

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**БАБИЧ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 631.3.01:631.3.03

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИН ДЛЯ ХІМІЧНОГО  
ЗАХИСТУ РОСЛИН  
208 “Агроінженерія”**

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ О. М. Бабич

**Керівник роботи**

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2024**

## АНОТАЦІЯ

**Бабич Олександр Миколайович. Дослідження ефективності застосування машин для хімічного захисту рослин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У кваліфікаційній роботі викладено результати дослідження ефективності застосування машин для хімічного захисту рослин. Такими машинами на сьогоднішній день являються причіпні чи самохідні оприскувачі, які, в основній масі, мають схожу компоновочну схему та робочі органи, що забезпечують нанесення робочих розчинів з достатньою точністю та рівномірністю.

Аналіз конструкцій обприскувачів показав, що вибір моделі залежить від площі, типу культури, доступного бюджету і технологічних потреб. Сучасні обприскувачі поєднують в собі високу продуктивність, точність і екологічність, що дозволяє значно підвищити ефективність агротехнічних робіт.

Розширений аналіз конструкцій розпилювачів форсунок причіпних обприскувачів показав, що їх конструктивні особливості полягають у принципі дії, матеріалах виготовлення, технологічних інноваціях та вплив на ефективність внесення рідких засобів захисту рослин.

Встановлено раціональні параметри форсунок та їх змінних розпилювачів під різний вид внесення ЗЗР. Обґрунтовано основні ефективні типи розпилювачів, відповідно вимогам сьогодення та проведено їх розрахунок.

Виконана оптимізація експлуатації обприскувачів в контексті стратегії JD FarmSight, що дозволило встановити типи з найбільш надійні з точки зору зносу робочих отворів та поверхонь та обрати раціональний склад матеріалу їх виготовлення.

**Ключові слова:** форсунка, оприскувач, спосіб розпилення, матеріал, штанга.

## ABSTRACT

**Babich Oleksandr Mykolayovych. Research on the effectiveness of the use of machines for chemical plant protection.** – *Qualification work in the form of a manuscript.*

Qualification work for the degree of Master in specialty 208 Agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The qualification work presents the results of research on the effectiveness of the use of machines for chemical plant protection. Such machines today are trailed or self-propelled sprayers, which, for the most part, have a similar layout and working bodies that ensure the application of working solutions with sufficient accuracy and uniformity.

Analysis of sprayer designs showed that the choice of model depends on the area, type of crop, available budget and technological needs. Modern sprayers combine high productivity, accuracy and environmental friendliness, which allows to significantly increase the efficiency of agricultural work.

An extended analysis of the designs of trailed sprayer nozzles showed that their design features lie in the principle of operation, manufacturing materials, technological innovations and the impact on the efficiency of applying liquid plant protection products.

The rational parameters of the nozzles and their replaceable nozzles for different types of application of crop protection products have been established. The main effective types of nozzles have been substantiated in accordance with current requirements and their calculation has been carried out.

The operation of sprayers has been optimized in the context of the JD FarmSight strategy, which allowed us to establish the most reliable types in terms of wear of working holes and surfaces and to choose a rational composition of the material for their manufacture.

**Keywords:** *nozzle, sprayer, spraying method, material, boom.*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>	
<b>1. АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАШИН ТА ЗАСОБІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН</b>		
1.1. Аналіз типів та конструкцій обприскувачів.....	7	
1.2. Аналіз конструкцій розпилювачів форсунок обприскувачів.....	12	
1.2.1. Конструкція та класифікація форсунок.....	12	
Висновки до розділу 1.....	16	
<b>2. ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПИЛЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ОБПРИСКУВАЧІВ</b>		
2.1. Витрата рідини через форсунку.....	17	
2.2. Приклад розрахунку конструкційних параметрів.....	18	
2.3. Обґрунтування конструктивного вдосконалення обприскувача.....	19	
2.4 Розрахунок та обґрунтування основних конструктивних параметрів удосконаленої підвіски штанги обприскувача.....	22	
2.5. Енергетичний розрахунок модернізованого обприскувача.....	24	
Висновки до розділу 2.....	28	
<b>3. РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБПРИСКУВАЧІВ</b>		
3.1. Вибір форсунок та їх розпилювачів.....	29	
3.2. Результати дослідження впливу зношування отворів розпилювачів на якість розпилу розчинів.....	31	
Висновки до розділу 3.....	38	
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>		<b>39</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>		<b>40</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Забезпечення високої врожайності та якості сільськогосподарських культур неможливе без ефективного захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів. У цьому процесі важливу роль відіграють машини для хімічного захисту рослин, які дозволяють точно і раціонально вносити засоби захисту рослин (ЗЗР). Використання сучасних обприскувачів сприяє не лише підвищенню ефективності обробки, але й мінімізації негативного впливу на довкілля та зниженню витрат аграріїв.

На тлі зростаючих вимог до екологічної безпеки, ресурсоефективності та якості виконання агротехнічних заходів актуальним є дослідження ефективності використання цих машин. Важливо оцінити їх конструктивні особливості, рівномірність покриття робочою рідиною, зниження дрейфу, точність дозування та адаптивність до різних умов експлуатації.

Тематика роботи спрямована на аналіз технологічних і конструктивних рішень, що застосовуються у сучасних машинах для хімічного захисту рослин, а також на оцінку їх впливу на продуктивність і економічну вигоду. Дослідження допоможе виявити оптимальні технології, що відповідають принципам сталого розвитку та забезпечують високий рівень захисту культур.

**Метою цієї роботи є:** визначення основних критеріїв ефективності машин для хімічного захисту рослин, аналіз їх конструкцій і принципів роботи, а також розробка рекомендацій для підвищення результативності агротехнічних заходів.

Щоб досягнути сформульованої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз конструкцій робочих органів машин і принципів їх роботи;
- дати якісну оцінку застосованим елементам компоновки машин та їхніх розпилювачів;
- провести дослідження по ефективності застосування засобів розпилення різних конструкцій,
- визначити оптимальні параметри розпилювачів різного типу;

**Об'єкт дослідження** – ефективність процесу розпилення рідких засобів захисту рослин.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язок між конструкційними і технологічними параметрами розпилювачів та вплив на довговічність їх роботи.

**Методи дослідження.** Дослідження проводились із застосуванням способів механіки рідин та моделювання, теорії руху рідин, методи розв'язку оптимізаційних задач.

**Перелік публікацій автора за темою роботи:**

1. Заєць М. Л. Тенденції розвитку розпилювачів та аналіз їхніх конструкцій / М. Л. Заєць, О. М. Бабич// X Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». Житомир: ЖТФК, 2024. С. 130-134.
2. Заєць М. Тенденції розвитку розпилювачів та аналіз їхніх конструкцій / М. Заєць, О. М. Бабич // Матеріали XXV міжнародного науково-практичного форуму. Львів: ЛНУП., 2024. С. 409-413.
3. Заєць М. Л., О. М. Бабич Теоретичні дослідження динаміки рідинно-повітряного потоку. Зб. тез доп. XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" НУБіПУ. Київ. 2024. С. 65-70.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 41 сторінка комп'ютерного тексту, 24 рисунків та 6 таблиць.

# 1. АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МАШИН ТА ЗАСОБІВ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РОСЛИН

## 1.1. Аналіз типів та конструкцій обприскувачів

Аналіз конструкцій обприскувачів включає розгляд їх основних компонентів, принципів роботи, типології та сучасних інновацій, які підвищують ефективність внесення засобів захисту рослин і рідких добрив.

Обприскувачі класифікуються за різними критеріями:

### За типом переміщення:

#### 1. Причіпні показано на (рис. 1.1.):

- Приєднуються до трактора.
- Мають великі резервуари (від 1000 до 5000 л).



Рис. 1.1. Обприскувач причіпний штанговий [1]

#### 2. Самохідні (рис. 1.2.):

- Обладнані власним двигуном.
- Висока продуктивність і маневреність.



Рис. 1.2. Обприскувач самохідний штанговий [1]

### 3. **Навісні** (рис. 1.3):

- Монтуються безпосередньо на трактор.
- Компактні, для малих і середніх площ.



Рис. 1.3. Обприскувач начіпний штанговий

#### **За принципом розпилення:**

##### **1. Гідравлічні:**

- Використовують насос для створення тиску.
- Прості конструкції, але схильні до дрейфу.

##### **2. Пневматичні (вентиляторні):**

- Створюють дрібнодисперсні краплі за допомогою повітряного потоку.
- Підходять для садів і виноградників.

##### **3. Комбіновані:**

- Поєднують гідравлічний і пневматичний принцип.

#### **За призначенням:**

- Польові (зернові культури).
- Садові (дерева, чагарники).
- Спеціалізовані (овочеві культури, теплиці).



