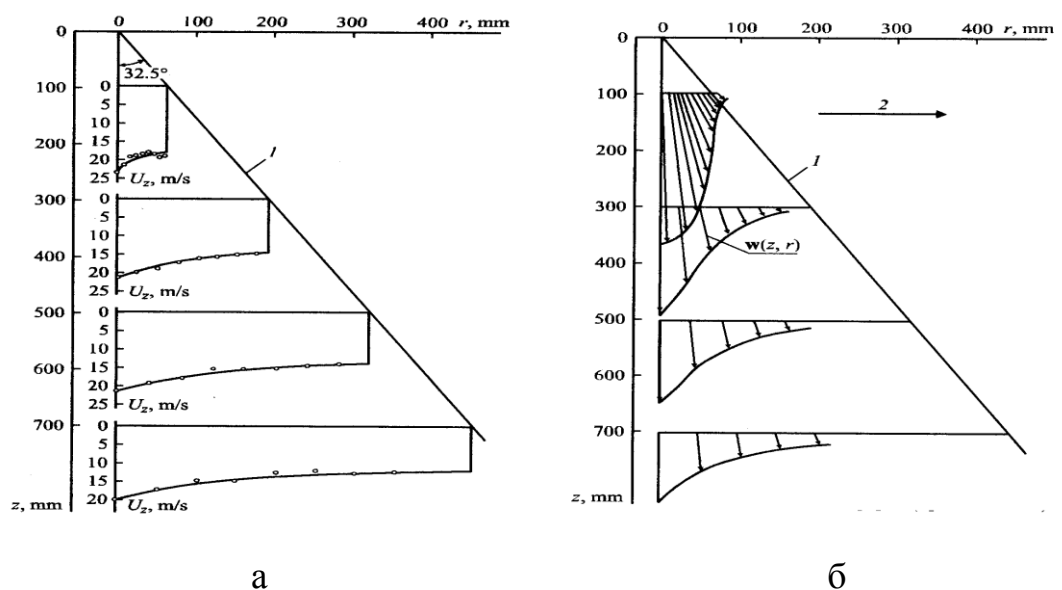


Рис. 2.8. Швидкості у факелі: а – краплин, б – повітря:

1 – межа факелу; 2 – масштаб швидкості повітря.

Рух краплин у факелі Сімаков вважає аномальним і пояснює зменшенням коефіцієнту аеродинамічного опору краплин, який пропонує визначати за формулою  $C = \frac{2000}{Re^2}$ , при значенні числа Рейнольдса в межах  $30 < Re < 150$ . Слід зауважити, що аналогічний аномальний рух порошку спостерігався під час скидання з літака і пояснювався тим, що сили взаємодії фаз всередині факелу перевищують сили тертя „хмари” порошку по її зовнішній поверхні. Таким чином у факелі розпилювача, дослідженого в [15], повітря переміщується „хмарою” краплин, яка має вдвічі більшу швидкість від розрахункової, а не як струмінь, сформований у корені факелу.

### 2.2.3. Теплофізичні властивості робочої рідини і атмосфери

До рівнянь (2.22 – 2.28) входять теплофізичні властивості робочої рідини (густина  $\rho$ , поверхневий натяг  $\sigma$ , теплоємність  $C_p$ , теплота пароутворення  $L$ , густина водяної пари в повітрі  $\rho_{вп}$  і біля краплин  $\rho_{п}^{\theta}$ ) та повітря (густина  $\rho_{п}$ , динамічна в'язкість  $\mu_{п}$ , теплопровідність  $\lambda_{п}$ , дифузія пари робочої рідини  $D_{п}$ ). Стан атмосфери визначається температурою, відносною вологістю і швидкістю вітру  $U_v$  під час обприскування.

При розрахунках розпилювача необхідно знати в'язкість робочої рідини. Робоча рідина, як правило, готується з води та пестициду, і може бути розчином, емульсією або суспензією. Необхідною умовою ефективної дії пестициду є його рівномірний розподіл у воді. Внаслідок малої концентрації пестициду у воді густина і в'язкість робочої рідини мало відрізняється від густини і в'язкості води.

Під час обприскування робоча рідина використовується у розпиленому вигляді. У середині кожної краплини виникає тороїдальний вихор, а на екваторі краплини швидкість руху поверхні досягає половини швидкості руху краплини. Якщо густина пестициду менша за густину води, то пестицид витісняється до осі тороїдального вихору. Таке положення пестицида у краплині більш

сприятливе для його збереження, оскільки з поверхні краплини буде випаровуватися лише вода.

Поверхневий натяг робочої рідини може на 40 % відрізнятись від поверхневого натягу води. Згідно з фізичними уявленнями про осаджування краплин зі зменшенням поверхневого натягу збільшуються фактичні числа  $We$ , тому при меншій швидкості руху число  $We$  стає критичним для подрібнення краплини при зіткненні з поверхнею зрошення.

Теплоту пароутворення і теплоємність робочої рідини приймаємо такою, як і води, зважаючи на малу концентрацію пестициду у воді.

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

2.3.1. Розрахунки розмірів камери закручування виконуються у наступній послідовності:

1. Зважаючи на малі розміри камери, приймаємо максимально досяжне для камери закручування ефективне число Рейнольдса  $k = k_* = 1,8$ . Чим більше  $k_*$ , тим менші втрати тиску на внутрішнє тертя в закрученому потоці. Максимальне  $k_* = 2$  відповідає закручуванню ідеальної рідини, тобто позбавленої в'язкості.

2. Вибираємо дифузорну камеру закручування, в якій досягається максимальна обертальна швидкість рідини. Згідно з [16] оптимальна камера повинна мати конічну стінку торця з кутом при основі конуса  $\delta = 15^\circ$  і плоску стінку сопла.

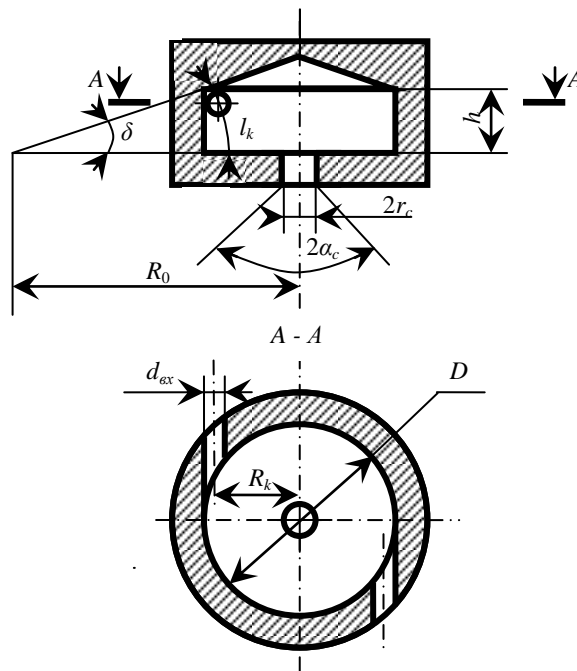


Рис. 2.9. Схема камери закручування відцентрового розпилювача

3. Знаходимо оптимальне відношення радіусу соплового отвору до радіусу початкового закручування  $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$  при  $k^* = 1,8$  за графіком, представленим на рис. 2.10, згідно з [17].

Оптимальний радіус початкового закручування залежить від 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  $\alpha = \frac{R_k}{R_0} = 0$ .

4. Для отримання необхідного кута факелу  $2\alpha_c$ , за графіком рис. 2.11

[17] знаходимо коефіцієнт заповнення сопла  $\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{r_c}{r}\right)^2}$ , що характеризує

площу перерізу півки в соплі.

5. Визначаємо гідродинамічну характеристику камери закручування

$$A_r = \frac{\text{tg}\alpha_c}{\varepsilon}, \quad (2.47)$$

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

Гідродинамічну характеристику камери закручування при відомих  $k$  і  $\varepsilon$  можна віднайти [17] в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Гідродинамічна характеристика камери закручування  $A_r$

$k \backslash \varepsilon$	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86
1,6	1,464	1,424	1,385	1,348	1,312	1,276	1,242	1,209	1,176	1,144	1,113
1,8	1,407	1,367	1,329	1,292	1,256	1,221	1,187	1,154	1,122	1,091	1,060
2,0	1,355	1,316	1,278	1,242	1,206	1,171	1,138	1,105	1,073	1,042	1,012

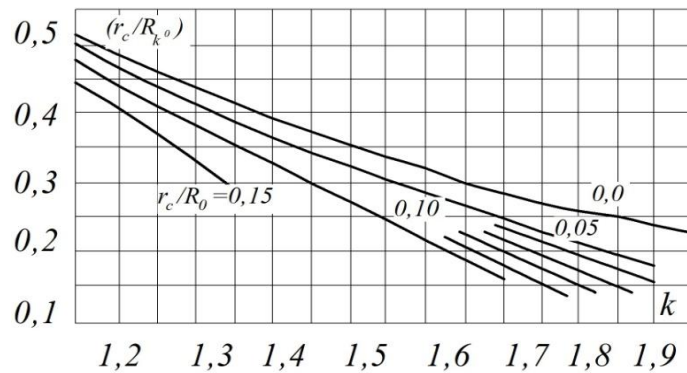


Рис. 2.10. Графік визначення оптимального радіусу початкового закручування

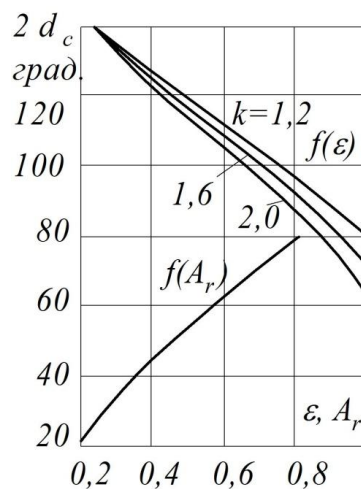


Рис. 2.11. Графік визначення кута розкриття факела

6. При прийнятому куті  $\delta$  визначаємо відношення радіуса початкового закручування до радіуса основи конуса

$$\alpha = \frac{R_k}{R_0} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \cdot \frac{l_k}{R_k}}, \quad (2.48)$$

У першому наближенні приймаємо  $\frac{l_k}{r_c} \approx 6 - 8$  і  $\frac{r_c}{R_k} = \left( \frac{r_c}{R_k} \right)_0$ .

7. За наближеним відношенням  $\alpha$  та прийнятих  $k$  і  $\frac{r_c}{R_k}$ , з табл.2.2 [17]

знаходимо значення поправочної функції форми камери закручування  $f_0$ .

Таблиця 2.2

Поправочна функція форми камери закручування  $f_0$

$\frac{r_c}{R_k}$	$\alpha = 0$			$\alpha = 0,10$		
	1,6	1,8	2,0	1,6	1,8	2,0
1	2	3	4	5	6	7
0,20	0,440	0,334	0,254	0,425	0,327	0,254
0,22	0,487	0,364	0,283	0,453	0,356	0,283
0,24	0,497	0,394	0,312	0,482	0,386	0,312
0,26	0,525	0,424	0,342	0,510	0,416	0,342
0,28	0,553	0,454	0,373	0,538	0,446	0,373
0,30	0,581	0,485	0,404	0,565	0,476	0,404
0,32	0,608	0,515	0,436	0,593	0,507	0,436
0,34	0,635	0,546	0,470	0,620	0,538	0,470

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

9. Характеристику входу камери закручування розраховуємо за формулою:

$$A_0 = \frac{A_\Gamma}{\eta_0} f_0, \quad (2.49)$$

10. При прийнятих  $\varepsilon$ ,  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\frac{r_c}{R_k}$  за таблицею 2.3 [17] визначаємо коефіцієнт витрати рідини камерою закручування  $\mu$ .

Таблиця 2.3

Коефіцієнт витрати рідини камерою закручування  $\mu$  при  $\alpha = 0$

$\varepsilon \backslash k$	$\frac{r_c}{R_k}=0,2$			$\frac{r_c}{R_k}=0,3$		
	1,6	1,8	2,0	1,6	1,8	2,0
1	2	3	4	5	6	7
0,76	0,337	0,364	0,387	0,329	0,353	0,375
0,78	0,352	0,381	0,404	0,344	0,369	0,392
0,80	0,368	0,398	0,422	0,359	0,386	0,409
0,82	0,384	0,415	0,441	0,375	0,403	0,428
0,84	0,401	0,433	0,460	0,392	0,421	0,447
0,86	0,419	0,452	0,480	0,410	0,440	0,466
0,88	0,437	0,472	0,500	0,428	0,460	0,487

11. Радіус соплового отвору розраховуємо за формулою

$$r_c = \sqrt{\frac{Q}{\pi\mu}} \sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P}}, \quad (2.50)$$

12. Радіус початкового закручування знаходимо за формулою

$$R_k = \frac{r_c}{\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0}, \quad (2.51)$$

13. Ефективну площу вхідних каналів визначаємо за формулою

$$mf_k = \frac{\pi r_c^2}{A_0}, \quad (2.52)$$

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

Діаметр вхідного каналу

$$d_{ex} = \sqrt{\frac{4 f_k}{\pi \chi}}, \quad (2.53)$$

де коефіцієнтом стиснення потоку у вхідному каналі  $\chi$  враховуємо зменшення площі потоку за вхідним крайком. Значення  $\chi$  залежить від числа Рейнольдса і досліджувалося Л.А. Клячко [18].

14. Діаметр камери закручування

$$D = 2R_k + d_{ex} + \Delta, \quad (2.54)$$

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

15. Середній діаметр краплин залежить від довжини дуги тороїдальної поверхні камери закручування  $l_k = R_0 - R_k \overline{\delta}$ , яка входить до

характеристики закручування

$$B = \frac{2\pi R_k (R_0 - R_k) \overline{\delta}}{m f_k}, \quad (2.55)$$

Для отримання факелу, в якому краплини  $d_{max} < 350$  мкм, середній діаметр краплин має бути на рівні 120 мкм. Характеристику  $B$  визначаємо з відомої формули [17] для середнього об'ємного діаметра краплин відцентрового розпилювача:

$$\frac{d_{30}}{2r_c} = \frac{15}{A^{0,9} B^{0,7} 10^{0,7k}}, \quad (2.56)$$

де геометрична характеристика  $A$ , запропонована Г.Н. Абрамовичем

$$A = \frac{\pi r_c R_k}{m f_{ex}} \quad (2.57)$$

За формулою (2.55) розраховуємо  $R_0$  і визначаємо висоту камери закручування:



$$h = \left( R_0 - \frac{D}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (2.58)$$

Розрахована висота  $h$  є мінімальною для досягнення необхідного середнього діаметру краплин. При більшій висоті збільшується значення  $B$  характеристики закручування (2.55) і зменшується середній діаметр краплин (2.56).

При збільшенні висоти камери закручування зростає площа циліндричної стінки і затрати енергії рідини на тертя та зменшується обертальна швидкість на радіусі початкового закручування. Через коефіцієнт відновлення швидкості  $\eta$  це впливає на гідродинамічну характеристику (2.49) і кут факелу (2.48).

16. Ефективне число Рейнольдса камери закручування розраховуємо за формулою:

$$k = 0,96 \cdot \lg \left( \frac{Q}{2\pi R_0 \delta \nu} \frac{mf_k}{R_k^2} \right), \quad (2.59)$$

За умови, коли  $k > k^*$ , вибір розмірів закінчено. У випадку коли  $k < k^*$  за фактичним  $k$  корегуємо  $\left( \frac{r_c}{R_k} \right)_0$  і розрахунки повторюємо.

17. Уточнюємо коефіцієнт  $\eta$  відновлення обертальної швидкості на радіусі початкового закручування. Число Рейнольдса для вхідних каналів

$$Re_{ex} = \frac{W_{ex} d_{ex}}{\nu}, \quad (2.60)$$

де середня швидкість рідини у вхідних каналах

$$W_{ex} = \frac{Q}{mf_{ex}}, \quad (2.61)$$

Число Рейнольдса біля циліндричної стінки камери закручування

$$Re_l = Re_{ex} \frac{\pi D}{d_{ex}}, \quad (2.62)$$

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

$$\overline{C_f} = 1,328 Re_l^{-0,5}, \quad (2.63)$$

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

$$a_1 \eta^{1,5} + a_2 \eta - 1 = 0, \quad (2.64)$$

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

$$\overline{C_f} = 0,074 Re_l^{-0,2}, \quad (2.65)$$

а рівняння коефіцієнта відновлення обертальної швидкості  $\eta$  матиме

вигляд:

$$a_1 \eta^{1,8} + a_2 \eta - 1 = 0, \quad (2.66)$$

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

$$\text{де коефіцієнт форми камери закручування } \psi = \frac{h}{R_0 - R_k} \delta \left( \frac{D}{2R_k} \right)^2.$$

Якщо уточнений коефіцієнт відновлення обертальної швидкості  $\eta$  не перевищує початкового в межах похибки розрахунків, вибір розмірів вважається закінченим. У випадку більшого відхилення  $\eta$ , розрахунки повторюємо з п. 3.

### 2.3.2. Розрахунок гідравлічної і дисперсної характеристики

При відомих розмірах камери закручування ( $r_c$ ,  $R_k$ ,  $d_{ex}$ ,  $D$ ,  $h$ ,  $\delta$ ) та фізичних властивостях робочої рідини ( $\rho$ ,  $\nu$ ) розрахунки виконуємо при заданому тиску рідини на вході в камеру закручування з визначенням об'ємної витрати рідини або при заданій витраті визначаємо необхідний тиск. Кут розкриття факелу розраховуємо через обертальну і осьову швидкість, а середній об'ємний діаметр краплин за формулою (2.56).

Порядок розрахунків наступний:

1. Оскільки витрата рідини невідома, розрахунки розпочинаємо, наближено задавши ефективне число Рейнольдса  $k = k_* = 1,8$ , початковий коефіцієнт відновлення обертальної швидкості  $\eta_0 = 0,9 - 0,95$ , коефіцієнт стиснення потоку у вхідному каналі  $\chi = 0,82$ .

2. Розраховуємо ефективну площу вхідних каналів

$$mf_k = mf_{ex} \cdot \chi, \quad (2.67)$$

радіус основи конуса  $R_0$  (2.58) і відносні значення  $\frac{r_c}{R_k}$ ,  $\alpha$ ,  $B$  (4.9),  $A$  (4.11).

3. В табл. 2.2 знаходимо значення поправочної функції форми камери закручування  $f_0$  і визначаємо гідродинамічну характеристику  $A_\Gamma$  (2.58).

4. Коефіцієнт заповнення сопла  $\varepsilon$  вибираємо з табл. 2.1, а коефіцієнт витрати рідини камерою закручування  $\mu$  з табл. 2.3.

5. Об'ємна витрата рідини через розпилювач

$$Q = \pi r_c^2 \mu \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (2.68)$$

або у вигляді гідравлічної характеристики через коефіцієнт

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

$$Q = A\sqrt{\Delta P}, \quad (2.69)$$

6. Швидкість рідини у вхідних каналах знаходимо за формулою (2.61), обертальну швидкість на радіусі початкового закручування

$$W_k = \eta W_{ex}, \quad (2.70)$$

обертальну швидкість на радіусі соплового отвору

$$W_c = W_k \left( \frac{r_c}{R_k} \right)^{1-k}, \quad (2.71)$$

осьову швидкість в сопловому отворі

$$U_c = \frac{Q}{\pi r_c^2 \varepsilon}, \quad (2.72)$$

7. Кут розкриття факелу на радіусі соплового отвору

$$2\alpha_c = 2\arctg \frac{W_c}{U_c}, \quad (2.73)$$

8. Середній об'ємний діаметр краплин у факелі розраховуємо по (2.56).

9. Уточнюємо коефіцієнт відновлення обертальної швидкості  $\eta$  на радіусі початкового закручування, відповідно, (2.61 – 2.64), якщо відхилення не більше ніж 2 %, то перше наближення забезпечує похибку у визначенні  $Q$ , що не перевищує 5 %.

10. Розраховуємо ефективне число Рейнольдса (2.59). Якщо  $k > k_* = 1,8$ , режим руху закрученого потоку буде автомодельним. Коефіцієнт витрати рідини  $\mu$ , кут розкриття факела на радіусі соплового отвору  $2\alpha_c$  і середній об'ємний діаметр краплин  $d_{30}$  при зміні тиску в межах автомодельності залишаться незмінними.

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

$$\frac{Q_1}{Q} = 10^{k_* - k}, \quad (2.74)$$

та тиску

$$\frac{P_1}{P} = \left( \frac{Q_1}{Q} \right)^2. \quad (2.75)$$

### Висновки

1. Швидкість краплин під час осаджування має вирішальне значення для взаємодії з поверхнею зрошення та втрат пестициду.

2. Математична модель факела відцентрового розпилювача дозволяє виконати розрахунки руху краплин і втрат через випаровування, в залежності від умов обприскування.

3. Примусове осаджування скорочує час польоту краплин, зменшує вплив швидкості руху обприскувача і вітру і дозволяє проводити обприскування на швидкості 30 км/год і 9 м/с, відповідно.

4. Методика розрахунку камери закручування дозволяє визначати основні параметри камери відцентрових розпилювачів таких як: висота камери, радіус соплового отвору, діаметр камери закручування та інше.

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

#### **3.1. Програма та методика досліджень.**

В програмі експериментальних досліджень передбачалося визначення наступних параметрів розпилювачів:

- об'ємну витрату води через розпилювач;
- ширину факелу;
- розподіл рідини по довжині штанги;
- коефіцієнт варіації розподілу рідини по довжині штанги.

Методика досліджень.

- Обробка даних проводилась за допомогою Microsoft Excel 2007;
- аналіз даних виконували за допомогою MS Office (Word та Excel).

Перед тим, як розпочати дослідження був проведений пошук та аналіз існуючих методик досліджень розпилюючих пристроїв, проведений детальний аналіз експериментів, які проводилися вченими та проаналізовані розпилюючі пристрої, які найбільш розповсюдженні на території нашої країни.

Експерименти проводилися на гідравлічному стенді схема якого наведена на рис. 3.1 та фото рис.3.2. На ньому при зміні тиску від 0,2 до 0,4 МПа та висоти від 0,40 до 0,60 м проводили забір рідини, у нашому випадку води, у жолобки стікаючи по яких вода потрапляла у мірні циліндри об'ємом 250 мл. Час проведення досліду контролювали секундоміром. Кожний дослід проводився три рази. При цьому визначалися та заносилися до таблиць такі параметри, як тиск в напірному трубопроводі, витрату рідини через розпилювач, розподіл рідини по ширині факела та штанги.

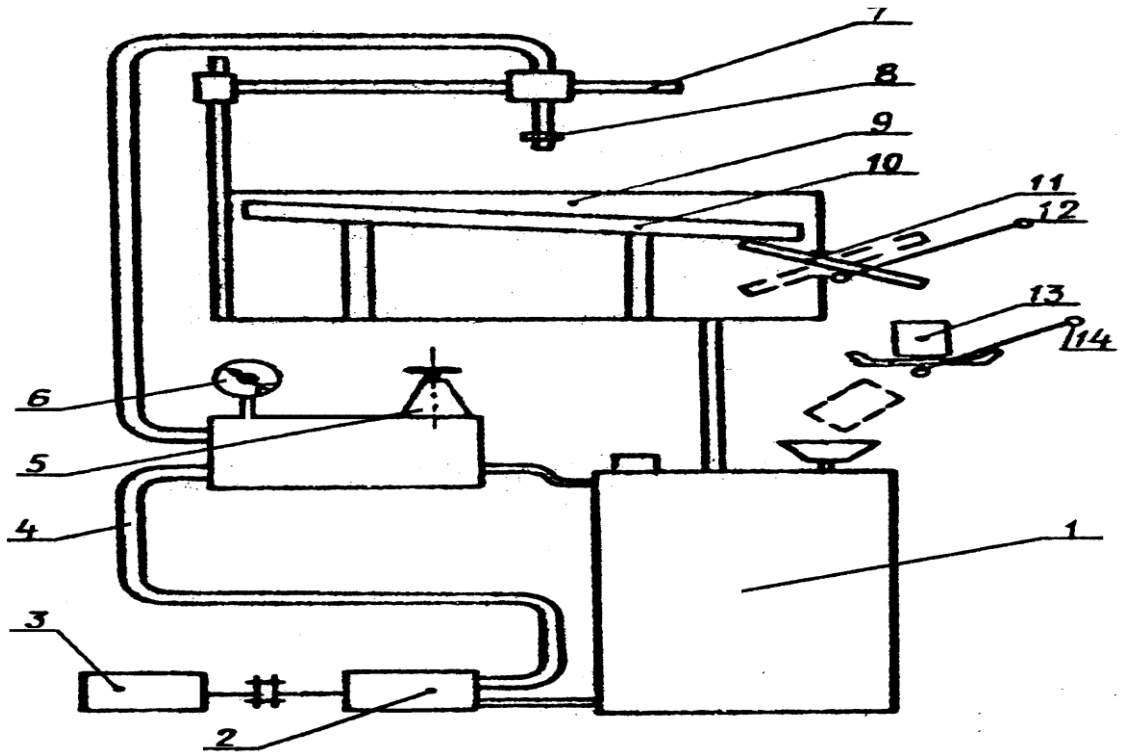


Рис. 3.1. Схема гідравлічного стенду:

1 – бак; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – трубопроводи; 5 – регулятор тиску; 6 – манометр; 7 – кронштейн; 8 – розпилювач; 9 – ванна; 10 – площина з перегородками; 11 – жолоб; 12, 14 – важелі; 13 – мірні стакани.

Гідравлічний стенд. Складовими гідравлічного стенду є бак 1 об'ємом  $0,63 \text{ м}^3$ , відцентровий насос 2 продуктивністю  $2,7 \text{ м}^3/\text{год}$  і тиском до  $0,4 \text{ МПа}$ , електродвигун 3, трубопроводи 4, регулятор тиску 5, манометр 6, кронштейн 7 зі штуцерами, до яких приєднуються розпилювачі 8, ванна 9, станок з перегородками 10 розподілу води в жолоб 11, мірні стакани 13, важелі 12 і 14. Вода з бака 1 насосом 2 через трубопроводи 4 нагнітається у розпилювачі 8. Тиск встановлюється регулятором 5 і контролюється манометром 6. Розпилена вода через площину стікає до ванни 9, а потім у бак 1. При повернутому важелі 12 вода перегородками 10 розподіляється по жолобі 11 і стікає у мірні стакани 13. Поворотом важеля 12 у зворотному напрямку, доступ води у мірні стакани припиняється.

Під час проведення дослідів також контролювався такий показник, як температура рідини, яку використовували в досліді. Вона контролювалася за допомогою термометру.

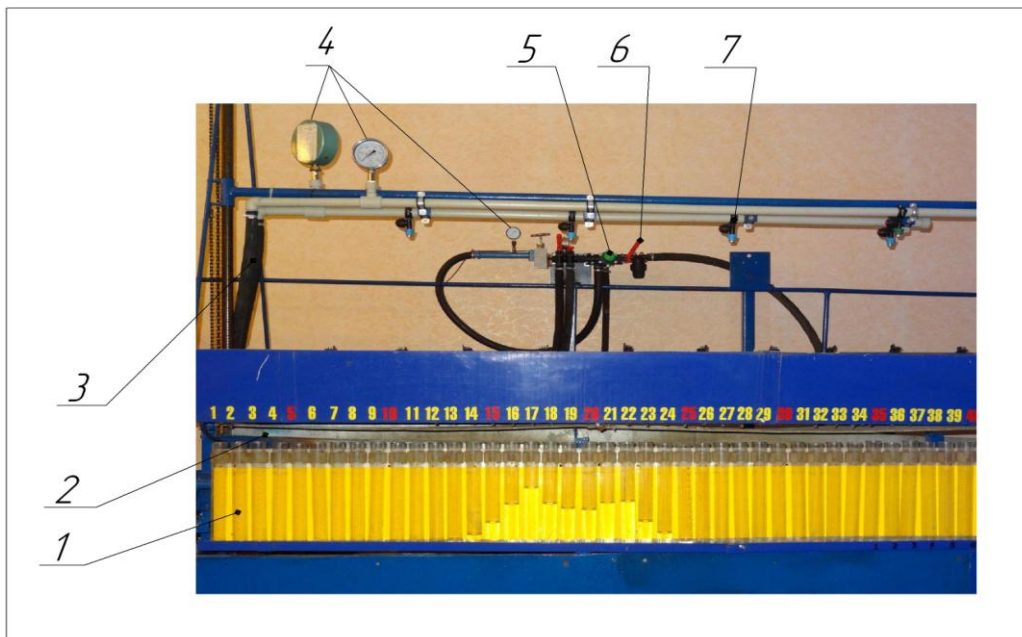


Рис. 3.2. Загальний вид гідравлічного стенду:

1- мірні стакани; 2 - жолоб; 3 - трубопроводи; 4 - манометри; 5 - регулятор тиску; 6 - важіль перемикання напрямку потоку рідини 7 - розпилююча головка

Об'ємну витрату води через розпилювач вимірювали мірним циліндром ємністю 250 мл з ціною поділки 10 мл. Час заповнення контролювали секундоміром з похибкою не більшою за 0,2 с.

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

$$Q = \frac{60V}{\tau}, \quad (3.1)$$

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

$\tau$  – час, с.

Максимальна похибка при визначенні об'ємної витрати води при

$$V = 1 \text{ л}, \quad \tau = 60 \text{ с} \text{ склала } \frac{\delta Q}{Q} = \left| \frac{\delta V}{V} \right| + \left| \frac{\delta \tau}{\tau} \right| = \frac{0,010}{1000} + \frac{0,2}{60} \approx 0,003, \text{ або } 0,3 \%,$$

тоді як має бути не більшою ніж 1 %.

На гідравлічному стенді (рис. 3.1), за кількістю мірних стаканів (рис. 3.3), у які стікала вода з жолобів визначали ширину факелу

$$B = N \cdot l, \quad (3.2)$$

де  $N$  – кількість мірних стаканів, у які потрапляла вода зі збірника;

$l$  – відстань між перегородками.



Рис. 3.3. Мірні стакани

Кут розкриття факелу вимірювали за схемою, що наведено у [19]. Таке вимірювання, як свідчить практика, не дозволяє точно визначити кут розкриття факелу, як одну з контрольних характеристик розпилувача, оскільки базується на спірному положенні: «чітка пряма межа розприскування». Кут розкриття факелу розпилувача змінюється в залежності від відстані до соплового отвору. Зважаючи на це, в технічних умовах [19], замість кута розкриття факелу, характеристикою, що контролюється, прийнято ширину факелу на відстані від розпилувача 0,5 м, а похибка при визначенні ширини факелу не більша за 7 %.

Розподіл розпиленої рідини по довжині штанги визначався на стенді (рис. 3.1) збиранням води у мірні стакани (рис 3.3). Такий контроль передбачено і для визначення рівномірності розподілу по довжині штанги. Рівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги оцінюють коефіцієнтом варіації :

$$V = \pm \frac{\sigma}{x} \cdot 100, \quad (3.3)$$



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.