Основні конструктивні елементи сучасних обприскувачів мають модульну структуру, що дозволяє їх адаптацію до різних умов. Ключові компоненти:

Резервуар:

- **Матеріал:** пластик, склопластик, нержавіюча сталь.
- **Функції:** зберігання розчину, перемішування (гідравлічне або механічне), датчики рівня.
- **Об'єм:** від 200 до 5000+ літрів.

Система подачі рідини:

- **Насоси:**
  - Мембранно-поршневі (висока стійкість до хімічних речовин).
  - Відцентрові (для великих об'ємів).
- **Регулятори тиску:**
  - Забезпечують стабільність подачі рідини.
- **Фільтри:**
  - Захищають систему від забруднень.

Штанги (для польових обприскувачів) рис. 1.4:

- **Довжина:** від 12 до 36 метрів.
- **Матеріали:** алюміній, сталь, композити.
- **Механізми стабілізації:**
  - Гідравлічне управління висотою.
  - Амортизація для зменшення вібрацій.



Рис. 1.4. Штанга оприскувача[1]

Форсунки (розпилювачі) (рис. 1.5):

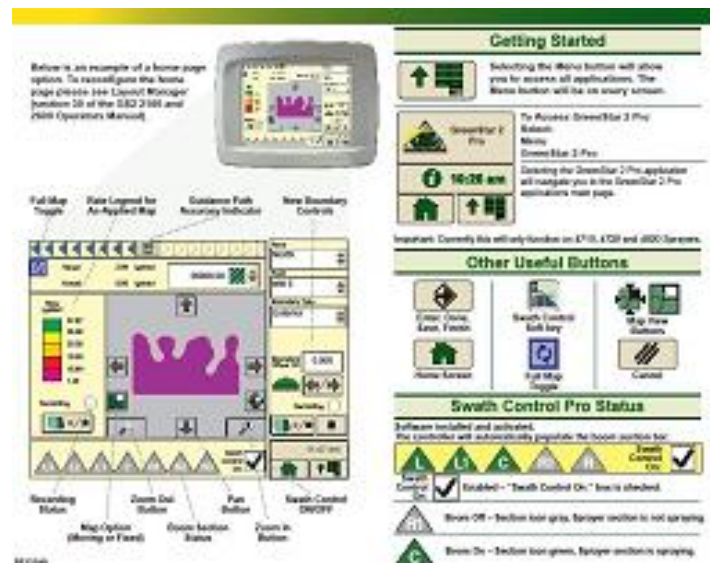
- Типи: щілинні, інжекторні, пневматичні.
- Використання: для регулювання розміру крапель, кута розпилення, норми внесення.



Рис. 1.5. Форсунки з розпилювачами на штанзі[1]

Система автоматизації:

- **Контролери:** регулюють норму витрати залежно від швидкості руху.
- **GPS-навігація:** забезпечує точність покриття без перекриттів.
- **Сенсори:** для визначення стану рослин та індексу NDVI.



## Переваги та недоліки сучасних конструкцій

Тип конструкції	Переваги	Недоліки
Гідравлічні обприскувачі	Простота конструкції, низька вартість	Підвищений дрейф, залежність від тиску
Пневматичні обприскувачі	Точність покриття, проникнення в густий листовий покрив	Висока вартість, складність обслуговування
Самохідні обприскувачі	Велика продуктивність, автономність	Висока ціна, складність у транспортуванні
Причіпні обприскувачі	Великий об'єм резервуару, універсальність	Обмежена маневреність

### Сучасні інновації

#### 1. Прецизійне землеробство: [2,3,4]

- Системи змінної норми внесення на основі даних GPS.
- Інтелектуальні контролери, які визначають густоту посівів.

#### 2. Екологічність: [6,7,8]

- Антидрейфові форсунки для зменшення втрат хімікатів.
- Використання біорозкладних матеріалів для компонентів.

#### 3. Дрони-обприскувачі:

- Для малих і важкодоступних ділянок.
- Висока точність, мінімізація впливу на рослини.

#### 4. Сенсорні технології:

- Лідари і камери для аналізу стану культури.
- Розпізнавання бур'янів для точкового внесення гербіцидів.

### Тенденції розвитку конструкцій

#### 1. Легкі та міцні матеріали: [3]

- Використання композитів для зменшення ваги та підвищення стійкості.

#### 2. Роботизовані системи: [1]

- Автономні обприскувачі з ШІ.
- Технології машинного зору для точного розпилення.

#### 3. Збільшення безпеки:

- Герметичні резервуари для мінімізації ризику розливів.
- Автоматизовані системи самоочищення.

## 1.2. Аналіз конструкцій розпилювачів форсунок обприскувачів

### 1.2.1. Конструкція та класифікація форсунок

Аналіз конструкцій розпилювачів форсунок обприскувачів охоплює їх конструктивні особливості, принцип дії, матеріали виготовлення, технологічні інновації та їх вплив на ефективність внесення рідких засобів захисту рослин.

Форсунки є ключовими елементами причіпних обприскувачів, що визначають рівномірність покриття та точність дозування робочого розчину. Вони класифікуються за кількома критеріями: [3,4,5]

За формою розпилу (рис. 1.6.):

#### 1. Щілинні (плоскі):

- Утворюють плоский факел розпилу.
- Використовуються для рівномірного внесення на рівні культури.

#### 2. Конічні:

- Формують круглий або порожнистий конус.
- Підходять для внесення інсектицидів та фунгіцидів.

#### 3. Асиметричні:

- Використовуються для внесення розчинів на важкодоступні ділянки.

#### 4. Інжекторні (антидрейфові):

- Створюють крупніші краплі, стійкі до знесення вітром.

За функціональністю:

- Однофункціональні (розпилювач однієї форми).
- Комбіновані (з можливістю перемикання між різними формами розпилу).

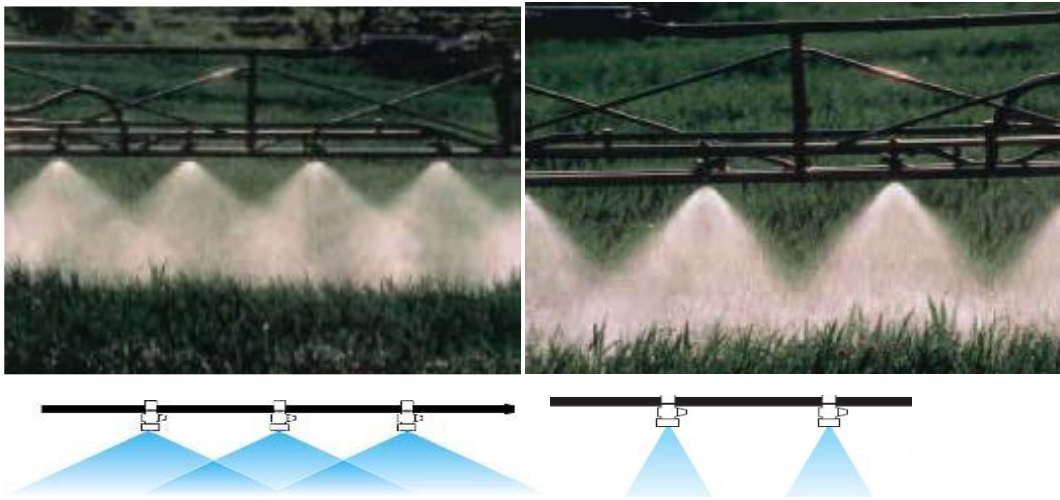


Рис. 1.6. Способи обприскування (суцільне і рядкове)

### За розміром крапель:

- Дрібнодисперсні: до 100 мкм (для гербіцидів).
- Середньодисперсні: 100–300 мкм (для фунгіцидів та інсектицидів).
- Крупнодисперсні: понад 300 мкм (мінімальний дрейф).

### Конструктивні особливості форсунок

#### 1. Корпус:

- Виготовляється з міцних матеріалів (пластик, метал, кераміка).
- Стійкий до корозії та хімічного впливу.

#### 2. Розпилювальна частина:

- Щілинна або конічна геометрія.
- Регульовані отвори для контролю витрати.

#### 3. Фільтри:

- Захищають форсунку від забруднення.
- Зазвичай інтегровані в корпус.

#### 4. Кріплення:

- Стандартні різьбові або байонетні з'єднання.

#### 5. Регулятори тиску:

- Для стабільної подачі робочого розчину незалежно від швидкості обприскувача.

## Матеріали виготовлення

- **Пластик** (рис. 1.7.):
  - Легкий і дешевий.
  - Менш зносостійкий, ніж метал.



Рис. 1.7. Плоскофакельні форсунки Ultra Low-drift (ULA) з надзвичайно малим зносом. Кут розпилу  $120^\circ$  [1]

- **Метал (нержавіюча сталь)** (рис. 1.8.):
  - Висока міцність, довговічність.
  - Чутливість до агресивних середовищ.



Рис. 1.8. Розпилювачі металеві

- **Кераміка** (рис. 1.9):
  - Найвища зносостійкість.
  - Використовується для розпилювачів високої точності.



Рис. 1.9 Струмині керамічні розпилювачі STC. Кут розпилу  $110^{\circ}$ [1]

За принципом дії поділяться на:

- **Гідравлічні розпилювачі:**
  - Розчин під тиском проходить через вузький отвір, утворюючи факел розпилу.
  - Контролюються тиском (2...6 бар).
- **Інжекторні розпилювачі (рис. 1.10.):**
  - Використовують ефект Вентурі для всмоктування повітря.
  - Генерують крупні краплі зі зменшеним дрейфом.



Рис. 1.10. Двопоточний інжекторний розпилювач TwinAir (TAQ). Кут розпилу  $110^{\circ}$  [1]

- **Пневматичні розпилювачі:**
  - Поєднують рідину з потоком повітря для кращого проникнення в крону.

Висновки до розділу 1.

Аналіз конструкцій обприскувачів показує, що вибір моделі залежить від площі, типу культури, доступного бюджету і технологічних потреб. Сучасні обприскувачі поєднують в собі високу продуктивність, точність і екологічність, що дозволяє значно підвищити ефективність агротехнічних робіт.

Основними недоліками є забруднення форсунок (необхідність фільтрації). Чутливість до якості води (жорсткість, механічні домішки). Необхідність регулярного калібрування для точного дозування робочого розчину.

Досить впливовим фактором на ефективність та якість розпилення технологічного розчину, являється знос розпилювачів та пошкоджуваність форм отворів при використанні різних матеріалів їх виготовлення. Тому дане питання потребує вивчення, які ж розпилювачі обрати під кожную задачу при нанесенні хімічних розчинів.



## 2. ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПИЛЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ОБПРИСКУВАЧІВ

### 2.1. Витрата рідини через форсунку

Для розрахунку конструкційних параметрів розпилювачів форсунок потрібно враховувати ключові аспекти їх роботи: витрату рідини, тиск, кут розпилу, розмір крапель і рівномірність покриття. Основні конструкційні параметри включають діаметр отвору, кут розпилу, швидкість струменя рідини та інші геометричні й функціональні характеристики.

Витрата рідини ( $Q$ ) через отвір форсунки визначається формулою Торрічеллі: [6]

$$Q = C_d \cdot A \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad (2.1)$$

де:

$Q$  - витрата рідини, м<sup>3</sup>/с (або л/хв),

$C_d$  - коефіцієнт витрати (0,6...0,9 для типових форсунок), [6]

$A$  - площа отвору, м<sup>2</sup>,

$P$  - робочий тиск, Па (або Бар, 1 Бар = 10<sup>5</sup> Па), [1]

$\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup> (для води  $\rho \approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>). [6]

Діаметр отвору форсунки визначимо з площі отвору ( $A$ ) ( $d$ ): [7]

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.2)$$

Звідки

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Діаметр залежить від потрібної витрати і тиску.

Кут розпилу ( $\alpha$ ) формується конструкцією форсунки (профілем каналу) і залежить від: форми вихідного отвору, геометрії сопла (форми і розмірів) та швидкості струменя ( $V$ ), яка розраховується як: [8]

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad (2.3)$$

Розмір крапель ( $D$ ) залежить від:

$$D = K \cdot \left( \frac{\mu}{\rho V} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (2.4)$$

де:

$K$  - емпіричний коефіцієнт (залежить від конструкції форсунки),

$\mu$  - динамічна в'язкість рідини, Па·с,

$V$  - швидкість рідини.

## 2.2. Приклад розрахунку конструкційних параметрів

Вихідні дані:

1. Необхідна витрата рідини через форсунку:  $Q=1,33$  л/хв ( $2,22 \times 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с).
2. Робочий тиск:  $P=3$  бар ( $3 \cdot 10^5$  Па).
3. Коефіцієнт витрати:  $C_d=0,7$ . [9]
4. Густина рідини:  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Розрахунок площі отвору ( $A$ ):

З формули витрати:

$$A = \frac{Q}{C_d \sqrt{2P \cdot \rho}}, \quad (2.5)$$

Підставимо значення:

$$A = \frac{2,22 \cdot 10^{-5}}{0,7 \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 10^5 / 1000}} = 6,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Розрахунок діаметра отвору ( $d$ ):

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,23 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 2,81 \cdot 10^{-3} = 2,81 \text{ мм}$$

Отже, діаметр отвору форсунки, для заданих умов має бути  $d=2.81$  мм.

Розрахунок швидкості рідини ( $V$ ):

$$V = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \cdot 10^5}{1000}} = 24,49 \text{ м/с}$$

Визначимо розмір крапель ( $D$ ):

Припустимо  $K=1.5$  (емпіричне значення для щілинних розпилювачів форсунок), в'язкість води  $\mu=0.001$  Па·с:

$$D = 1,5 \cdot \left( \frac{0,01}{1000 \cdot 24,49} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,026 \text{ мм} = 26 \text{ мкм}$$

Отже, середній розмір крапель має становити - 26 мкм.

### Оптимізація конструкції

1. Для зменшення розміру крапель можна збільшити тиск або зменшити діаметр отвору.
2. Для збільшення кута розпилу слід змінити геометрію сопла.
3. Для стійкості до дрейфу варто використовувати інжекторні форсунки, які генерують більші краплі.

### Рекомендації

- Перевірте роботу форсунок в реальних умовах, оцініть рівномірність покриття.
- Регулярно очищуйте отвори, щоб уникнути забруднень.
- Для точних розрахунків застосовуйте спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, для моделювання потоків CFD).

### 2.3. Обґрунтування конструктивного вдосконалення обприскувача

Основним показником, що впливає на якість роботи обприскувача та ефективність застосування пестицидів, є рівномірність розподілу рідини по ширині

захвату. Згідно з агротехнічними вимогами, коефіцієнт варіації щільності відкладень не повинен перевищувати 25%.

Експериментальні дані свідчать, що нерівномірний розподіл рідини може спричинити втрати пестицидів у межах 40-50%, що перевищують допустимі норми. Така нерівномірність залежить від декількох факторів: різниця у витраті рідини окремими розпилювачами, форма факела розпилу, відстань між розпилювачами на штанзі, їхнє розташування відносно поверхні обробки, а також стабільність положення штанги над полем.

Системи стабілізації положення штанги поділяють на:

- пасивну стабілізацію;
- пасивну стабілізацію з активним коригуванням;
- активну (автоматичну) стабілізацію.

У системах пасивної стабілізації штанга вирівнюється виключно під дією власної ваги без залучення додаткових механізмів. Пасивна стабілізація з активним коригуванням передбачає можливість впливу на положення штанги через механізми, які використовують додаткові сили. У системах активної стабілізації положення штанги регулюється за допомогою автоматизованих механізмів, що враховують поверхню ґрунту чи рослинний покрив.

Прикладом пасивної стабілізації є конструкції з амортизаторами, маятниковими чи паралелограмними механізмами. Пасивна стабілізація з коригуванням може включати переміщення вантажу уздовж штанги або зміну довжини важелів. Такі коригування можуть здійснюватися вручну або автоматично за допомогою електродвигунів чи гідроциліндрів.

Активна стабілізація може бути реалізована через системи, як-от електромеханічна система фірми "Лестраде" (Франція), де вирівнювання забезпечується реверсивним електродвигуном із тросовим механізмом. Найсучасніші системи використовують безконтактні датчики, які аналізують

положення штанги в реальному часі, а виконавчі механізми автоматично повертають її у задане положення.

Нові моделі обприскувачів оснащуються штангами зі збільшеною висотою підйому (до 1,7 м), підвищеним кліренсом (0,7 м) і більшими колесами (діаметр 1400 мм), що забезпечує надійність і зменшує перевантаження коліс, характерне для базової моделі ОП-2000-2-16.

Запропонована вдосконалена технологічна схема обприскувача зі стабілізуючою штангою дозволяє покращити ефективність і якість обробки, враховуючи сучасні вимоги до агротехнічного обладнання.