Дослідження проводилися при тиску 0,2; 0,3 та 0,4 МПа на висоті від 400 до 600 мм. Дослідними зразками був комплект відцентрових розпилювачів з витратою рідини 0,6 л/хв «Агромодуль», (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Загальний вигляд відцентрового розпилювача

### 3.2. Об'єкт дослідження, прилади та устаткування.

Будова і принцип дії відцентрового розпилювача [20]. Відцентровий розпилювач пестицидів, який досліджується у роботі, показано на рис. 3.5.

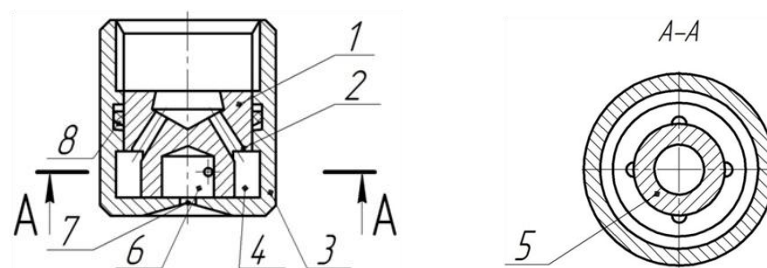


Рис. 3.5. Відцентровий розпилювач пестицидів:

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

Розпилювач (рис 3.5) 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, наприклад, гуми.

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. Герметичність розпилювача забезпечується ущільненням за допомогою еластичного кільця 8, яке прилягає до циліндричної поверхні завихрювача.

В цілому, за рахунок нової геометричної форми завихрювача і втулки покращується рівномірність зрошення, підвищується надійність обприскування і полегшуються умови праці обслуговуючого персоналу, оскільки відпадає потреба в зупинці агрегату, розбиранні, очищенні розпилювачів і подальшого збирання за наявності в агрегаті пестициду.

Деталювання відцентрового розпилювача показано на рис. 3.6. Він складається з полімерної байонетки 1, ущільнюючої прокладки 2, латунного завихрювача 3, ущільнюючого гумового кільця 4 та сталевго корпусу 5.

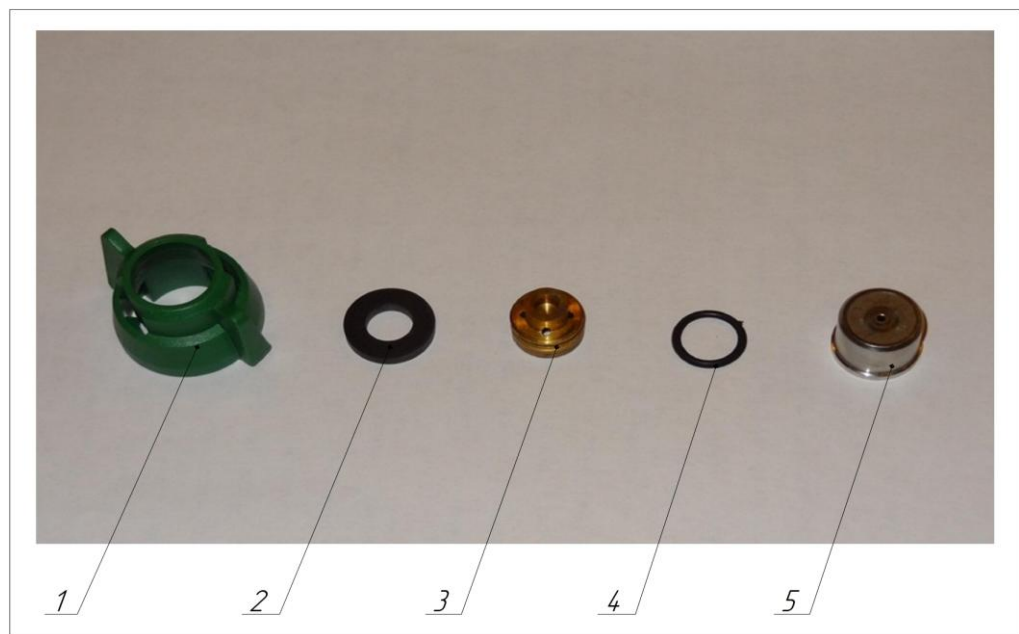


Рис. 3.6. Деталювання розпилювача:

1 – байонетка; 2 – ущільнююча прокладка; 3 – завихрювач;  
– ущільнююче гумове кільце; 5 – корпус.

4

## Висновки

1. Розроблено програму та методику експериментальних досліджень у відповідності до існуючих вимог та нормативних документів.

2. Проведено аналіз конструктивних особливостей відцентрового розпилювача та визначено прилади і обладнання, які будуть задіяні при його дослідженні.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ

В результаті проведення експериментальних досліджень за розробленою програмою та методикою і згідно плану проведення експериментів отримано вихідні дані, які необхідно систематизувати та узагальнити.

Основною вимогою до розпилувача пестицидів є рівномірний розподіл робочої рідини по поверхні зрошення за умови, що відстань між розпилувачами на штанзі обприскувача складає 0,5 м. Розрахунки показують, що розподіл робочої рідини по поверхні зрошення з коефіцієнтом варіації меншим ніж 8%, досягається за умови, що кут розкриття факелу  $2\alpha_c$  дорівнює  $90^\circ$ .

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

1. Знаходимо оптимальне відношення радіусу соплового отвору до радіусу початкового закручування  $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$  при  $k_* = 1,8$ .

Оптимальний радіус початкового закручування залежить від 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  $\alpha = \frac{R_k}{R_0} = 0$ .

2. Для отримання необхідного кута факелу  $2\alpha_c$ , приймаємо коефіцієнт заповнення сопла  $\varepsilon = 0,8$  (табл. 2.1) [17], що характеризує площу перерізу плівки в соплі.

3. 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  $2\alpha_c$ .

4. 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  $\frac{r_c}{R_k} = \left( \frac{r_c}{R_k} \right)_0 = \frac{0,0008}{0,0029} = 0,28$

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

6. Характеристику входу камери закручування розраховуємо за формулою:

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

7. Радіус соплового отвору розраховуємо за формулою

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

8. Радіус початкового закручування знаходимо за формулою

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

9. 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 осьової симетрії вибираємо кількість вхідних каналів  $m \geq 2$ .

Діаметр вхідного каналу

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

де коефіцієнтом стиснення потоку у вхідному каналі  $\chi$  враховуємо зменшення площі потоку за вхідним крайком. Значення  $\chi$  залежить від числа Рейнольдса [18].

10. Діаметр камери закручування

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

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

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

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

12. Знаходимо середній об'ємний діаметр краплин відцентрового розпилувача:

$$\frac{d_{30}}{2r_c} = \frac{15}{A^{0,9} B^{0,7} 10^{0,7k}} = \frac{15}{1,31^{0,9} \cdot 33,7^{0,7} \cdot 10^{0,7 \cdot 2,17}} = 88 \text{ мкм,} \quad (4.10)$$

де геометрична характеристика  $A$ ,

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

13. Визначаємо висоту камери закручування:

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

14. Ефективне число Рейнольдса камери закручування розраховуємо за формулою:

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

15. Уточнюємо коефіцієнт  $\eta$  відновлення обертальної швидкості на радіусі початкового закручування. 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

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

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

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

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

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

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

3. Обертальну швидкість на радіусі початкового закручування визначаємо

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

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

$$\frac{d_{30}}{2r_c} = \frac{15}{A^{0,9} B^{0,7} 10^{0,7k}} = \frac{15}{1,31^{0,9} \cdot 33,7^{0,7} \cdot 10^{0,7 \cdot 2,17}} = 88 \text{ мкм.}$$

6. Розраховуємо ефективне число Рейнольдса

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



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

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

та тиску

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

Результати аналітичних розрахунків параметрів відцентрового розпилювача наведено в додатку 1 та додатку 2.

### 4.3. Витрата рідини.

Дослідні зразки відцентрових розпилювачів «Агромодуль» номінальною розрахунковою витратою 0,6 л/хв при тиску 0,2; 0,3 та 0,4 МПа досліджували на гідравлічному стенді. Температура води під час проведення дослідів знаходилась у межах від 20 до 22 °С.

На рис. 4.4 – 4.6 показано експериментальні гідравлічні характеристики відцентрових розпилювачів.

Згідно з отриманими даними для відцентрового розпилювача з теоретичною витратою рідини 0,6 л/хв, об'ємна витрата води складе

$$Q = 3,04 \cdot 10^{-8} \sqrt{\Delta P}, \quad (4.30)$$

де  $\Delta P$  – різниця тиску у розпилювачі та атмосферним тиском, МПа. У межах зміни тиску (0,2 – 0,4 МПа) витрата рідини змінюється прямо пропорційно  $\sqrt{\Delta P}$ . У системі одиниць СІ, при витраті води у м<sup>3</sup>/с і тиску Н/м<sup>2</sup>. Коефіцієнт гідравлічної характеристики, що дорівнює для розпилювача 0,6 л/хв –  $A = 3,04 \cdot 10^{-8}$ .

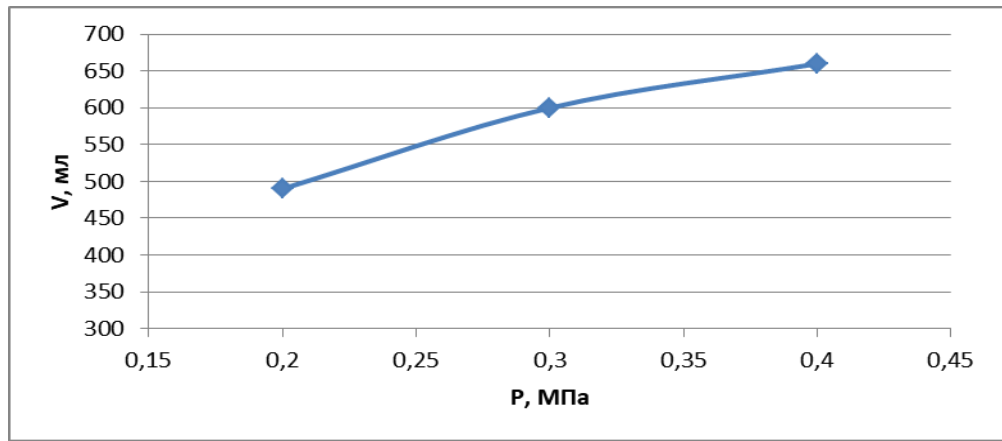


Рис. 4.4. Гідравлічна характеристика розпилювача відцентрового (Агромодуль), при  $H=0,6$  м

При густині води  $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$  для розпилювача  $0,6 \text{ л/хв}$  з радіусом сопла  $r_c = 0,80 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  –  $\mu = 0,35$ .

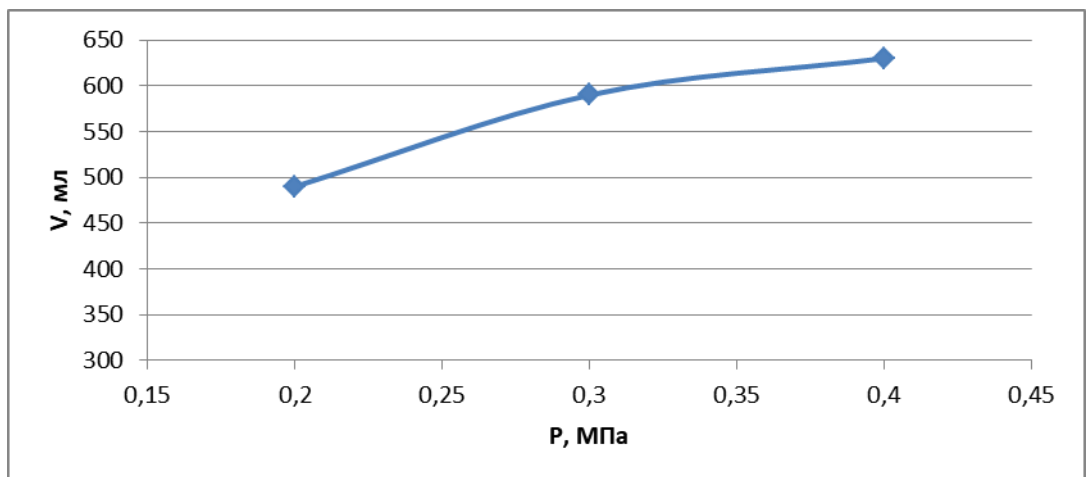


Рис. 4.5. Гідравлічна характеристика розпилювача відцентрового (Агромодуль), при  $H=0,5$  м

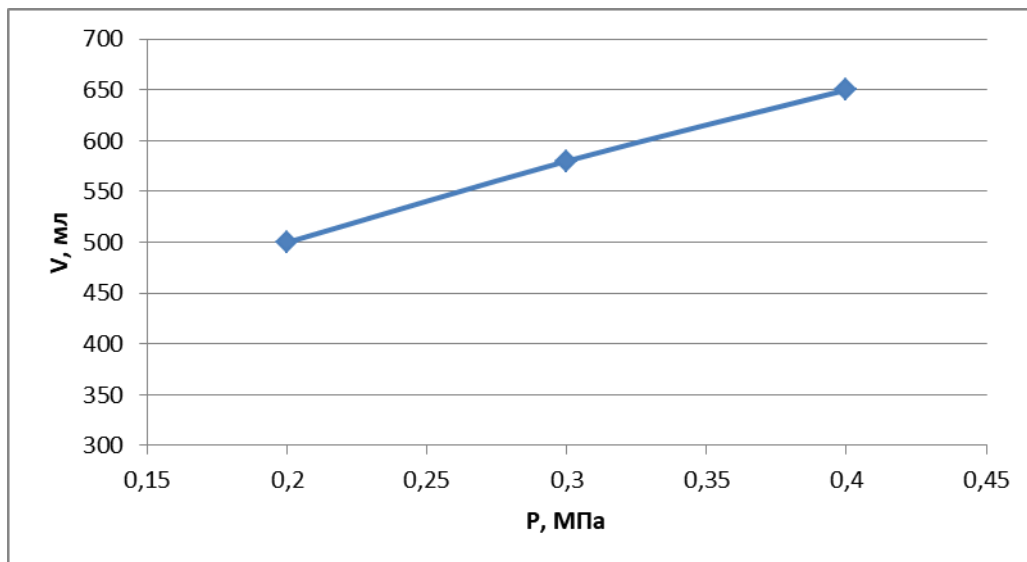


Рис. 4.6. Гідравлічна характеристика розпилювача відцентрового (Агромодуль), при  $H=0,4$  м

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

Нерівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги для розпилювачів, що були встановлені через 0,5 м, досліджували на гідравлічному стенді (рис 4.7) , приклад результатів на рис. 4.8 – 4.10.



Рис. 4.7. Фото гідравлічного стенду під час дослідження рівномірності розподілу рідини по довжині штанги

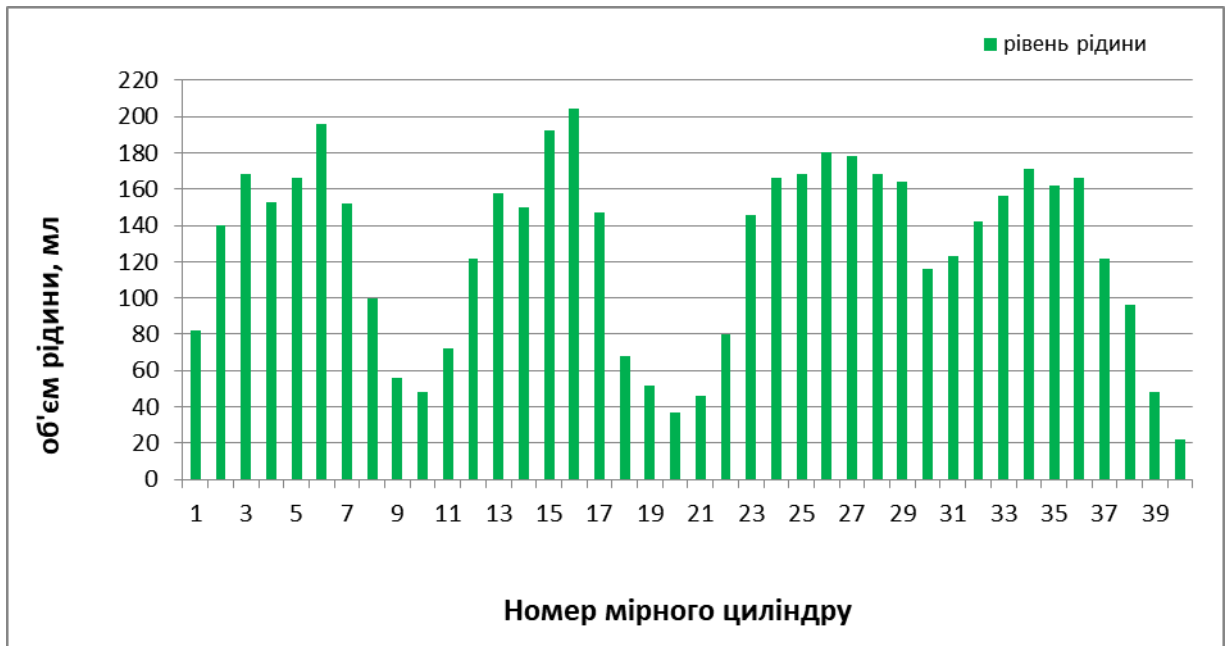


рис. 4.8. Розподіл рідини по довжині штанги, при  $P= 0,3$  МПа;  $H=0,6$  м

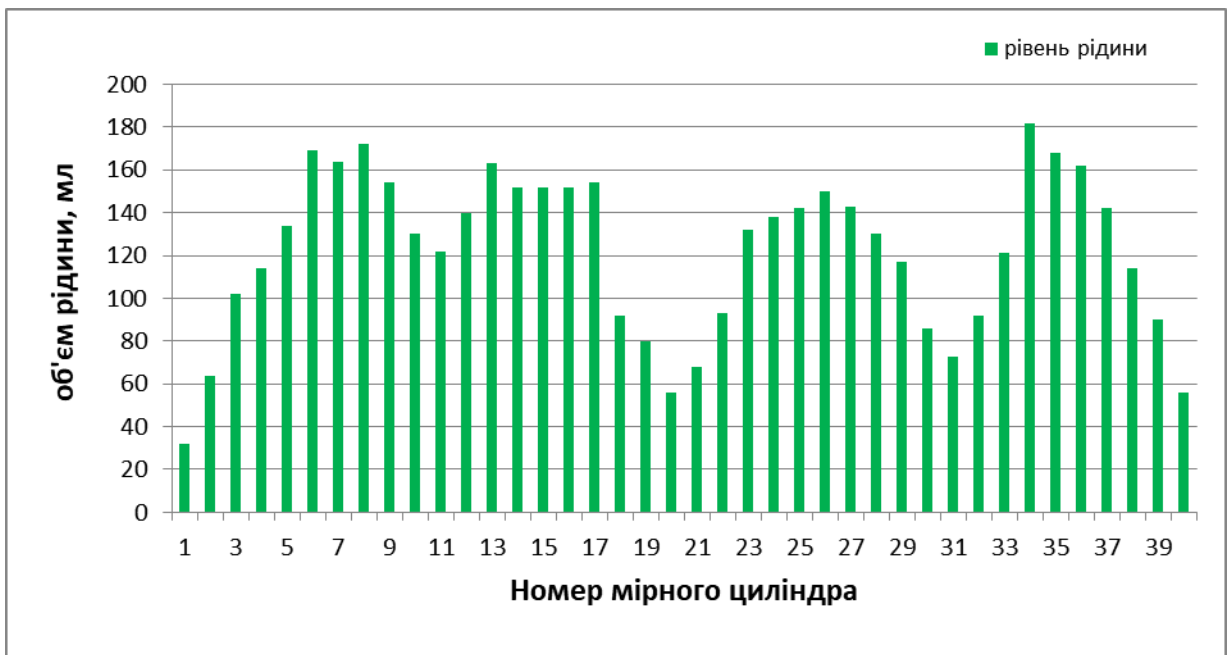


Рис.4.9.Розподіл рідини по довжині штанги, при  $P= 0,3$  МПа;  $H=0,5$  м



Рис. 4.10. Розподіл рідини по довжині штанги, при  $P=0,3$  МПа;  $H=0,4$  м  
Рівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги оцінюють коефіцієнтом варіації

$$CV = \pm \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \quad (4.31)$$

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.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{185279,9}{39}} = 68,9 \quad (4.32)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 102,45 \quad (4.33)$$

$$CV = \pm \frac{\sigma}{x} \cdot 100 = \frac{68,9}{102,45} \cdot 100\% = 67,25\%$$

Аналогічно було проведено розрахунки коефіцієнта варіації при висоті штанги 0,5 та 0,6 м, отримані результати подані в додатку 4.

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.

Залежність коефіцієнта варіації розподілу рідини по довжині штанги від тиску і висоти розпилювачів над поверхнею, що обробляється 0,4 – 0,6 м показано на рис. 4.11.

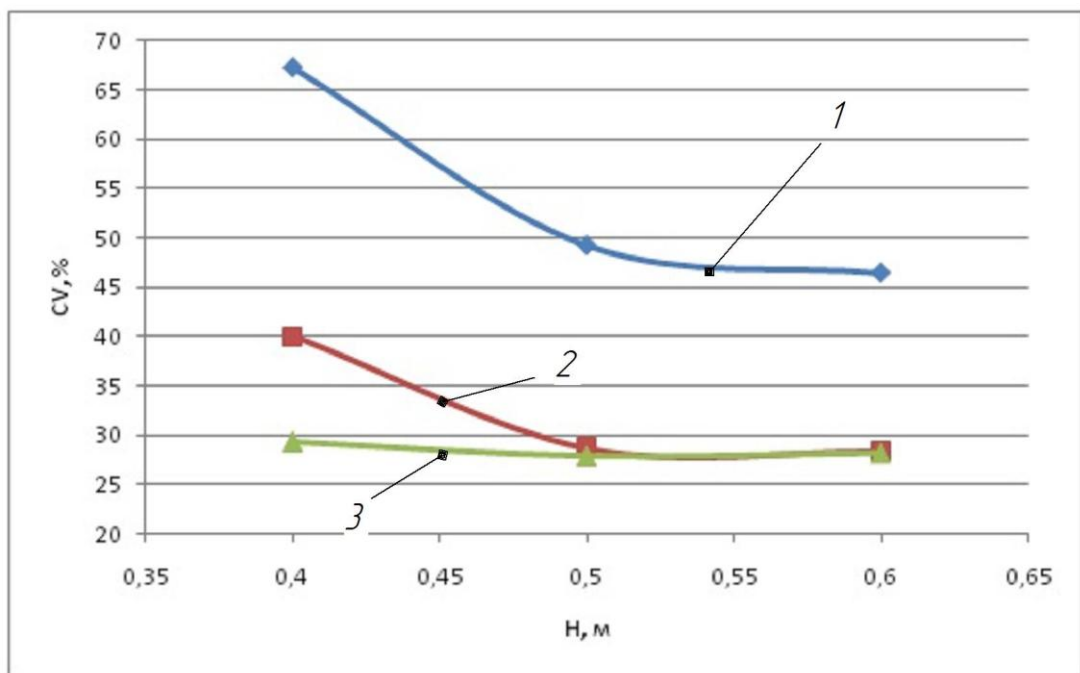


Рис. 4.11. Залежності коефіцієнту варіації розподілу від висоти розташування розпилювача для тиску: 1 - 0,2 МПа; 2 - 0,3 МПа ; 3 - 0,4 МПа.

Графік показує, що для відцентрового розпилювача з теоретичною витратою рідини 0,6 л/хв (Агромодуль) 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 %.

Для одного розпилювача розподіл рідини по поверхні зрошення на висоті 0,6 м для тиску 0,2 – 0,4 МПа зображений на рис. 4.12. Експериментальні дані по розподілу рідини для різних висот та тисків приведенні в додатку 5.

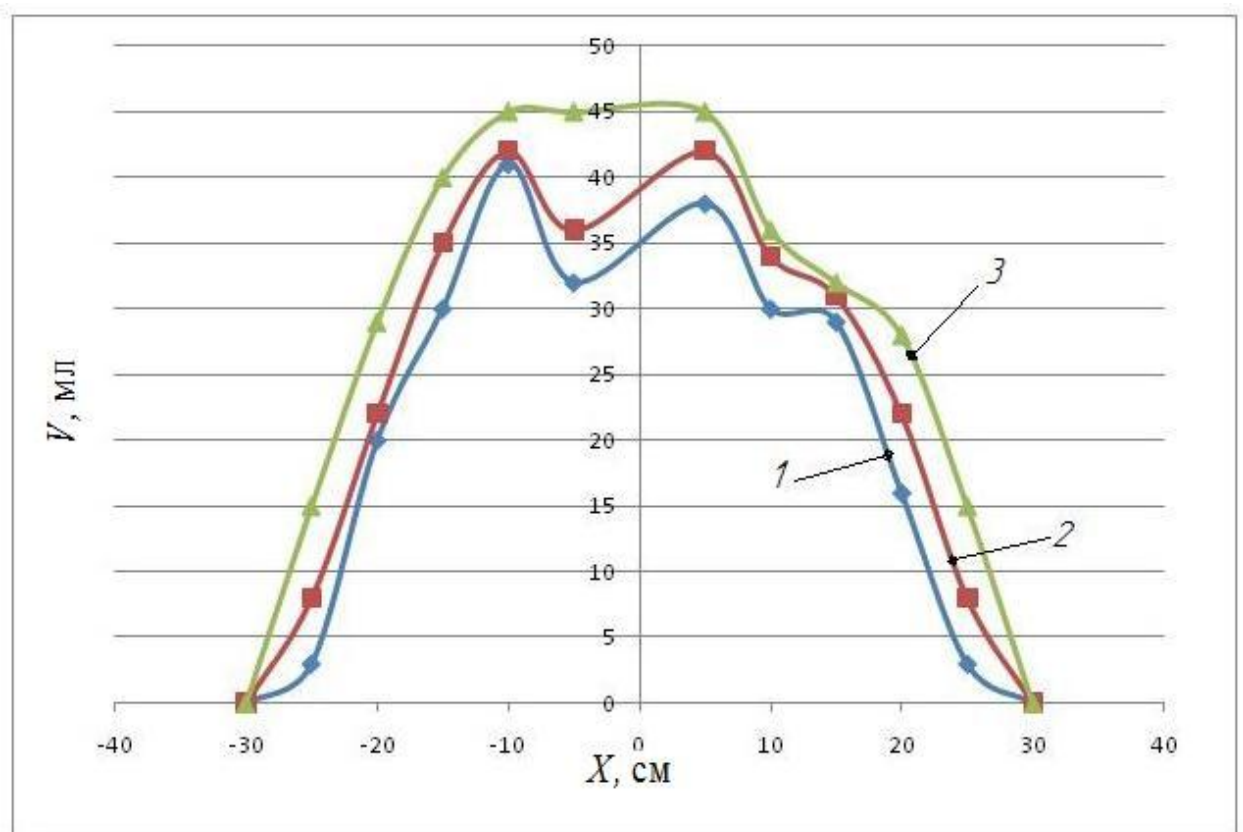


Рис. 4.12. Розподіл рідини по поверхні зрошення одного розпилювача з діаметром вихідного отвору 1,6 мм на висоті 0,6 м при тиску: 1 - 0,2 МПа; 2 - 0,3 МПа; 3 - 0,4 МПа.

### Висновки

1. Згідно отриманих даних при підвищенні тиску від 0,2 до 0,4 МПа витрата рідини підвищується від 0,49 л/хв до 0,66 л/хв відповідно. При тиску 0,3 МПа витрата відповідає оптимальному значенню, яке для розпилювачів з витратою рідини 0,6 л/хв становить 0,61 л/хв.

2. Аналітичні розрахунки камери закручування дозволяють визначати основні параметри камери відцентрових розпилювачів таких як: об'ємна витрата рідини через розпилювач  $Q = 0,6$  л/хв, кут розкриття факелу на радіусі сопла  $91^{\circ}$ , середній об'ємний діаметр краплин  $d = 88$  мкм, висота камери закручування  $h = 0,006$  м, радіус соплового отвору  $r_c = 0,0008$  м, діаметр камери закручування  $D = 0,0075$  м та інше.

3. Коефіцієнт варіації при проведенні дослідів коливається від 28,2 до 67,25%. 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 %.



## **5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1. Пестициди та їх вплив на людину.**

Хімічні речовини, що використовуються для біологічного захисту рослин, в більшості отруйні для людини і сільськогосподарських теплокровних тварин. Проникаючи в організм в невеликих кількостях, вони викликають порушення його життєдіяльності, яке в певних умовах може перейти в отруєння. Вихід отруєння залежить від властивостей і кількості отрути, стану організму і інших умов.

Токсичність пестицидів для людини, можливість отруєння ними, здатність зберігатися в зовнішньому середовищі, накопичуватися в одержуваній продукції обумовлює необхідність встановлення строгих науково обґрунтованих рекомендацій і обмежень (правил, регламентів) для кожної речовини. Такі рекомендації повинні забезпечити ефективне застосування отрутохімікатів.

Пестициди є не тільки дуже токсичними речовинами, але і досить стійкими. Стійкість пестицидів порівнюють із радіоактивними ізотопами і оцінюють також по періоду напіврозпаду – час, за який концентрація пестицидів зменшується в 2 рази. Самими стійкими є хлорорганічні пестициди.

В процесі використання пестицидів і здійснення санітарного контролю за їх застосуванням особливу увагу необхідно звертати на дотримання рекомендованих норм витрати препаратів. Завищення норм витрати може привести до значного накопичення хімічних речовин в зовнішньому середовищі і одержуваній продукції.

### **5.2. Загальні відомості про науково-дослідну лабораторію.**

Науково-дослідна лабораторія спеціалізована для проведення дослідних робіт та наукових експериментів. Специфіка лабораторного обладнання, можливість електричного привода діючих макетів технічних засобів, визначає коло вимог щодо безпечного використання обладнання під час дослідів та експериментів. Враховуючи цю специфіку лабораторії дослідники знаходячись

в ній повинні дотримуватися правил охорони праці у відповідності з «Інструкцією з охорони праці при проведенні науково-дослідних робіт».

Вимоги безпеки під час випробувань розпилювачів на лабораторному стенді:

#### **Загальні положення.**

1. До роботи на лабораторному стенді допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання з обслуговування і безпечної експлуатації устаткування та попереднє навчання й перевірку знань із питань охорони праці і мають про це відповідне посвідчення.

2. До роботи приступайте у спецодязі, упевнившись, що він не має пошкоджень, елементів, які звисають, не прилягають і можуть бути захоплені деталями, що рухаються й обертаються.

3. Не приступайте до роботи у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, у хворобливому або стомленому стані.

4. Не працюйте несправним інструментом і пристосуваннями, не використовуйте їх не за призначенням, а також не користуйтеся сторонніми предметами.

#### **Вимоги безпеки перед початком робіт.**

1. Отримайте від керівника робіт завдання.

2. Проведіть технічне обслуговування лабораторного стенду.

3. Перевірте наявність і справність захисного огороження приводу насоса.

4. Забезпечте захист струмопідвідних проводів до лабораторного стенду від механічних пошкоджень або підвісьте їх на висоту, недоступну для торкання людьми.

5. Перевірте надійність кріплення й наявність заземлення електрообладнання лабораторного стенду. Не приступайте до роботи на лабораторному стенду при відсутності заземлення.