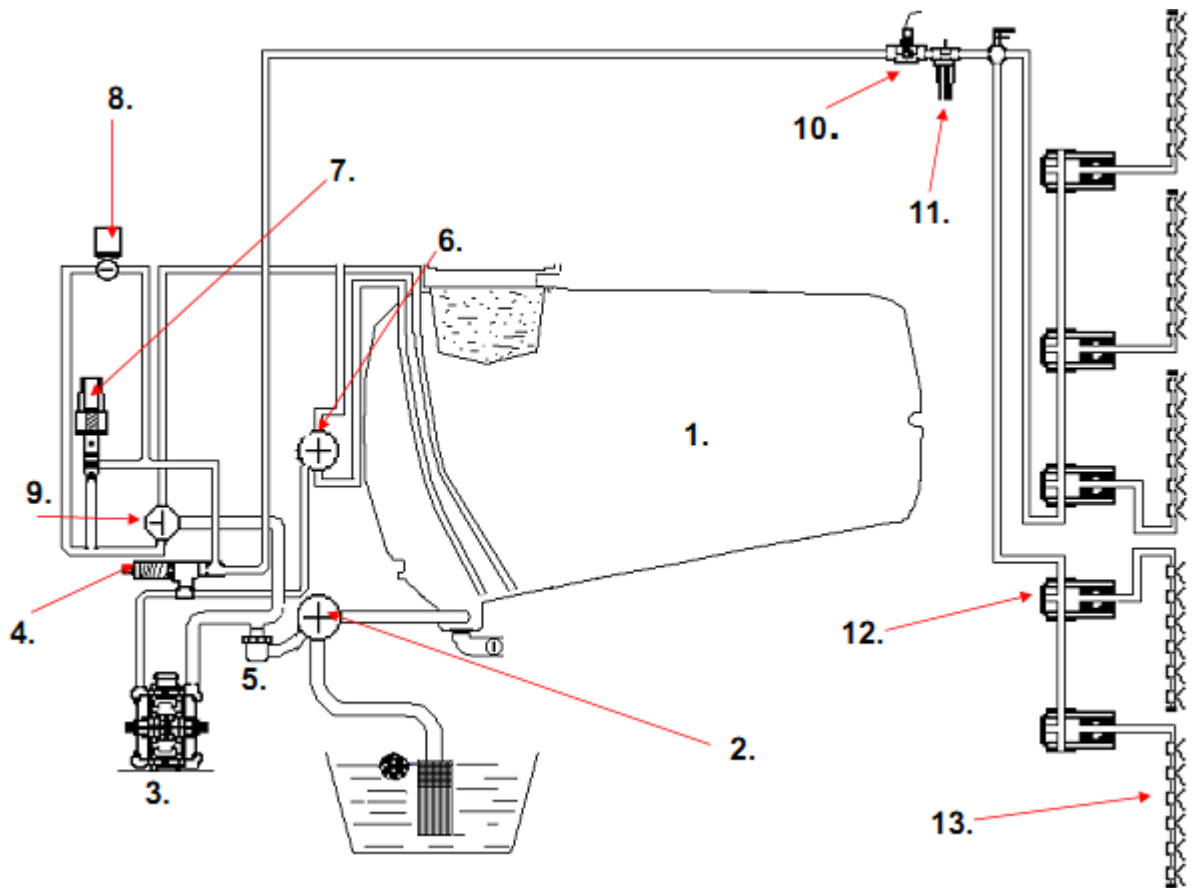


Рис. 2.1. Технологічна схема обприскувача:

1-бак із розчином; 2-всмоктувальний клапан; 3-насос; 4-первинний клапан; 5-управління тиском; 6-всмоктувальний фільтр; 7-клапан тиску; 8-регулятор норми внесення; 9-головний клапан штанги; 10-клапан рециркуляції; 11-датчик витрати; 12-напірний фільтр; 13- клапан секції; 14- система розпилення рідини.

## 2.4 Розрахунок та обґрунтування основних конструктивних параметрів удосконаленої підвіски штанги обприскувача

Штанга розташована знизу відносно опорної поверхні. В результаті збільшується величина моменту сили, який стабілізує положення штанги. З метою визначення ефективності нового механізму навіски штанги обприскувача, був проведений математичний аналіз. Із схеми сил, що діють на штангу витікає, що при горизонтальному положенні штанги в двох випадках:

$$M_1 = M_2 = 0,5ml, \quad (2.6)$$

де  $M_1$ ,  $M_2$  - моменти сил, інерції, що діють на ліву та праву половини штанги;

$m$  - маса штанги;

$l$  - відстань від лінії розташування штанги на опорній поверхні до центра маси її половини.

При відхиленні штанги від горизонтального положення на кут  $\alpha$  - момент сили, що діє на ліву частину штанги, буде дорівнювати:

$$M_1 = \left( \frac{m}{2} - \Delta m \right) (L - \Delta L) \cos \alpha, \quad (2.7)$$

де  $\Delta m$  - різниця маси штанги між лівою та правою її частинами, відрахованими від лінії опору після нахилу на кут  $\alpha$ ;

$\Delta L$  - відстань між лініями опору штанги при горизонтальному її розташуванні і нахиленої до горизонту під кутом  $\alpha$ .

Момент сили, що діє на праву частину штанги, становитиме:

$$M1 = \left( \frac{m}{2} + \Delta m \right) (L + \Delta L) \cos \alpha, \quad (2.8)$$

Різниця моментів:

$$M2 - M1 = \left( \frac{m}{2} - \Delta m \right) (L - \Delta L) \cos \alpha - \left( \frac{m}{2} + \Delta m \right) (L + \Delta L) \cos \alpha, \quad (2.9)$$

Після перетворень одержимо:

$$M1 - M2 = (m\Delta L + 2L) \cos \alpha, \quad (2.10)$$

При відхиленні її на кут  $\alpha$  до моментів сил інерції всієї штанги:

$$\Delta M = 2ml \sin \alpha, \quad (2.11)$$

Таким чином, у варіанті, коли штанга розташована під опорною поверхнею, при її відхиленні на кут  $\alpha$ , повертати в попереднє положення буде момент сили який дорівнює сумі моментів  $M2 - M1$  та  $\Delta M$ .

$$M2 - M1 + \Delta M = (m\Delta L + 2mL) \cos \alpha + 2 \sin \alpha, \quad (2.12)$$

Для кількісної оцінки впливу центрального моменту були проведені розрахунки стосовно експериментальної штанги.

Вихідні дані:

- маса штанги  $m = 180$  кг;
- довжина плеча до центру маси  $L = 3$ м;
- кут нахилу штанги  $\alpha = 3^\circ$ ;

- величина зміщення точки опори при прийнятому куті нахилу штанги  $\Delta L = 0,05$  м;
- величина приросту маси півштанги  $\Delta m = 1$  кг;
- відстань від лінії обпирання до штанги  $L = 0,3$  м.

Результати розрахунків:

$$M_2 - M_1 = (180 \times 0,05 \times 2 \times 1 \times 3) \times \cos 3^\circ = 14,97 \text{ кг}\cdot\text{м};$$

$$M_2 - M_1 + \Delta M = 14,97 + 2 \times 180 \times 0,3 \times 0,05 \times 23 = 2,062 \text{ кг}\cdot\text{м}.$$

Таким чином, розташування експериментальної штанги на 0,3 м нижче лінії опорної поверхні порівняно з розташуванням на цій лінії збільшує стабілізуючий момент сили в 1,4 рази. При цьому форма опорної кривої описана ступеневою функцією, яка має вигляд:

$$y = ax^{12}, \quad (2.13)$$

Передбачено п'ять опорних поверхонь, в яких змінювався показник  $a$  і  $n$ :

$$1- y = 0,53941 x^{1,73813};$$

$$2- y = 0,53941 x^{1,6366};$$

$$3- y = 0,53941 x^{1,81295};$$

$$4- y = 0,53941 x^{1,5479};$$

$$5- y = 0,27494 x^{1,73813}.$$

Таким чином, можна зробити висновок про суттєвий вплив розташування штанги під опорною поверхнею на величину стабілізації її положення.

## 2.5. Енергетичний розрахунок модернізованого обприскувача

Ефективна потужність двигуна трактора, кВт:

$$N_d = N_{kp} + N_{ВВП} + N_b + N_f + N_{mp}, \quad (2.14)$$



де,  $N_d$  - ефективна потужність двигуна трактора, кВт;

$N_{kp}$  - потужність на гаку трактора, кВт;

$N_b$  - потужність, що затрачається на пробуксовування ведучих рушіїв, кВт;

$N_{BВП}$  - потужність, яка затрачається на привід механізмів та вузлів, кВт;

$N_f$  - потужність, яка затрачається на створення напору рідини, кВт;

$N_{mp}$  - потужність, яка затрачається на подолання опорів в трансмісії, кВт.

Тягова потужність дорівнює: [10]

$$N_{kp} = \frac{P_{kp} V_p}{3,6}, \quad (2.15)$$

де  $P_{kp}$  - середнє тягове зусилля, кН, яке визначається за формулою: [11]

$$P_{kp} = R_{70} f, \quad (2.16)$$

при цьому

$$R_{70} = (M_o - 0,5M_p) \vartheta,9 f, \quad (2.17)$$

де  $M_o$  - маса обприскувача, кг;

$M_p$  - маса рідини, кг.

За результатами статистичної обробки 100 обприскувачів:

$$M_o = 1000 (0,254 + 0,8167 + 0,04136 V - 0,0623V^2), \text{ (кг)}, \quad (2.18)$$

де  $V$  - місткість бака, л;

$B$  - ширина захвату обприскувача, м.

Потужність буксування дорівнює: [14]

$$N_b = \frac{P_{kp} V_p b}{1 - b}, \quad (2.19)$$

де  $b$  - коефіцієнт буксування.

$$b = 2,07 + 0,011 V_{2p} - 0,003 P_{kp}^2 - 0,308 V_p.$$

Потужність на самоперекочування трактора: [13]

$$N_{mp} = N_b (1 + \eta_{mp}), \quad (2.20)$$

де  $\eta_{mp}$  - коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Приймаємо  $\eta_{mp} = 0,91$ .

Потужність  $N_{BVI}$  залежить від продуктивності насоса обприскувача, яка, в свою чергу, залежить від місткості баку ( $V$ ), швидкості руху агрегату ( $V_p$ ), робочої ширини захвату ( $B$ ), норми витрати робочої рідини ( $Q$ ).

За результатами статистичної обробки даних по залежності потужності, що витрачається на приведення в дію насоса, від його продуктивності та її зв'язку з параметрами обприскування встановлено:

$$N_{BVI} = 0,0145 \left( \frac{QBV_p}{600} + 0,05V \right), \quad (2.21)$$

Для прийнятих умов роботи:

-  $Q = 300$  л/га;  $B=18$  м;  $V_p = 10$  км/год;  $V = 2500$  л.

Потужність для приводу складає:

$$N_{\text{ВП}} = 0,0145 \left( \frac{300 \cdot 18 \cdot 10}{600} + 0,05 \cdot 2500 \right) = 3,1 \text{ кВт.}$$

Побудуємо графічну залежність  $N_{\text{ВП}}$  від  $Q$  Рис. 2.2., враховуючи отриману модель.

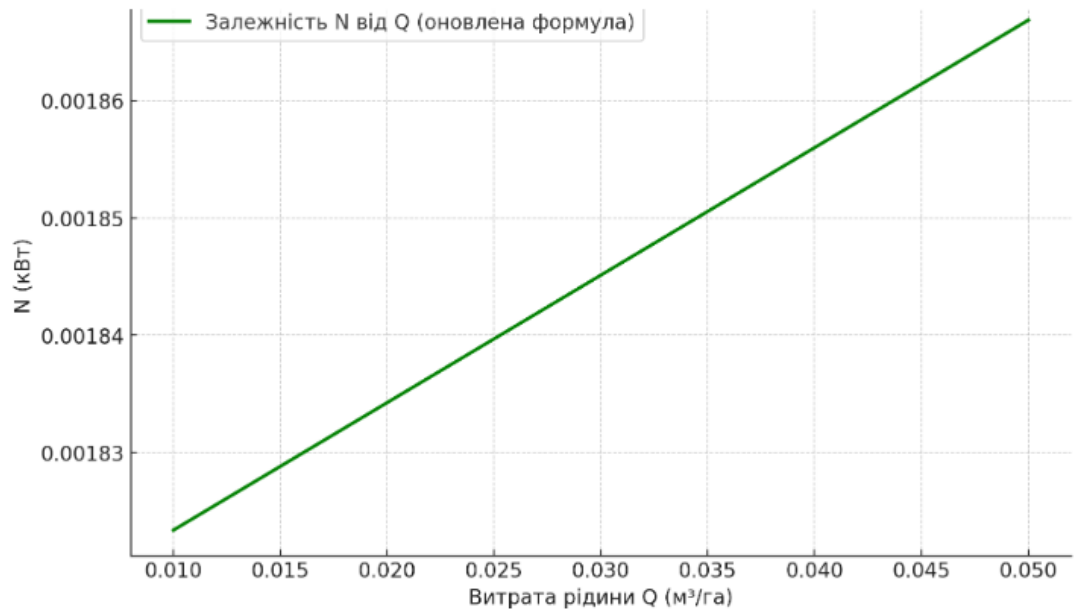


Рис. 2.2. Залежність затрат потужності на привод від витрати робочої рідини розпилювачем

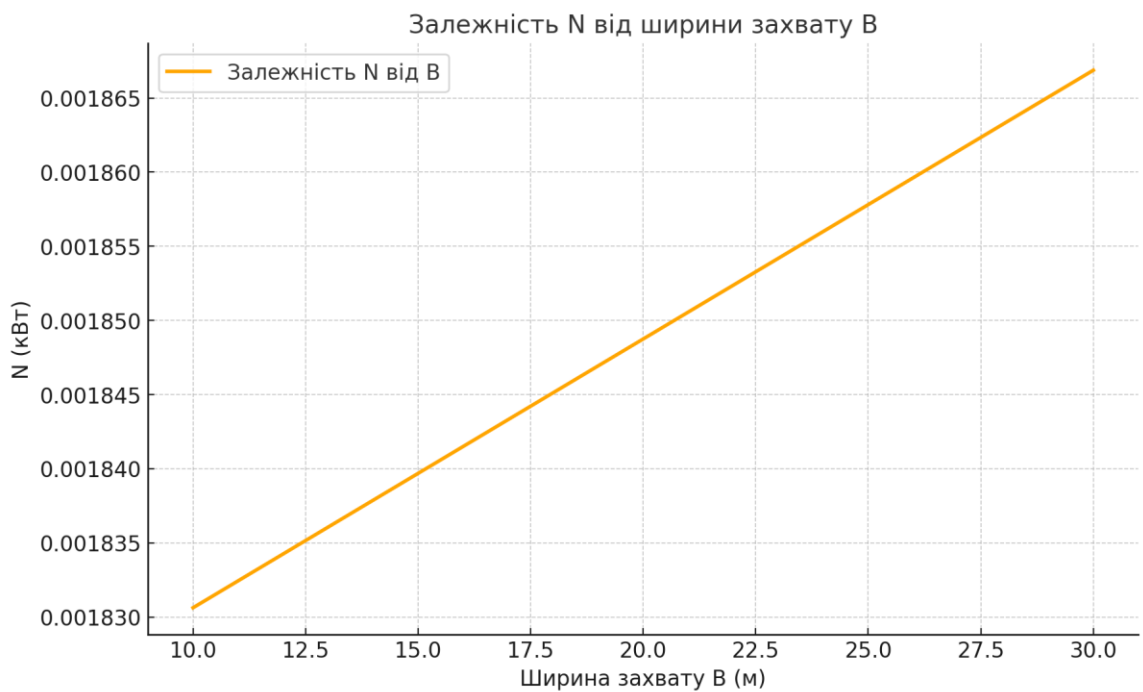


Рис. 2.3. Залежність затрат потужності на привод від ширини захвату штанги

Щоб побудувати графік залежності  $N_{\text{всп}}$  від робочої швидкості  $V_p$  та об'єму бака  $V$ , за отриманою залежністю (2.21) розглянемо  $N_{\text{всп}}$  як функцію двох змінних:  $V_p$  і  $V$ . Параметри, які залишаються постійними:

- $Q=0.03$  м<sup>3</sup>/га
- $B=18$  м
- Виберемо діапазон значень для  $V_p$  (наприклад, від 5 км/год до 20 км/год.
- Виберемо діапазон значень для  $V$  (наприклад, від 1000 л до 5000 л).

Висновки до розділу 2.

Основним показником, що впливає на якість роботи обприскувача та ефективність застосування пестицидів, є рівномірність розподілу рідини по ширині захвату. Згідно з агротехнічними вимогами, коефіцієнт варіації щільності відкладень не повинен перевищувати 25%. Експериментальні дані свідчать, що нерівномірний розподіл рідини може спричинити втрати пестицидів у межах 40-50%, що перевищують допустимі норми

Для кількісної оцінки впливу центрального моменту були проведені розрахунки стосовно експериментальної штанги масо  $m = 180$  кг; довжина плеча до центру маси  $L = 3$ м; кут нахилу штанги  $\alpha = 3^\circ$ ; величина зміщення точки опори при прийнятому куті нахилу штанги  $\Delta L = 0,05$  м; величина приросту маси півштанги  $\Delta m = 1$  кг; відстань від лінії спирання до штанги  $L = 0,3$  м. отримали значення  $M_2 - M_1 = 14,97$  кг·м;  $M_2 - M_1 + \Delta M = 2,062$  кг·м. Таким чином, розташування експериментальної штанги на 0,3 м нижче лінії опорної поверхні порівняно з розташуванням на цій лінії збільшує стабілізуючий момент сили в 1,4 рази.