6. Перед включенням стенду переконайтесь, що нікому із присутніх не загрожує небезпека від рухомих частин і механізмів. Вимоги безпеки під час виконання роботи.

**1. Випробування розпилювачів проводьте на чистій воді, без механічних та органічних включень.**

2. Перед включенням стенду переконайтесь, що поблизу нього відсутні люди.

3. Усувайте несправності, проводьте очищення розпилювачів, мащення й регулювання тільки при виключеному рубильнику, відключеному штепсельному з'єднанні.

#### **Вимоги безпеки після закінчення роботи.**

1. Відключіть двигун приводу насоса лабораторного стенду.

2. Очистіть обладнання та звільніть місткості та трубопроводи від води та демонтуйте розпилюючий пристрій.

3. Приберіть робоче місце. Очистіть інструмент, інвентар, пристрої і покладіть у відведене місце. Приведіть у порядок спецодяг.

#### **Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.**

1. Зупиніть лабораторний стенд при електроударі, появі стороннього шуму, вібрації, запаху горілого, іскор і полум'я.

2. При появі напруги на корпусі стенду терміново відключіть загальний рубильник. Викличте чергового електрика. Усі пошкодження електроприводів, пульту управління, силової й освітлювальної мереж повинен усувати тільки електрик.

3. При враженні працівника електричним струмом як можна швидше звільніть потерпілого від його дії (тривалість дії струму визначає тяжкість травмування), для цього негайно відключіть рубильник чи інший пристрій.

4. При неможливості швидкого відключення електроустановки вживте заходів щодо звільнення потерпілого від струмоведучих частин, користуючись мотузкою, палицею, дошкою чи іншими сухими діелектричними предметами, або відтягніть потерпілого за одягу (якщо вона суха і відстає від тіла),

наприклад за поли піджака, за комір, при цьому уникайте дотику з оточуючими металевими предметами й частинами тіла потерпілого, не покритими одягом.

5. Якщо потерпілий торкається проводу, який лежить на землі, то перш ніж підійти до нього положіть собі під ноги суху дошку, згорток сухої одежі або суху, що не проводить електричний струм, підставку і відокремте провід від потерпілого за допомогою сухої палиці, дошки. При цьому рекомендується діяти по можливості однією рукою.

6. У разі, якщо потерпілий судорожно стискає в руці один струмоведучий елемент (наприклад провід), відокремте потерпілого від землі (просуньте під нього суху дошку, відтягніть ноги від землі мотузкою або за одягу).

5.3. Розрахунок захисного заземлення лабораторного стенду для дослідження розпилювачів.

Металеві неструмоведучі частини лабораторного стенду при порушенні ізоляції між ними і їхніми струмоведучими частинами можуть опинитись під напругою. У таких аварійних умовах дотик до неструмоведучих частин установок рівнозначний дотику до струмоведучих частин. Усунення небезпеки ураження електричним струмом при такому переході напруги на неструмоведучі частини електроустановок у мережах з ізольованою нейтраллю здійснюється за допомогою захисного заземлення (рис.5.1).

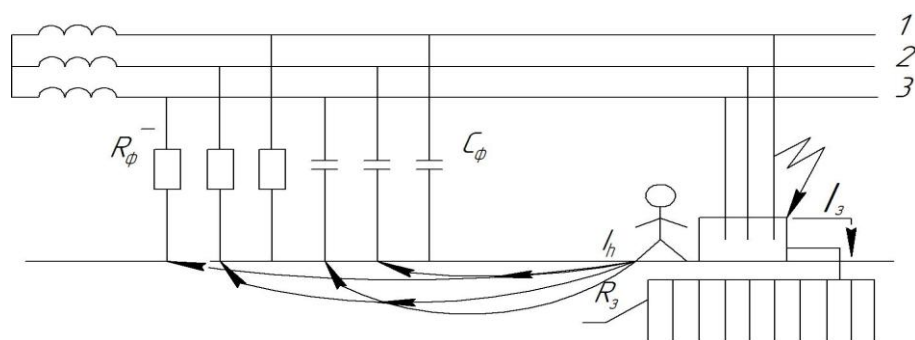


Рис.5.1. Захисне заземлення

Під захисним заземленням розуміють з'єднання металевих неструмоведучих частин електроустановок з землею через заземлюючі провідники і заземлювачі для створення між цими частинами і землею малого опору. При виникненні замикання на корпус електроспоживача із фаз мережі

через заземлюючий пристрій починає протікати струм  $I_3$  (струм замикання на землю), викликаний наявністю опорів ізоляції фаз мережі  $R_{\phi_3}$  і ємностей фаз відносно землі  $C_{\phi_3}$ .

Частина цього струму  $I_h$  відгалужується на тіло людини, яка торкається металевих неструмоведучих частин електроустановки.

Розрахунок захисного заземлення проведемо методом коефіцієнтів використання електродів для однорідної структури ґрунту і простих заземлюючих пристроїв.

Приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку:

- допустимий опір розтікання струму землі заземлюючого пристрою (вимоги ПУЕ)  $R_{3\text{ норм}} = 4 \text{ Ом}$ ;
- питомий опір ґрунту в місці спорудження заземлювача: ґрунт – суглинок,  $\rho_3 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;
- тип заземлювача і його конструктивні розміри: труба діаметром  $d = 30 \text{ мм}$  та довжиною  $L = 3 \text{ м}$ .
- конструкція заземлюючого пристрою: заземлювачі розташовані в ряд.

1. Визначаємо розрахунковий питомий опір землі  $\rho_{pz} = \phi \cdot \rho_3$ ,

де  $\phi$  - коефіцієнт сезонності, який враховує можливі коливання питомого опору землі при зміні вологості ґрунту протягом року. Значення  $\phi$  визначається за довідковими даними; приймаємо  $\phi = 1,1$ .

Тоді  $\rho_{pz} = \phi \cdot \rho_3 = 1,1 \cdot 100 = 110 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

2. Визначаємо опір розтікання струму в землі одного вертикального заземлювача заглибленого на  $h$  (рис. 5.2) від поверхні землі за формулою:

$$R_g = \rho_{pz} / 2\pi L [\ln(2L/d) + (1/2)\ln((4t+L)/(4t-L))],$$

де  $R_g$  - опір розтікання струму в землі вертикального заземлювача;

$\rho_{pz}$  - розрахунковий питомий опір землі, Ом·м;

$L$  - довжина заземлювача, м;

$d$  - діаметр заземлювача, м;

$t$  - віддаль від поверхні землі до середини заземлювача, м. Приймаємо  $t=1,7$

м.

Підставивши дані, маємо:

$$R_g = 110 / 2 \cdot 3,14 \cdot 3 [\ln(2 \cdot 3 / 0,03) + (1/2) \ln((4 \cdot 1,7 + 3) / (4 \cdot 1,7 - 3))] = 1,01 \text{ Ом.}$$

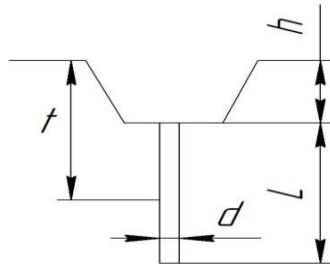


Рис. 5.2. Схема розташування вертикального заземлювача в ґрунті:

$h$  – глибина розташування заземлювача в ґрунті, м,  $L$  – довжина заземлювача,

м;  $d$  – діаметр заземлювача, м;

$t$  – віддаль від поверхні ґрунту до середини заземлювача, м.

3. Визначаємо кількість вертикальних заземлювачів  $n$ :

$$n = R_g / R_{з.норм.} = 1,01 / 4 = 0,25$$

4. Визначаємо коефіцієнт використання заземлювачів  $\eta_g$ , який враховує ефект екранування при вибраному значенні  $K=a/L$ , де  $a$  - віддаль між заземлювачами, м;  $L$  - довжина заземлювача, м. Приймаємо  $K=1$ .

Тоді у відповідності до довідкових даних маємо  $\eta_g=0,85$ .

5. Визначаємо кількість заземлювачів  $n$  з урахуванням  $\eta_g$  за формулою:

$$n = R_g / (R_{з.норм.} \cdot \eta_g) = 1,01 / 4 \cdot 0,85 = 0,32$$

Остаточню приймаємо  $n=2$ .

Виконання заземлення

Електроди забивають в ґрунт так, щоб верхній кінець був на 0,3 м нижче від поверхні землі. Чим глибше заземлювач в ґрунті, тим менше змінюється опір при сезонних змінах (промерзанні взимку і висиханні ґрунту влітку).

Кожен елемент установки, який заземлюється, приєднують до заземлення або до заземлюючої магістралі окремим провідником. Заземлюючими

провідниками при відкритій прокладці обираємо ізольовані мідні провідники перерізом не менше 1,5 мм<sup>2</sup>.

#### Висновок

В даному розділі провели аналіз охорони праці при роботі з пестицидами. Також були наведені правила безпеки під час випробувань розпилувачів на лабораторному стенді. При аналізі нещасних випадків з графіка видно, що в останні роки кількість травмованих значно зменшилася. Це свідчить про підвищення умов роботи з пестицидами в господарствах України. Розраховано параметри заземлення лабораторного стенду, виконання якого гарантує безпеку при роботі цієї електроустановки

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

Метою розрахунку економічної ефективності є визначення таких основних параметрів, як річний економічний ефект та термін окупності удосконаленої машини. Рекомендована методика розрахунку [44] дозволяє визначити доцільність застосування удосконалення у виробництві.

Таблиця 6.1

Вихідні дані до розрахунку

	Показники	Варіанти	
		Базовий	Проектний
1	Вид роботи, що виконується	Обприскування	
2	Склад агрегату	Беларус-82.1+ ОПШ-2000	Беларус-82.1+ ОПШ-2000М
3	Обсяг роботи, га	2000	2000
4	Продуктивність агрегату за годину робочої зміни, га/год.	17,2	21,5
5	Балансова вартість агрегату, грн.:		
	трактора	175000	175000
	обприскувача	146300	148000
	Всього:	321300	323000
6	Тривалість зміни, год.	6	6
7	Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
8	Вартість палива, грн/кг	32	32



Для проведення економічної оцінки проекту необхідно визначити такі показники:

1. Змінна продуктивність агрегату ( $W_{зм}$ ), га/зм;

$$W_{зм.} = W_{зод.} \cdot 6;$$

$$W_{зм}^{\sigma} = 17,2 \cdot 6 = 103,2$$

$$W_{зм}^n = 21,5 \cdot 6 = 129$$

2. Витрати робочого часу на одиницю роботи агрегату ( $B$ ), люд.-год./га:

$$B = \frac{K_{пр} \cdot T_{зм}}{W_{зм}},$$

$$B^{\sigma} = \frac{1 \cdot 6}{103,2} = 0,058$$

$$B^n = \frac{1 \cdot 6}{129} = 0,047$$

3. Нормативне завантаження агрегату ( $T_n$ ), га:

$$T_n = \frac{Q}{W_{зод}},$$

$$T_n^{\sigma} = \frac{2000}{17,2} = 116,28,$$

$$T_n^n = \frac{2000}{21,5} = 93,02.$$

4. Нормативні витрати на ТО, ПР, КР, зберігання:

$$H_{рем} = \frac{B \cdot 0,097 \cdot W_{зод}}{T_n},$$

$$H_{рем}^{\sigma} = \frac{321300 \cdot 0,097 \cdot 17,2}{116,28} = 4610,05$$

$$H_{рем}^n = \frac{323000 \cdot 0,097 \cdot 21,5}{93,02} = 7241,63$$

Для розрахунку економічної ефективності визначаємо показники наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2.

## Розрахункові показники впровадження проекту

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. всього:	$EB^{\delta}$	$EB^n$
в т.ч. заробітна плата з нарахуваннями, грн.	$ЗП^{\delta}$	$ЗП^n$
амортизаційні відрахування, грн.	$A^{\delta}$	$A^n$
вартість ПММ, грн.	$B_{пмм}^{\delta}$	$B_{пмм}^n$
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	$B_{рем}^{\delta}$	$B_{рем}^n$
інші витрати.	$IB^{\delta}$	$IB^n$
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	$KB^{\delta}$	$KB^n$
Приведені витрати на 1 га, грн.	$ПВ^{\delta}$	$ПВ^n$
Річний економічний ефект, грн.	-	$E_p$
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	$T_o$

5. Експлуатаційні витрати ( $EB$ ) всього, грн./га:

$$EB = ЗП + A + B_{пмм} + B_{рем} + IB$$

де  $ЗП$  – заробітна плата з нарахуваннями, грн./га:

$$ЗП = \frac{ТС}{W_{год}} \cdot 1,2 \cdot 1,22,$$

$ТС$  – тарифна ставка, грн. ( $ТС = 11,18$ ) [44];

1,2 – коефіцієнт, що враховує додаткову доплату;

1,22 – коефіцієнт, що враховує розмір відрахувань на соціальні заходи [44];

$$ЗП^{\delta} = \frac{11,18}{17,2} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 1,06,$$

$$ЗП^n = \frac{11,18}{21,5} \cdot 1,2 \cdot 1,22 = 0,85.$$

- амортизація основних засобів, грн./га:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100 \cdot Q},$$

де  $B$  - балансова вартість, грн.;

$\lambda$  - норма амортизації, % ( $\lambda = 17,5$  для трактора та  $\lambda = 14,2$  для обприскавача) [44];

$Q$  – обсяг робіт, га або т;

для трактора Беларус-82.1:

$$A^{\bar{}} = \frac{175000 \cdot 17,5}{100 \cdot 2000} = 15,3,$$

для обприскувача:

$$A^{\bar{}} = \frac{146300 \cdot 14,2}{100 \cdot 2000} = 10,4,$$

$$A^n = \frac{148000 \cdot 14,2}{100 \cdot 2000} = 10,5.$$

Всього  $A^{\bar{}} = 25,3$  грн./га та грн./га  $A^n = 25,8$

- витрати на ПММ, грн./га:

$$B_{пмм} = H_{пмм} \cdot Ц_k,$$

де  $H_{пмм}$  - норма витрати палива, кг/га ( $H_{пмм} = 0,6$  для базового агрегату та  $H_{пмм} = 0,4$  для проектного);

$Ц_k$  - комплексна ціна 1 кг ПММ, грн. ( $Ц_k = 32$  грн.);

$$B_{пмм}^{\bar{}} = 0,6 \cdot 32 = 19,2,$$

$$B_{пмм}^n = 0,4 \cdot 32 = 12,8.$$

- затрати на КР, ПР, ТО та зберігання, грн./га:

$$B_{рем} = \frac{K \cdot H_{рем}}{W_{год}},$$

де  $K$  – коефіцієнт переводу тракторів в умовні еталонні ( $K = 0,7$ ) [44];

$H_{рем}$  – норма відрахувань на КР, ПР, ТО та зберігання;

$W_{год}$  – годинна продуктивність агрегату га/год;

$$B_{рем}^{\bar{}} = \frac{0,7 \cdot 12,5}{17,2} = 0,5,$$

$$B_{рем}^n = \frac{0,7 \cdot 12,5}{21,5} = 0,4.$$

-  $IB$  – інші витрати складають 3 % від загальної суми експлуатаційних витрат, грн. [44]:

$$IB = (ЗП + A + B_{нмм.} + B_{рем}) \cdot 3 / 100,$$

$$IB^{\delta} = \frac{(1,06 + 25,3 + 19,2 + 0,5) \cdot 3}{100} = 1,38 (\text{грн} / \text{га})$$

$$IB^n = \frac{(0,85 + 25,8 + 12,8 + 0,4) \cdot 3}{100} = 1,12 (\text{грн} / \text{га})$$

Отже експлуатаційні витрати будуть дорівнювати:

$$EB^{\delta} = 1,06 + 25,3 + 19,2 + 0,5 + 1,38 = 47,44 (\text{грн} / \text{га})$$

$$EB^n = 0,85 + 25,8 + 12,8 + 0,4 + 1,12 = 40,97 (\text{грн} / \text{га})$$

6. Капітальні вкладення ( $KB$ ) на 1 га, грн.:

$$KB = \frac{B}{Q};$$

для трактора:

$$KB^{\delta} = \frac{175000}{2000} = 87,5;$$

для обприскувача:

$$KB^{\delta} = \frac{146300}{2000} = 73,15,$$

$$KB^n = \frac{148000}{2000} = 74,0.$$

Всього  $KB^{\delta} = 160,65$  грн/га та  $KB^n = 161,5$  грн/га.