За результатами статистичної обробки даних по залежності потужності, що витрачається на приведення в дію насоса, від його продуктивності та її зв'язку з параметрами обприскування встановлено, залежність затрат потужності на привод від витрати робочої рідини розпилювачем, залежність затрат потужності на привод від ширини захвату штанги.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБПРИСКУВАЧІВ

#### 3.1. Вибір форсунок та їх розпилювачів

Способи обприскування, які найчастіше застосовуються:

Суцільне

Рядкове

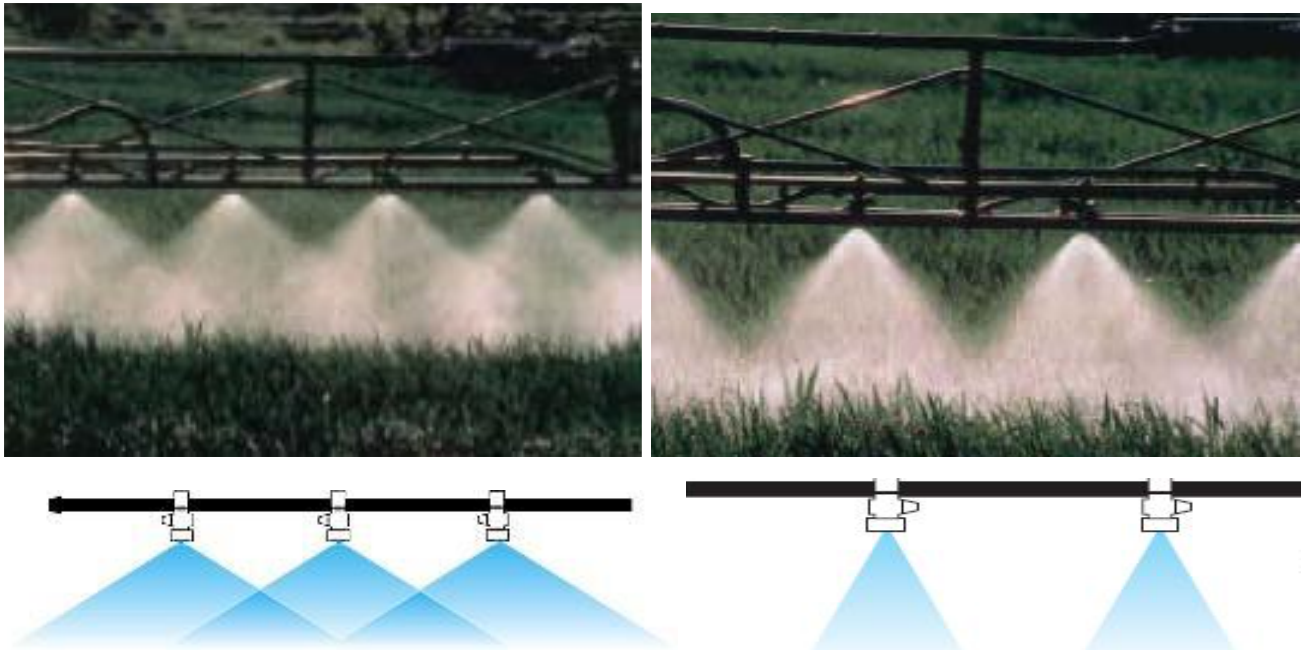


Рис. 3.1. Способи обприскування

**Встановити пропускну здатність форсунки:**

$$H_B = \frac{Q \cdot B \cdot V}{600 \cdot n} \cdot f, \text{ л/хв} \quad (3.1)$$

- $Q$  – задана норма внесення, л/га;
- $B$  – ширина захвату штанги, м;
- $V$  – робоча швидкість руху, км/год
- $n$  – кількість форсунок на штанзі;
- $f$  – густина хіміката, кг/л.

Пропускна здатність в л/хв буде становити:  $H_B=1,0$  л/хв







*Фактична норма внесення при відомій пропускній здатності форсунки:*

$$Q = \frac{600n \cdot H_B}{BVf}, \text{ л/га} \quad (3.2)$$

Маркування та класифікація розпилювачів

Табл. 3.1.

### Класифікація розпилювачів форсунок

Показники	Розмір краплі					
	Дуже мілка	Мілка	Середня	Велика	Дуже велика	Надзвичайно велика
Позначення	VF	F	V	C	VC	XC
Утримання на мокрому листі	Відмінно	Дуже добре	Добре	Посередньо	Погане	Дуже погане
Можливість зносу	Дуже висока	Висока	Значна	Середня	Низька	Малоймовірна
Розмір краплі, мк	Менше 150	150-200	200-300	300-400	400-500	Більше 500
Позначення на упаковці ЗЗР						

Враховуючи рекомендації виробників ЗЗР по використанню розпилювачів та використавши власні дослідження виконано розподіл розпилювачів згідно призначення по типу пестицидів табл 3.2.

Таблиця 3.2.

### Рекомендації по використанню ЗЗР та розпилювачів

								
Грун-тові	Дос-ходові	ГЕРБИЦИДИ		ФУНГЦИДИ		ІНСЕКТИЦИДИ		РІДКІ ДОБРИ-ВА
		Післясходові		Контактні	Сис-темні	Кон-тактні	Сис-темні	
		Контактні	Системні					
XC	VC	C	VC	M	C	M	C	XC
VC	C	M	C	F	M	F	M	VC
C	M	F	M	VF	F	VF	F	C

John Deere рекомендує міняти форсунки при зносі понад 10%, але, при цьому, не рідше одного разу на рік.

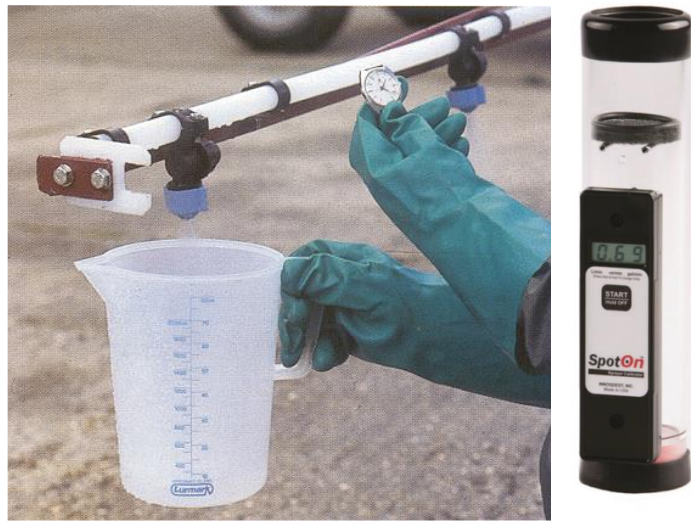


Рис. 3.2. Контроль та вимірювання зносу розпилювачів форсунок

3.2.Результати дослідження впливу зношування отворів розпилювачів на якість розпилу розчинів

На рисунку 3.3. представлено динаміку зносу розпилювачів форсунок в залежності від матеріалу.

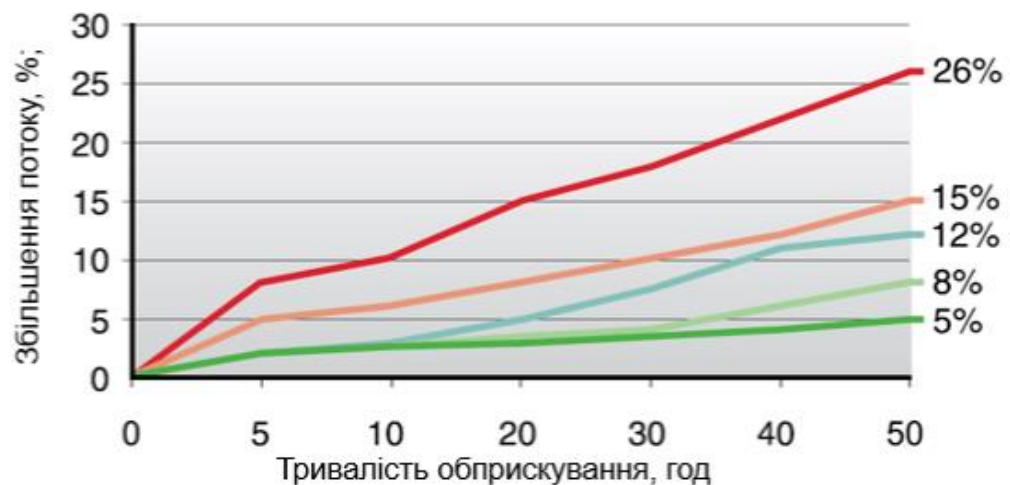


Рис. 3.3. Динаміка прискорення зносу розпилювачів форсунок\*

- латунь
- нержавійка
- ПВДФ
- поліацеталь
- кераміка

\* При тиску 2,8 бар



Лабораторні дослідження впливу висоти форсунок на величину зносу показали, що при збільшенні величини спрацювання отворів та щілин розпилювачів, зростає величина дрейфування (рис. 3.4.), що зменшує висоту нанесення пестицидів і, в свою чергу, експлуатаційні можливості обприскувачів.

### Висота форсунок над поверхнею рослин

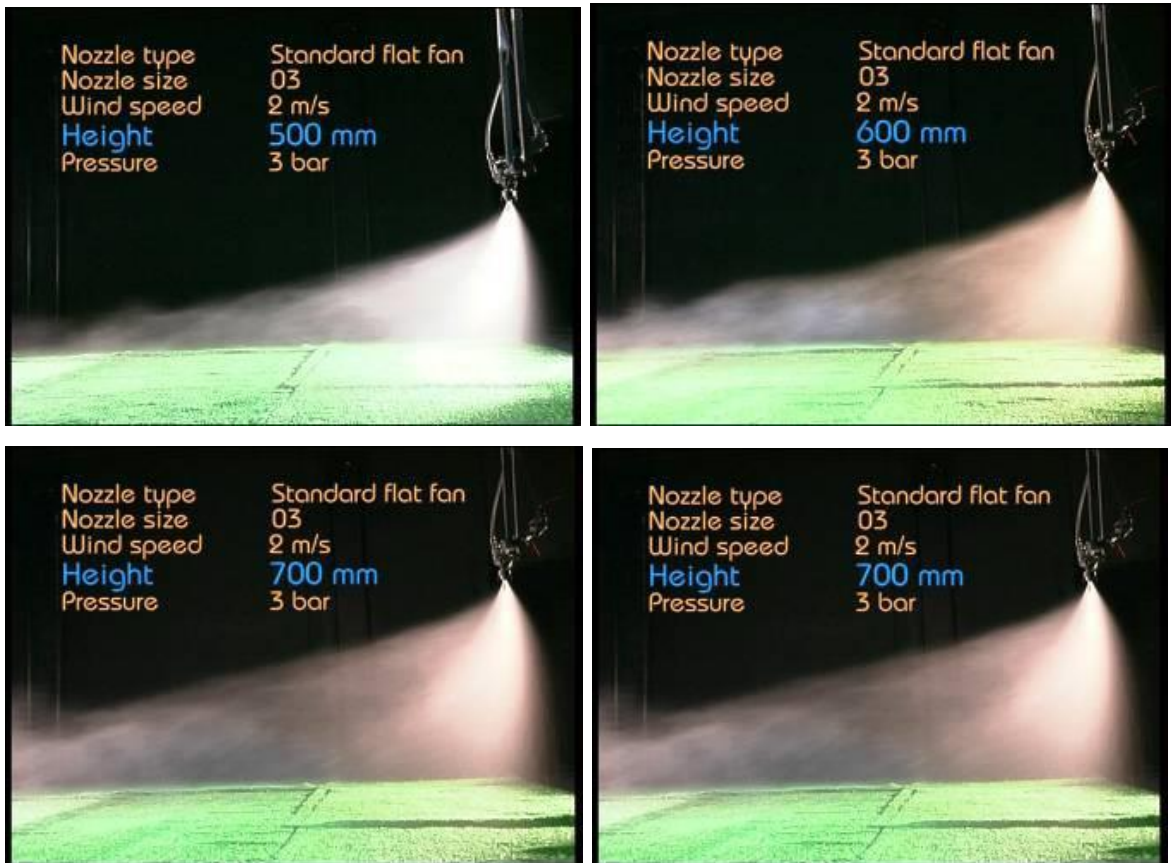


Рис. 3.4. Лабораторні дослідження впливу висоти форсунок на величину зносу

Типи форсунок, що досліджувались на знос  
Ширококутні плоскофакельні форсунки High Flow. Кут розпилу  $140^\circ$  (рис. 3.5)



Рис. 3.5. Ширококутні плоскофакельні форсунки High Flow



Таблиця 3.3.

## Результати досліджень

Показники	Значення
Застосування	Добрива
Факел розпилу	Конусний плоский
Матеріал	Поліацеталь
Крапля	ХС
Пропускна здатність, л/хв	3,1-22,7
Тиск, бар	1,5-6,0
Застосування на листя	Чудово
Грунтове внесення	Відмінно
Контроль зносу	Відмінно

Прямоточна конструкція запобігає засміченню; Відмінна однорідність розпилу по ширині штанги; Позначення – PSHFQ; Код 8005 на R4030 (6 л/хв при 3 бар) «ХС»

Слідуючі форсунки були зі струминними розпилювачами STC. Кут розпилу 110° (рис. 3.6.)

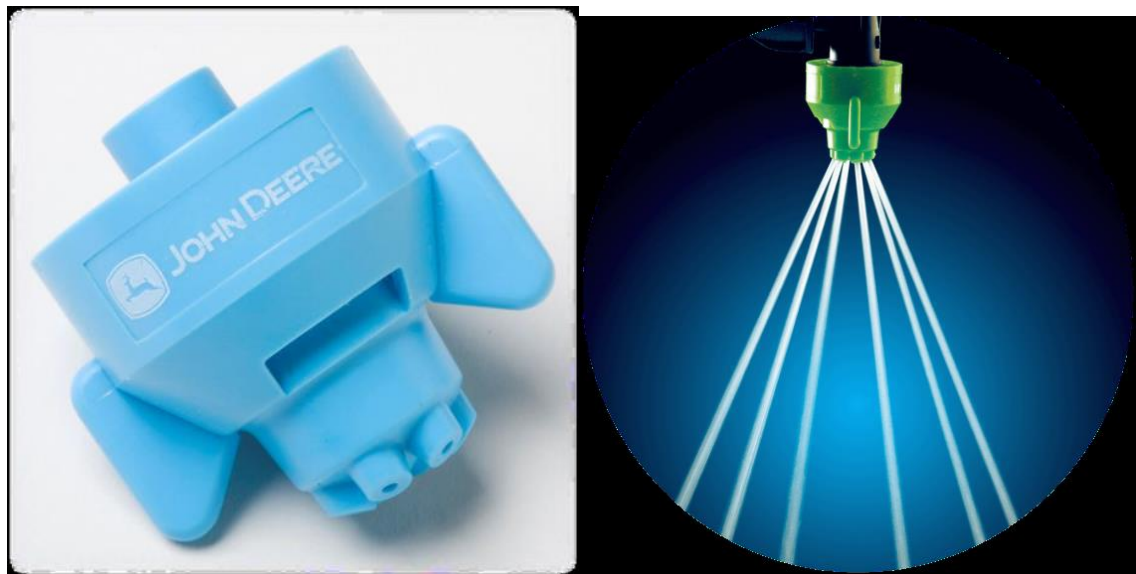


Рис. 3.6. Струйні розпилювачі STC. Кут розпилу 110°

Таблиця 3.4.

## Результати досліджень

Показники	Значення
Застосування	Добрива
Факел розпилу	Струя (6)
Матеріал	Кераміка
Крапля	ХС
Пропускна здатність, л/хв	0,57-6,0
Тиск, бар	1-4
Ґрунтове внесення	Відмінно
Контроль зносу	Відмінно

- Дифузор задає стабільність потоку для зменшення розбризкування на рослини; Мінімізовано ймовірність опіку листя рослин; Позначення – PSSTCQ; Код 8013 на R4030 (6 л/хв) «ХС»

Плоскофакельні форсунки Ultra Low-drift (ULA) з надзвичайно малим зносом. Кут розпилу 120° (рис.3.7.)



Рис. 3.7. Плоскофакельні форсунки Ultra Low-drift

- Повітронасичені краплі мають мінімальний знос;
- Ідеальні для досходового обприскування;
- Позначення – PSULAQ

Таблиця 3.4.

## Результати досліджень

Показники	Значення
Застосування	Гербіциди
Факел розпилу	Конусне віяло
Матеріал	Поліацеталь
Крапля	ХС, ВС, С, М, F
Пропускна здатність, л/хв	0,57-3,10
Тиск, бар	1-8
Контакт на листях	Відмінно
Ґрунтове внесення	Відмінно
Контроль зносу	Відмінно

Двопоточні розпилювачі TwinAir (TAQ). Кут розпилу 110° (рис. 3.8.)