7. Приведені витрати на 1 га, грн.:

$$ПВ = EB + 0,15 \cdot KB,$$

$$ПВ^{\delta} = 47,44 + 0,15 \cdot 160,65 = 71,54,$$

$$ПВ^n = 40,97 + 0,15 \cdot 161,5 = 65,2.$$

8. Приведені витрати на весь обсяг робіт, грн.:

$$ПВ_Q = ПВ \cdot Q,$$

$$ПВ_Q^{\delta} = 71,54 \cdot 2000 = 143080,$$

$$ПВ_Q^n = 65,2 \cdot 2000 = 130400.$$

9. Річний економічний ефект, грн.:

$$E_p = [ПВ_Q^{\delta} - ПВ_Q^n] = 143080 - 130400 = 12680 (\text{грн} / \text{рік})$$

10. Термін окупності капітальних вкладень ( $T_o$ ), років:

$$T_o = \frac{\Delta KB}{E_p} = \frac{1700}{12680} = 0,1 \text{ року,}$$

де  $\Delta KB$  – розмір додаткових капітальних вкладень по проекту, який визначається по різниці капітальних вкладень.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.3.

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.	1,06	0,85
амортизаційні відрахування, грн.	25,3	25,8
вартість ПММ, грн.	19,2	12,8
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	0,5	0,4
інші витрати.	1,38	1,12
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	160,7	161,5
Приведені витрати на 1 га, грн.	71,54	65,2
Річний економічний ефект, грн.	-	12680
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,1

### Висновок:

Одержані результати свідчать про економічну доцільність впровадження відцентрових розпилювачів для внесення робочих розчинів пестицидів. Підставами для цього є одержання річного економічного ефекту в розмірі майже 13 тис. грн. та терміну окупності додаткових капітальних вкладень за один сезон експлуатації

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розпилювач є ключовим елементом в технічних засобах для обприскування і від нього залежить ефективність хімічного захисту рослин та мінімізація небезпечних наслідків використання пестицидів.

2. Примусове осаджування краплин у факелі відцентрового розпилювача дозволяє зменшити витрату робочої рідини не менше ніж у шість разів зі збереженням ефективності застосування пестицидів та дотриманням існуючих агротехнічних вимог до густоти покриття краплинами поверхні зрошення, завдяки гарантованому осаджуванню дрібних краплин.

3. Аналітичні розрахунки камери закручування дозволяють визначати основні параметри камери відцентрових розпилювачів таких як: об'ємна витрата рідини через розпилювач  $Q = 0,6$  л/хв, кут розкриття факелу на радіусі сопла  $91^{\circ}$ , середній об'ємний діаметр краплин  $d = 88$  мкм, висота камери закручування  $h = 0,006$  м, радіус соплового отвору  $r_c = 0,0008$  м, діаметр камери закручування  $D = 0,0075$  м та інше.

4. Згідно отриманих даних при підвищенні тиску від 0,2 до 0,4 МПа витрата рідини підвищується від 0,49 л/хв до 0,66 л/хв відповідно. При тиску 0,3 МПа витрата відповідає оптимальному значенню, яке для розпилювачів з витратою рідини 0,6 л/хв становить 0,61 л/хв.

5. Коефіцієнт варіації розподілу рідини відцентрового розпилювача з витратою 0,6 л/хв коливається від 28,2 до 67,25%. 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 %.

6. Досягнуте покращення розпилення, густота покриття краплинами поверхні зрошення дозволяють зменшити норми витрати пестицидів і робочої рідини під час обприскування на 25 – 50 %.

7. Розроблено інструкцію з охорони праці при роботі на лабораторному стенді під час випробувань розпилювачів та розраховано

параметри заземлення обладнання, виконання якого гарантує безпеку при роботі цієї електроустановки.

8. При розрахунку економічної ефективності випробувань одержані результати свідчать про доцільність перспективного використання удосконаленого розпилювача для внесення робочих розчинів пестицидів. Підставами для цього є одержаний річний економічний ефект в розмірі майже 13 тис. грн. та термін окупності додаткових капіталовкладень за один сезон використання.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Державна цільова програма реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі на період до 2015 року, постанова Кабінету Міністрів України від 30.05.2007 р. № 785.
2. Обприскувачі-опилювачі для внесення засобів захисту рослин і рідинних добрив. Захист довкілля. Частина 2. Обприскувачі польових культур (EN 12761-2:2004, IDT) : ДСТУ EN 12761-2:2004 – [Чинний з 2006-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 12 с. – (Національний стандарт України).
3. Кобылко В. Г. Щелевые распылители для внесения гербицидов / В. Г. Кобылко, Л. Н. Козин // Защита растений. – 1983. – № 2 – С. 34–35.
4. Коваль В. П. Відцентровий розпилювач пестицидів / В. П. Коваль, О. І. Мележик // Захист рослин. – 1999. – № 1. – С. 21–22.
5. Брич М. А. Математическое моделирование взаимодействия диспергированной жидкости с нагретыми поверхностями: автореф. дис. на получение науч. степени канд. физ.-мат. наук : спец. 01.04.14 "Теплофізика и молекулярная фізика" / М. А. Брич. – Минск, 1987. – 22 с.
6. Коваль В. П. Малооб'ємне обприскування / В. П. Коваль, О. І. Мележик // Карантин і захист рослин. – 2009. – № 7. – С. 17–20.
7. Коваль В. П. Відцентровий розпилювач / В. П. Коваль, О. І. Мележик // Карантин і захист рослин. – 2005. – № 3. – С. 28–29.
8. Галустов В. С. Прямочные распылительные аппараты в теплоэнергетике / В. С. Галустов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
9. Лаатс М. К. О допущениях, принятых при расчете двухфазной струи / М. К. Лаатс, Ф. А. Фришман // Изв. АН СССР. Механика жидкостей и газа, 1972. – № 2 – С. 186–191.
10. Лаатс М. К. Разработка методики и исследование интенсивности турбулентности на оси двухфазной турбулентной струи / М. К. Лаатс, Ф. А. Фришман // Изв. АН СССР. Механика жидкостей и газа, 1972. – № 2.

11. Абрамович Г. Н. О влиянии примеси твердых частиц или капель на структуру турбулентной газовой струи / Г. Н. Абрамович. – Докл. АН СССР, 1970, Т. 190, № 5, С. 1052–1054.
12. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 716 с.
13. Симаков Н. Н. Гидродинамика двухфазных потоков в процессах с форсуночным распылением жидкости: дис. кандидата тех. наук / Симаков Н. Н. – Ярославль, ЯПИ. 1987. – 241 с.
14. Симаков Н. Н. Численное моделирование двухфазного потока в факеле распыла форсунки / Н. Н. Симаков // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2002. – Т. 45. Вып. 7 – С. 125–129.
15. Симаков Н. Н. Кризис сопротивления капель при переходных числах Рейнольдса в турбулентном двухфазном потоке факела распыла механической форсунки / Н. Н. Симаков // Журнал технической физики. – 2004. Т. 74. вып. 2. – С. 46–51.
16. Коваль В. П. Методика выбора размеров центробежной форсунки по мелкости распыла жидкости / В. П. Коваль, В. И. Бондаренко // Энергетика и электрификация. – 1975. – № 5. С. 41–43.
17. Коваль В. П. Совершенствование энергетических аппаратов с вихревой камерой: Дис. доктора тех. наук: 05.14.04 / Коваль Владимир Павлович. – Днепропетровск, 1989. – 440 с
18. Клячко Л. А. Некоторые вопросы гидравлики центробежных форсунок: дис. канд. техн. наук / Л. А. Клячко. – М., 1949.
19. Розпилувачі відцентрові. Технічні умови: ТУ У 29.3-31177688-002:2006. – [чинний від 2006-05-17]. – Дніпропетровськ: Агромодуль, 2006. – 11 с.
20. Патент № 24416. Розпилувач для обприскування рослин. Автор Коваль В. П.
21. Барановский А. Принудительное осаждение капель / А. Барановский, В. Марченко, В. Пятаченко // Зерно. – 2007. - № 11 – С. 74–80.

22. Лепехин Н. С. Дисперсная характеристика распылителей жидкости для защиты растений / Н. С. Лепехин, А. А. Цырин, А. Д. Аскеров // Механизация технологических процессов защиты растений: Сборник научных трудов. – М.: Агропромиздат, 1991. С. 92–101.
23. Лысов А. К. Совершенствование механизации опрыскивания растений / А. К. Лысов // Защита и карантин растений. – 2003. – № 9. – С. 38–39.
24. Опрыскиватель малообъемный прицепной штанговый ОП-2000-2-05. Руководство по эксплуатации. Львов: Пустомытовская районная типография, 1993. – 83 с.
25. Санін В. А. Прогресивний спосіб обприскування з примусовим повітряним осадженням розпилюваної рідини / В. А. Санін // Новини захисту рослин. Додаток до журналу Пропозиція. – вересень 1998. – С. 28–30.
26. Самсонов Ю. Н. Математическое моделирование и полевые эксперименты измерения первичных и вторичных воздушных сносов пестицидов при различных методах их применения / Ю. П. Самсонов, В. И. Макаров, К. П. Куценогий [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 1996. – № 4. – С. 139–148.
27. Штангове опрыскиватели с вращающимися распылителями / Н. В. Никитин, Ю. Я. Спиридонов, В. А. Абубикеров [и др.] // Защита и карантин растений. – 2005. – № 3. – С. 46–48.
28. Галустов В. С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике / В. С. Галустов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
29. Гончар М. Н. Исследование технологических свойств рабочих жидкостей, для борьбы с болезнями и вредителями сельскохозяйственных культур / М. Н. Гончар // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Наукове фахове видання. Випуск 1. Т. 22. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 121–125.

30. Коваль В. П. Методика выбора размеров центробежной форсунки по углу конуса распыла жидкости / В. П. Коваль, В. И. Бондаренко // Теплоэнергетика. – 1975. – № 1. С. 53–55.
31. Розпилювачі відцентрові. Технічні умови: ТУ У 29.3-31177688-002:2006. – [чинний від 2006-05-17]. – Дніпропетровськ : Агромодуль, 2006. – 11 с.
32. Випробування сільськогосподарської техніки. Обприскувачі тракторні та самохідні. Методи випробувань: СОУ 74.3-37-266:2005. – [чинний від 2005-12-23]. – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 65 с. (Стандарт Мінагрополітики України).
33. Обладнання для захисту рослин. Обприскувачі. Частина 1. Методи випробування насадок для розприскування (ISO 5682-1:1996, IDT): ДСТУ ISO 5682-1:2005. – [Чинний від 2007-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 13 с. – (Національний стандарт України).
34. Колпачки и сердечники распыливающих наконечников. Технические условия: ГОСТ 2006–79. [введ. 04.06.79]. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 10 с. – (Государственный стандарт СССР).
35. Механизация защиты растений. Справочник / [Велецкий И. Н., Лысов А. К., Лепехин Н. С. и др.] – М. : Агропромиздат, 1992. – 223 с.
36. Сушко І. Світові тенденції розвитку машин для хімічного захисту рослин / І. Сушко // Пропозиція. – 2002. – № 6 – С. 95–99.
37. Дунский В. Ф. Монодисперсные аэрозоли / Дунский В. Ф., Никитин Н. В., Соколов М. С. – М. : Наука, 1975. – 191 с.
38. Яворский Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. – М.: Наука, 1978. – 944 с.
39. Санин В. А. Малообъемное и ультрамалообъемное опрыскивание / В. А. Санин. – К.: Урожай, 1978. – 145 с.
40. Жолоб В. М. Экспериментальное исследование вихревых нитей, генерируемых закрученным потоком / В. М. Жолоб, В. П. Коваль // Прикладная механика. – 1978. – Т. XIV, № 3. – С. 132–134.

41. Распыливание жидкостей / [Ю. Ф. Дитякин, Л. А. Клячко, Б. В. Новиков, В. И. Ягодкин]. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.

42. Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах бакалаврів та дипломних роботах спеціалістів і магістрів факультету механізації сільського господарства. / ДДАУ. Дніпропетровськ, 2008 – 23 с.

43. 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.

# ***ДОДАТКИ***

**Кобець О.М., к.т.н., доц., Сокол Т.А., Ткаліч В.С., студенти.**  
*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро*  
E-mail: ddau-shmk@ukr.net

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДЦЕНТРОВИХ РОЗПИЛЮВАЧІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Постановка проблеми. Внесення пестицидів в краплинно-рідкому стані (обприскування) є базовою технологією в захисті рослин від шкідників, хвороб та бур'янів. При цьому обприскування як спосіб хімічного захисту має ряд беззаперечних переваг та суттєвих недоліків. Універсальність та доступність використання, швидка та надійна дія визначили пріоритетність обприскування в технологіях захисту рослин, при цьому негативними наслідками обприскування є забруднення навколишнього середовища та загроза корисним організмам, які входять в агробіоценози.

Ключовим елементом обприскуючої техніки є робочий орган – розпилувач, від якості роботи (розпилювання) якого в значній мірі залежить економічна і біологічна ефективність використання засобів захисту рослин, їх екологічна безпека. Найбільш поширеними типами розпилувачів є гідравлічні: щілинні, відцентрові, дефлекторні.

Основними вимогами, що ставляться до розпилувачів є забезпечення необхідної витрати робочої рідини при заданому тиску, дисперсності розпилення, довговічності та надійності роботи.

Виробники сучасних розпилюючих пристроїв все більше уваги приділяють поряд з підвищенням якості розпилення збільшенню ресурсу розпилувача та його надійності в роботі, у відповідності до чого дослідження в даному напрямку є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вимоги до строку служби розпилувача міжнародними стандартами не встановлені. Це дає змогу виготовляти розпилувачі з різних матеріалів. Традиційними матеріалами з яких виготовляють робочу частину розпилувача є латунь, нержавіюча сталь, кераміка. В останні роки цей перелік поповнився сучасними полімерними матеріалами, які по зносостійкості не поступаються нержавіючій сталі але більш технологічні та дешевші [1;2].

Результати досліджень закономірностей впливу зношення розпилувачів з різних матеріалів (латунь, нержавіюча сталь та полімер) на дисперсність та гідравлічну характеристики [3] свідчать про переваги розпилувачів, які виготовлені із полімеру в порівнянні з нержавіючою сталлю і особливо з латунню.

Метою досліджень є розробка методики та проведення експериментальних досліджень по визначенню довговічності відцентрових розпилувачів, виготовлених з металу та полімеру.

Виклад основного матеріалу. Програмою експериментальних досліджень відцентрових розпилювачів передбачалось визначення впливу наробітку розпилювача на його експлуатаційні показники: хвилину витрату та розподіл рідини по ширині факелу.

На рис. 1 показано загальний вид і конструктивну схему відцентрового розпилювача, розробленого ТОВ «АгроМодуль» (м. Дніпро). Складовими розпилювача є корпус 1, сопло 2, завихрювач 3 і гумове кільце 4.

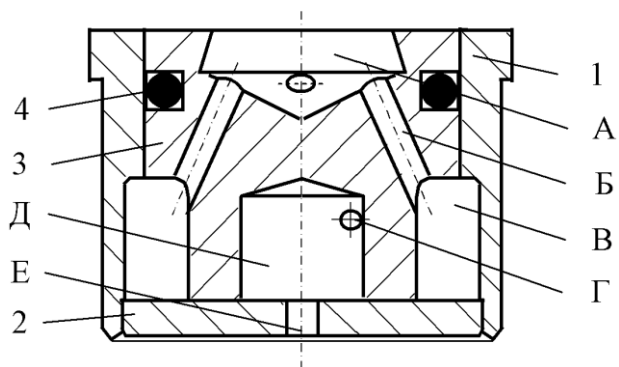


Рис. 1. Загальний вигляд і конструктивна схема відцентрового розпилювача: 1- корпус; 2- сопло; 3- завихрювач; 4- гумове кільце.

Методикою проведення експериментальних досліджень передбачалось визначення відносного ресурсу відцентрових розпилювачів при використанні робочої рідини з домішкою 20 г/л мікрозернистого оксиду алюмінію (згідно з ДСТУ ISO 5682-1:2005), яку необхідно замінити після 50 проходжень через розпилювач.

Експериментальні дослідження відцентрових розпилювачів виконувались в лабораторних умовах на розроблених та виготовлених стендах.

У ході проведення досліджень періодично визначалась хвилинна витрата рідини через розпилювач, розподіл її по ширині факелу та за допомогою мікроскопу фіксувались геометричні параметри соплового отвору відцентрового розпилювача.

Експериментальні дослідження передбачали визначення відносної довговічності при гідроабразивному зношуванні відцентрових розпилювачів виготовлених з металу та полімеру, при чому корпус металевого розпилювача виготовлений з корозостійкої сталі, а завихрювач з латуні.

За результатами проведення експериментальних досліджень було побудовано графічну залежність відносної витрати рідини відцентровими розпилювачами від часу роботи (рис. 2).

Аналіз відносної витрати рідини відцентровими розпилювачами при гідроабразивному зношуванні свідчить про те, що до 5 годин роботи розпилювача, виготовленого з металу, збільшення витрати рідини майже не відбувається, а у розпилювача, виготовленого з полімеру протягом перших 20-ти годин роботи витрата дещо зменшується, що може бути пояснено процесом припрацювання розпилювача.



В інтервалі часу 15...25 год. спостерігається відносно незначне гідроабразивне зношування отвору розпилювачів і показник зростання відносної витрати рідини не перевищує допустимі межі.

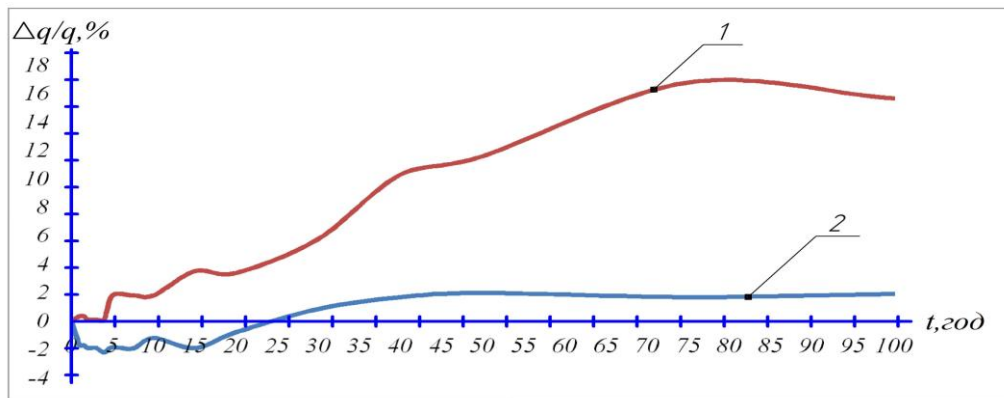


Рис. 2. Відносна витрата рідини в залежності від часу роботи відцентрових розпилювачів, виготовлених з: 1-металу; 2-полімеру.

При напрацюванні більше 30 год. спостерігається різке збільшення відносної витрати рідини та порушення рівномірності розподілу по ширині факелу розпилювача, виготовленого з металу (рис. 2). У розпилювача, виготовленого з полімеру, після 100 год. напрацювання спостерігається незначна зміна геометрії соплового отвору, що незначно впливає на нерівномірність розподілу рідини у факелі розпилювача.

#### Висновки.

1. Розроблена методика та лабораторне обладнання дають можливість проведення ресурсних досліджень розпилювачів, виготовлених з різних матеріалів.

2. Визначення витратної характеристики відцентрових розпилювачів, які виготовлені з різних матеріалів, свідчить про вищу стабільність та відносну довговічність розпилюючих пристроїв, які виготовлені з полімеру.

3. Характерною особливістю відцентрових розпилювачів, виготовлених з полімеру є незначне (до 2 %) зменшення хвилинної витрати рідини в початковий період роботи, що відповідає даним, які отримані при дослідженні щільних розпилювачів з полімеру.

#### Література

1. А.Е. Маркевич, Ю.Н. Немировец. Основы эффективного применения пестицидов: Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. – Горки, 2004. – 60

2. Roland Rosenau, Falk Ammer. Keramik spruht lenger. DLZ Agrarmagazin, Marz 2010.

3. V. Duvnjak, D. Banaj, R. Zimmer and V. Guberac. Josip Juraj Strossmayer University; Faculty of Agriculture, 3 Trg Sv. Trojsrva, HR-31000 Osijek, Croatia.

4. Коваль В.П. Обприскування відцентровими розпилювачами Роса / В.П. Коваль, О.І. Мележик // Техніка і технології АПК. – 2011. № 11,12.

5. Teejet: Catalog 51-RU – США : Спреинг Системс Ко., 2011. – 145 с.

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Демонстраційний матеріал**

до дипломної роботи  
освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ  
РОЗПИЛЮВАЧА АГРОХІМІКАТІВ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-1-19  
спеціальності 208 «Агроінженерія»

**Виконав :** Сокол Тарас Анатолійович

**Керівник:** доцент Кобець Олександр Миколайович

**Дніпро 2020**

**Мета роботи:** підвищення економічних, експлуатаційних та екологічних показників обприскувачів шляхом використання розпилюючих пристроїв, які відповідають всім агротехнічним вимогам.

**Задачі дослідження:**

Провести аналіз стану та визначити тенденцію розвитку техніки і технології обприскування.

Дослідити гідравлічну характеристику відцентрового та щілинних розпилювача та розподіл розпиленої рідини по поверхні зрошення.

Оцінити економічність, надійність та довговічність розпилювача під час його експлуатування на обприскувачі.

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

**Предмет дослідження**- розподіл рідини по поверхні зрошення та об'ємна витрата рідини через розпилювач.

**Методи дослідження.** Експериментальне дослідження гідравлічних характеристик розпилювача і розподілу розпиленої рідини по поверхні зрошення виконувалося у лабораторних умовах на стенді.

**Публікації.** Результати магістерської роботи відображені у публікації: «Дослідження відцентрових розпилювачів, виготовлених з різних матеріалів» матеріали IV міжнародної практичної конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва». м.Харків 26-27.11.2020р.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РОЗПИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ  
РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ ПЕСТИЦИДІВ

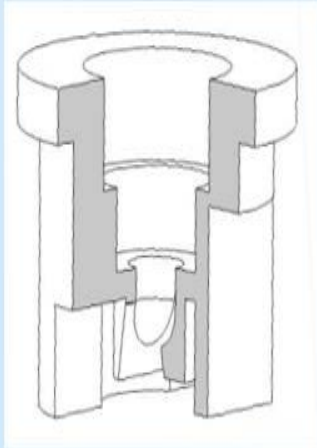


Схема щілинного розпилювача

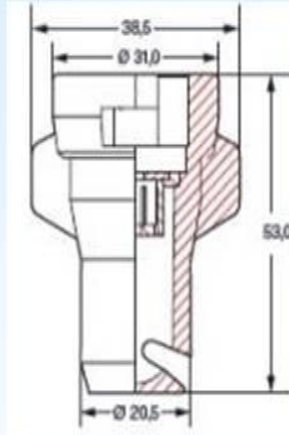


Схема дефлекторного розпилювача

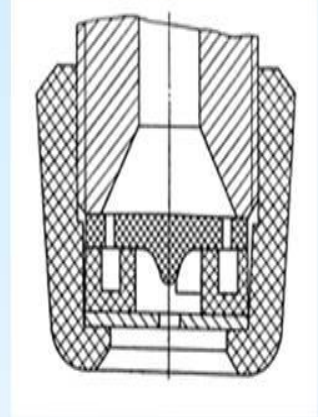


Схема відцентрового розпилювача з тангенціальними каналами прямокутної форми

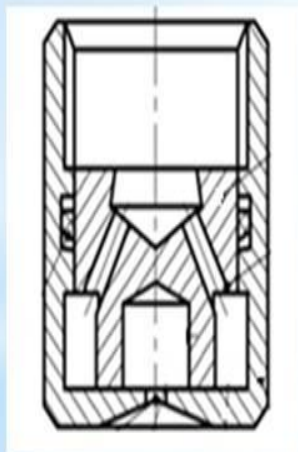


Схема відцентрового розпилювача (Агромодуль)

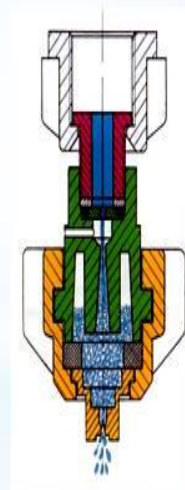


Схема інжекторного щілинного розпилювача (Agrotop)

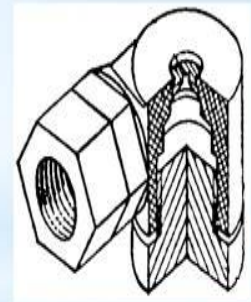


Схема тангенційного відцентрового розпилювача



## Теоретичне обґрунтування параметрів відцентрового розпилювача.

4

Математичне моделювання руху і випаровування краплин у факелі.

На виході з соплового отвору відцентрового розпилювача робоча рідина розпиляється на краплини. Внаслідок зниження тиску у струмені розпиленої рідини, повітря з атмосфери всмоктується в струмінь з утворенням двофазового факелу, в якому краплини рухаються супутньо з повітрям.

Таке всмоктування відоме як ежекція. Розширення струменю повітря всередині факелу зумовлює зменшення його швидкості як по осі, так і по радіусу. Швидкість руху та випаровування краплин визначається взаємодією з повітрям. При цьому біля зовнішньої поверхні факелу швидкість повітря мінімальна, а біля осі факелу швидкість руху малих краплин вирівнюється з швидкістю повітря. Зменшення швидкості повітря у факелі супроводжується переходом з примусового осаджування краплин повітрям до осідання під дією масової сили і сили аеродинамічного опору.

Рівняння руху і теплообміну краплин. Математична модель руху краплин у факелі побудована з припущеннями, що краплини вилітають з точкового джерела на осі факелу, мають форму кулі і не взаємодіють між собою, діаметри розпилених краплин відомі, а температура і вологість повітря у факелі відповідають атмосферним.

Розпилювач рухається із швидкістю обприскувача  $U_{\text{обр}}$ . На факел діє вітер з швидкістю  $U_{\text{в}}$ , а швидкість повітря, яке всмоктується в факел. Краплина рухається в факелі під дією масової і аеродинамічної сили.

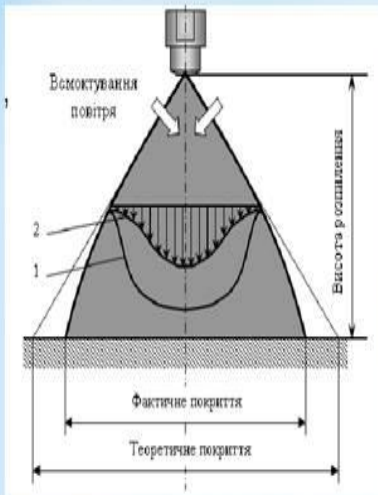
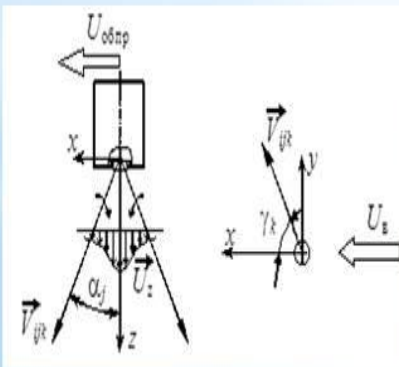


Схема формування двофазового факела відцентрового розпилювача:

- 1 – швидкість руху краплин;
- 2 – швидкість повітря.



В проєкціях на вісі координат  $x, y, z$  рівняння руху запишемо так:

$$\frac{dV_{x_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot (V_{x_{ijk}} - U_x) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk};$$

$$\frac{dV_{y_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot (V_{y_{ijk}} - U_y) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk};$$

$$\frac{dV_{z_{ijk}}}{d\tau} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{C_{ijk} \psi_{ijk}}{d_{ijk}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho} \cdot (V_{z_{ijk}} - U_z) \cdot |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk} + g;$$

$$\frac{dx_{ijk}}{d\tau} = V_{x_{ijk}}, \quad \frac{dy_{ijk}}{d\tau} = V_{y_{ijk}}, \quad \frac{dz_{ijk}}{d\tau} = V_{z_{ijk}},$$

Рівняння балансу маси краплини

$$\frac{dm_{ijk}}{d\tau} = -\beta_{ijk} f_{ijk} (\rho_n^\theta - \rho_{в.п}), \quad \text{де } f_{ijk} - \text{поверхня краплини;}$$

$\rho_n^\theta$  - густина насиченої водяної пари біля краплини;

$\rho_{в.п}$  - густина водяної пари в атмосфері

Коефіцієнт масовіддачі краплини  $\beta_{ijk}$  визначаємо в залежності від числа Шервуда

$$Sh_{ijk} = \beta_{ijk} d_{ijk} / D_{п}, \quad \text{де } D_{п} - \text{коефіцієнт дифузії водяної пари в атмосфері.}$$

Рівняння руху центру маси  $i$ -ої краплини, яка вилітає з сопла розпилювача під кутами  $\alpha_j$  і  $\gamma_k$ :

$$\frac{d(m\vec{V})_{ijk}}{d\tau} = \vec{F}_{ijk} + m_{ijk} \cdot \vec{g}; \quad \frac{d\vec{X}_{ijk}}{d\tau} = \vec{V}_{ijk};$$

Сила аеродинамічного опору краплини:

$$\vec{F}_{ijk} = \frac{1}{8} C_{ijk} \psi_{ijk} \pi d_{ijk}^2 \rho_{\Pi} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk} (\vec{V} - \vec{U})_{ijk};$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору визначаємо за формулою Клячко Л.С.:

$$C_{ijk} = \frac{24}{\text{Re}_{ijk}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}_{ijk}}}; \quad \text{де } \text{Re}_{ijk} = \frac{\rho_{\Pi} d_{ijk} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}}{\mu_{\Pi}} - \text{число Рейнольдса};$$

Динамічний коефіцієнт форми краплини :  $\psi_{ijk} = \exp(0,03)$ ,

$$\text{We}_{ijk} = \frac{\rho_{\Pi} d_{ijk} |\vec{V} - \vec{U}|_{ijk}^2}{\sigma};$$



## ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ. УСТАТКУВАННЯ, ПРИЛАДИ ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ 7

В програмі експериментальних досліджень передбачалося визначення наступних параметрів розпилювачів;

1. об'ємну витрату води через розпилювач;
2. ширину факелу;
3. площу соплового отвору розпилювача;
4. площу смуги зрошення розпилювача;
5. розподіл рідини по ширині факелу;
6. розподіл рідини по поверхні зрошення;
7. коефіцієнт варіації розподілу рідини по довжині штанги.

Методика досліджень:

Обробка даних проводилася за допомогою Microsoft Excel 2007.

Аналіз даних виконували за допомогою MS Office (Word та Excel).

Експерименти проводилися на гідравлічному стенді. На ньому при зміні тиску від 0,15 до 0,3 МПа та висоти від 0,30 до 0,50 м. проводили забір рідини, у нашому випадку води, у жолобки стікаючи по яких вода потрапляла у мірні циліндри об'ємом 300 мл. Час проведення дослідів контролювали секундоміром. Кожний дослід проводився п'ять разів. При цьому визначалися та заносилися до таблиць такі параметри, як тиск в напірному трубопроводі, витрату рідини через розпилювач, розподіл рідини по ширині факела та штанги.

Об'ємну витрату води через розпилювач вимірювали мірним циліндром ємністю 300 мл з ціною поділки 10 мл. Час заповнення контролювали секундоміром з похибкою не більшою за 0,2 с.



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

$$Q = \frac{60V}{\tau}, \text{ де } V - \text{об'єм води в мірному циліндрі, л; } \tau - \text{час, с.}$$

Максимальна похибка при визначенні об'ємної витрати води при

$$V = 1\text{л, } \tau = 60\text{с склала } \frac{\delta Q}{Q} = \left| \frac{\delta V}{V} \right| + \left| \frac{\delta \tau}{\tau} \right| = \frac{0,010}{1000} + \frac{0,2}{60} \approx 0,003, \text{ або } 0,3 \%,$$

Рівномірність розподілу розпиленої рідини по довжині штанги оцінюють коефіцієнтом варіації

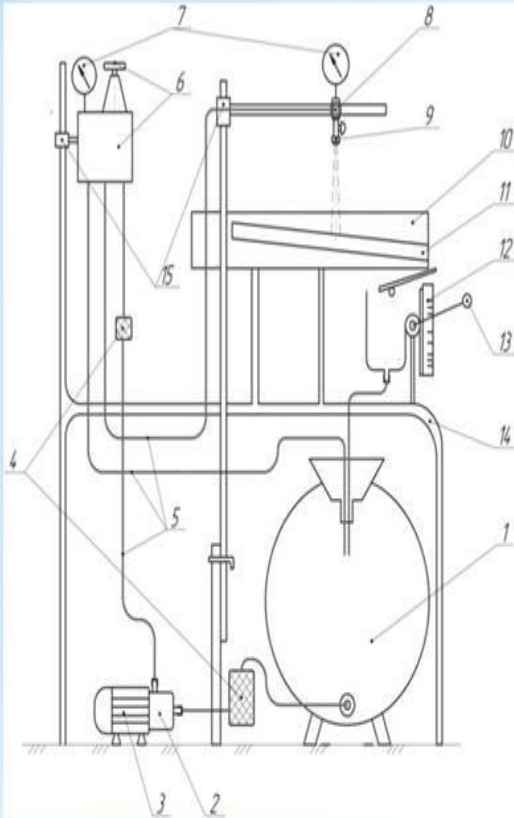
$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} - \text{середньоквадратичне відхилення об'єму води в мірних стаканах,}$$

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

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

## Прилади та обладнання

9



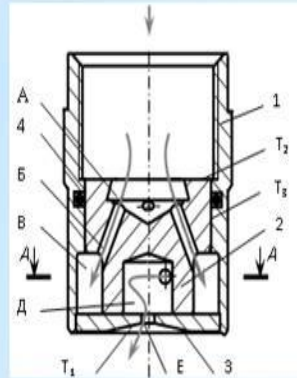
Принципова схема гідравлічного стенду для дослідження розпилювачів:

1 – бак; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – фільтр; 5 – рукав; 6 – регулятор тиску;

7 – манометр; 8 – штанга; 9 – розпилююча головка з розпилювачем; 10 – розподілювачі ;

11 – жолоб; 12 – мірні колби; 13 – поворотний механізм; 14 – рама; 15 – тримач.

## ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ



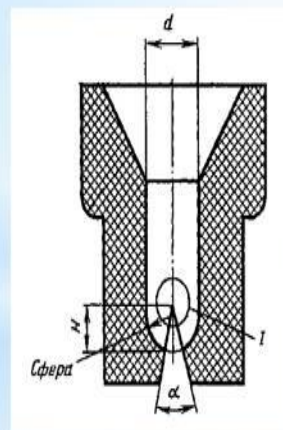
а



б

Відцентровий розпилювач (Агромодуль)

а – схема; б – загальний вид.



а



б

Щілинний розпилювач DG 1002(Tee Jet):

а – схема; б – загальний вид.

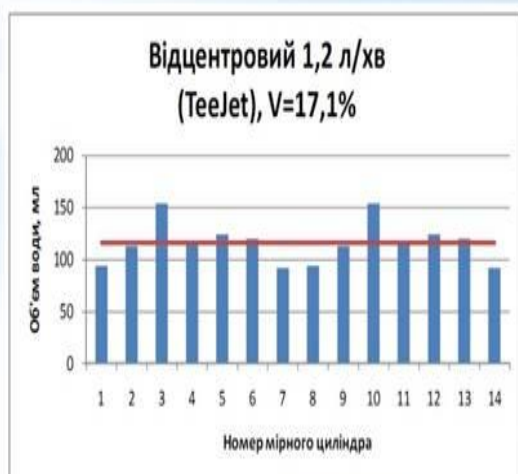
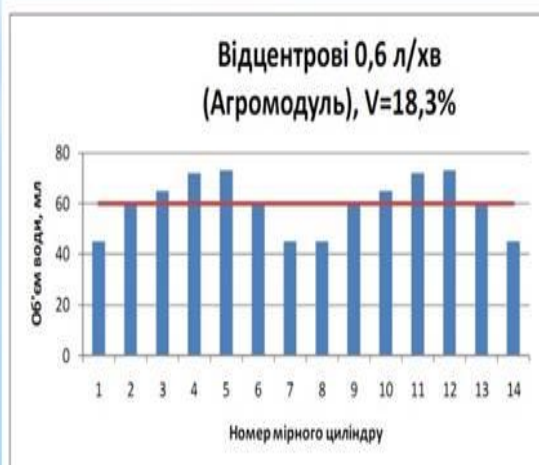
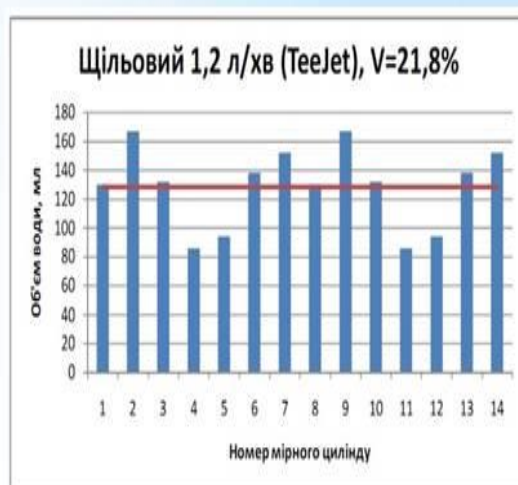




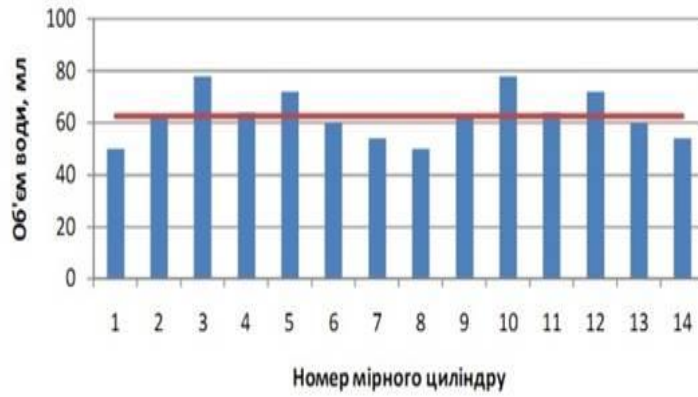
## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

12

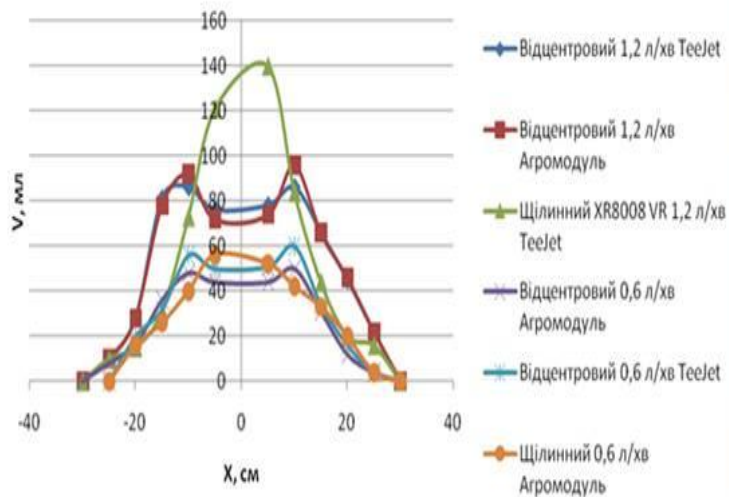
Витрата рідини. Дослідні зразки відцентрових розпилювачів TeeJet і Агромодуль та щільинні TeeJet і Агромодуль з номінальною розрахунковою витратою відповідно 1,2 і 0,6 л/хв при тиску 0,15, 0,2, 0,25 та 0,3 МПа досліджували на гідравлічному стенді (рис. 4.1). Витрата води через розпилювач та її розподіл по ширині факелу визначали при тиску 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 МПа. Температура води під час проведення дослідів знаходилась у межах від 20 до 24 °С.



### Відцентровий 0,6 л/хв (TeeJet), V=14,8%



### h=450 мм. P=0,25 МПа. t=30 с.



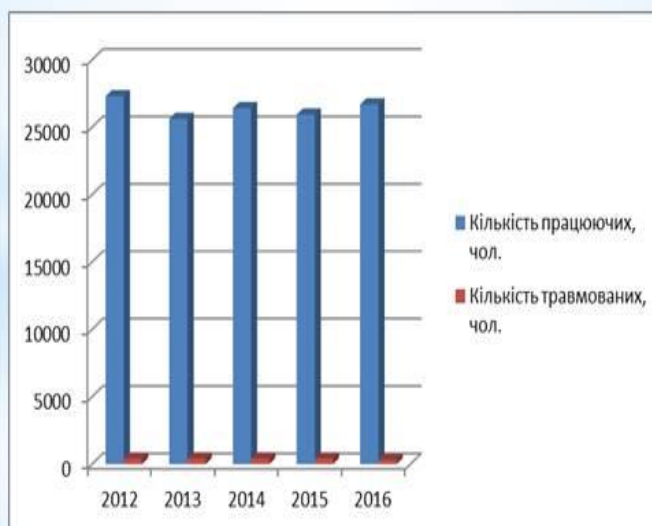
# ОХОРОНА ПРАЦІ

14

Згідно даних по зайнятості в сільському господарстві задіяно 910 тис. населення України з них 3% працюють на роботах пов'язаних з пестицидами.

За даними про нещасні випадки при роботі з отрутохімікатами за 5 років, можна проаналізувати кількість травмованих за даний період.

	Роки				
	2012	2013	2014	2015	2016
Кількість працюючих, чол.	27300	25631	26420	25940	26700
Кількість травмованих, чол.	409	420	415	405	321



## Техніко-економічні показники впровадження.

15

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.	1,06	0,85
амортизаційні відрахування, грн.	25,3	25,8
вартість ПММ, грн.	19,2	12,8
витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн.	0,5	0,4
інші витрати.	1,38	1,12
Капітальні вкладення на 1 га, грн.	160,7	161,5
Приведені витрати на 1 га, грн.	71,54	65,2
Річний економічний ефект, грн.	-	12680
Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років	-	0,1

Таким чином, одержані результати свідчать про економічну доцільність впровадження вдосконаленого удосконалення розпилювача для внесення робочих розчинів пестицидів. Підставами для цього є одержання річного економічного ефекту в розмірі 12680 грн. та достатньо невеликого терміну окупності додаткових капітальних вкладень за 2 сезони експлуатації.

Активация Windows



1. Обприскування пестицидами щілинними розпилювачами – базова технологія хімічного захисту рослин. Принциповим недоліком щілинних розпилювачів є гравітаційне осідання краплин, внаслідок чого зростають втрати через знесення та випаровування малих краплин, зменшується ефективність використання пестицидів. Задача ефективного використання пестицидів при обприскуванні вирішується покращенням дисперсності розпилення та примусовим осаджуванням краплин відцентровим розпилювачем. Примусове осаджування забезпечує використання на обприскування малих краплин з густиною покриття більшою за 200 шт/см<sup>2</sup>.
2. Примусове осаджування скорочує час польоту краплин, зменшує вплив швидкості руху обприскувача та вітру і дозволяє проводити обприскування на швидкості 30 км/год і 9 м/с, відповідно.
3. Теоретичними дослідженнями доведено математичну модель факела розпилювача підтверджена експериментально – це дає змогу виконати розрахунки руху краплин і втрат через випаровування, в залежності від умов обприскування.
4. Визначено основні параметри розпилювача, які знаходяться в межах: радіус соплового отвору розпилювача дорівнює  $r_c = 0,8 \cdot 10^{-3}$  мм, висота камери закручування  $h = 6 \cdot 10^{-3}$  мм, радіус тороїдальної поверхні  $R_0 = 15,6 \cdot 10^{-3}$  мм та інші основні параметри.
5. Питома витрата енергії на розпилення з примусовим осаджуванням при витраті 1,2 л/хв рідини та тиску 0,3 МПа становить 6,8 Дж/м<sup>2</sup> площі поверхні краплин, що вдвічі менше за струменеве розпилення, реалізоване у щілинних розпилювачах з гравітаційним осіданням краплин.

6. Виходячи з експериментальних досліджень при поступовому зниженні тиску від 0,3 до 0,15 МПа витрата через розпилювач зменшується – це призводить до погіршення розкриття факелу та втрати рівномірності розподілу рідини по ширині факелу. Коефіцієнт варіації становив від 5 до 30%.

7. Згідно отриманих даних при підвищенні тиску від 0,15 до 0,3 МПа витрата рідини підвищується від 0,86 л/хв до 1,19 л/хв відповідно. При тиску 0,3 МПа витрата відповідає оптимальному значенню, яке для розпилювачів з витратою рідини 1,2 л/хв та 0,6 л/хв становить 1,19 та 0,61 відповідно.

8. Для відцентрових розпилювачів розподіл води сідлоподібний з провалом рівня на осі відносно максимального на  $\approx 20\%$  для розпилювачів з витратою 1,2 л/хв. та  $\approx 10\%$  для розпилювачів 0,6 л/хв. Такий провал зумовлює збільшення нерівномірності розподілу води по поверхні зрошення, при цьому нерівномірність менша за допустиму агротехнічними вимогами. Для щілинного розпилювача такий провал відсутній, що зумовлює кращий розподіл рідини в центрі факелу. Коефіцієнт варіації при проведенні дослідів коливається від 5 до 30%.

9. Досягнуте покращення розпилення, густина покриття краплинами поверхні зрошення дозволяють зменшити норми витрати пестицидів і робочої рідини під час обприскування на 25 – 50 %.

10. При розрахунку економічної ефективності випробувань одержані результати свідчать про доцільність перспективного використання удосконаленого розпилювача для внесення робочих розчинів пестицидів. Підставами для цього є одержаний річний економічний ефект в розмірі 12680 грн. та достатньо невеликий термін окупності додаткових капіталовкладень, за 2 сезони експлуатації.