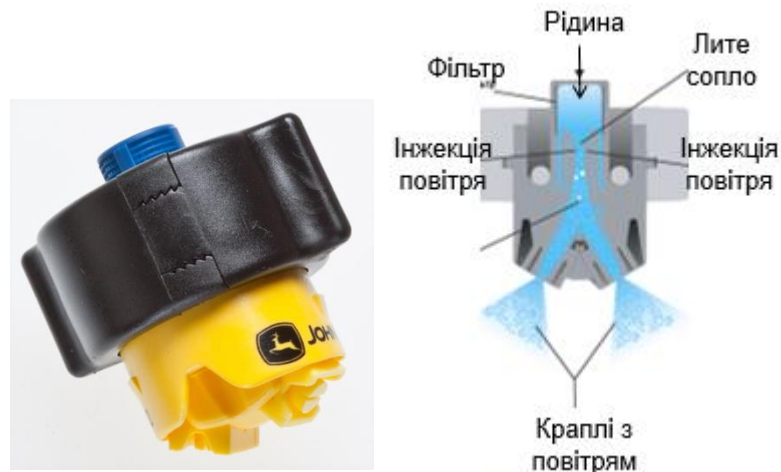


Рис. 3.8. Двопоточні розпилювачі TwinAir (TAQ)

- Повітронасичені краплі мають мінімальний знос;
- Ідеальні для досходового обприскування;
- Велика площа покриття віяла дає змогу обробити всю рослину;
- Позначення – PSTAQ:
- Код 8043 в R4030 (2,4 л/хв) при 3 бар «С»

Таблиця 3.5.

## Результати досліджень

Показники	Значення
Факел розпилу	Конусне плоске віяло
Матеріал	Поліацеталь
Крапля	ХС, ВС, С, М, F
Пропускна здатність, л/хв	0,75-3,0
Тиск, бар	2-8
Контакт на листях	Відмінно
Ґрунтове внесення	Відмінно
Контроль зносу	Дуже добре

Плоскофакельні форсунки з малим зносом Low-drift Air (LDA). Кут розпилу 110° (рис. 3.9.)



Рис. 3.9. Плоскофакельні форсунки з малим зносом Low-drift Air

- Ще більше мінімізовано знос;
- Надвисока капілярність розчину;
- Нахил розпилу для покращення покриття;
- Позначення – PSLDAQ:
- Код 8031 на R4030 (1,2 л/хв при 3 бар) «С»

Таблиця 3.6.

## Результати досліджень

Показники	Значення
Факел розпилу	Конусне плоске віяло
Матеріал	Поліацеталь
Крапля	ХС, ВС, С, М
Пропускна здатність, л/хв	0,57-1,89
Тиск, бар	1-8
Контакт на листях	Відмінно
Ґрунтове внесення	Дуже добре
Контроль зносу	Дуже добре

На причіпних обприскувачах встановлювали форсунки з розпилювачами XR TeeJet. Teejet XR-110.03-VP; Teejet XR-110.05-VP; Teejet XR-110.08-VP (рис. 3.10.)

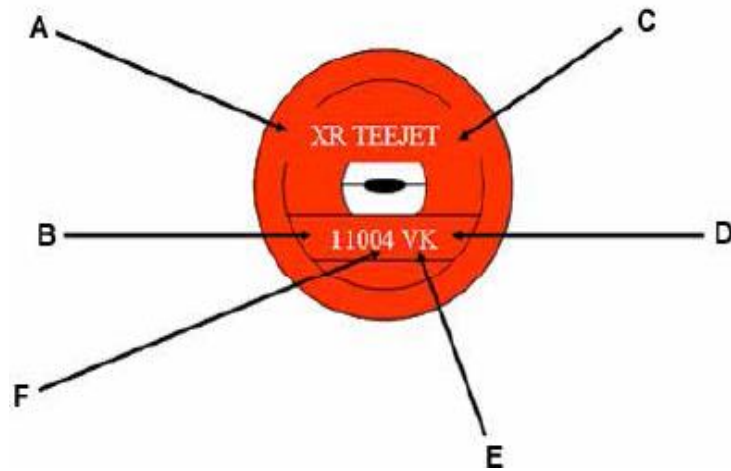


Рис. 3.10. Форсунки з розпилювачами XR TeeJet

A) Тип розпилювача; B) кут розпилення; C) Виробник (бренд); D) Матеріал (Кераміка -К, Нержавіюча сталь -S, Полімер –Р, Латунь -В); E) Кольорове кодування

F) Пропускна здатність, гал/хв; (0.4 GPM=1.51 л/хв при 40 psi=2,8 бар)

Кольорове маркування форсунок TeeJet						Кут розпилення	
Дуже малі	Дрібні	Середні	Великі	Дуже великі	Найбільш можливі	80°	75 cm
						110°	50 cm

## Контроль зношення розпилювача

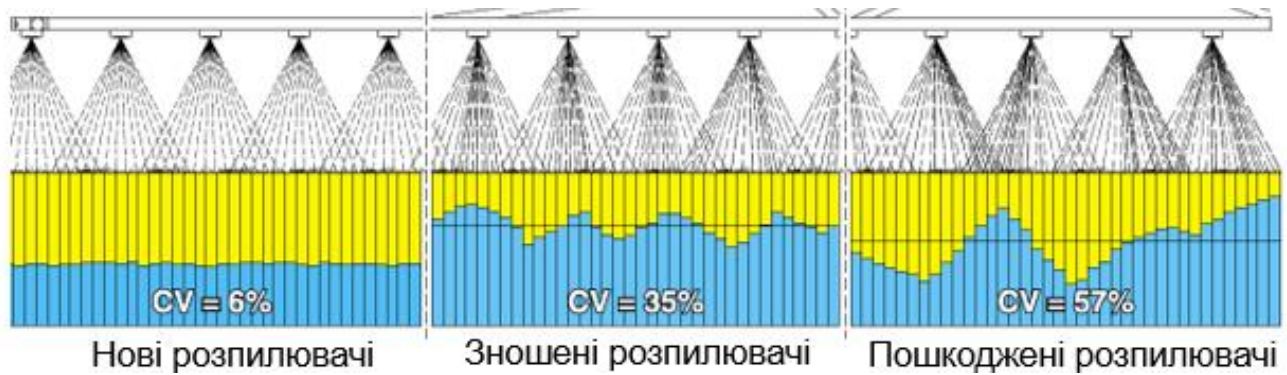


Рис. 3.11.

Найкращий спосіб перевірки – порівняння виливу з новим розпилювачем.

Допустиме відхилення – 10%. Для очищення розпилювача використовувати лише щітку з м'якими щетинками, наприклад зубну щітку. Зубочистки, металеві предмети категорично заборонено використовувати для очистки отворів.

Висновки до розділу 3.

1. Враховуючи рекомендації виробників ЗЗР по використанню розпилювачів та використавши власні дослідження виконано розподіл розпилювачів згідно призначення по типу пестицидів.
2. Лабораторні дослідження впливу висоти форсунок на величину зносу показали, що при збільшенні величини спрацювання отворів та щілин розпилювачів, зростає величина дрейфування (рис. 3.4.), що зменшує висоту нанесення пестицидів і, в свою чергу, експлуатаційні можливості обприскувачів.
3. Найкращі результати показали двопоточні розпилювачі TwinAir (TAQ). Повітронасичені краплі мають мінімальний знос; ідеальні для досходового обприскування; велика площа покриття віяла дає змогу обробити всю рослину. Плоскофакельні форсунки з малим зносом Low-drift Air, ще більше мінімізовано знос; надвисока капілярність розчину; нахил розпилу для покращення покриття.
4. Найкращий спосіб перевірки – порівняння виливу з новим розпилювачем.
5. Допустиме відхилення – 10%. Для очищення розпилювача використовувати лише щітку з м'якими щетинками, наприклад зубну щітку.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз конструкцій обприскувачів показує, що вибір моделі розпилювача залежить від площі, типу культури, доступного бюджету і технологічних потреб. Основними недоліками робочих є забруднення. Необхідність регулярного калібрування для точного дозування робочого розчину. Впливовим фактором на ефективність та якість розпилення технологічного розчину, являється знос розпилювачів та пошкоджуваність форм отворів при використанні різних матеріалів їх виготовлення. Експериментальні дані свідчать, що нерівномірний розподіл рідини можуть спричинити втрати пестицидів у межах 40-50%, що перевищують допустимі норми
2. Для кількісної оцінки впливу центрального моменту були проведені розрахунки стосовно експериментальної штанги масо  $m = 180$  кг; довжина плеча до центру маси  $L = 3$ м; кут нахилу штанги  $\alpha = 3^\circ$ ; величина зміщення точки опори при прийнятому куті нахилу штанги  $\Delta L = 0,05$  м; величина приросту маси півштанги  $\Delta m = 1$  кг; відстань від лінії спирання до штанги  $L = 0,3$  м. отримали значення  $M_2 - M_1 = 14,97$  кг·м;  $M_2 - M_1 + \Delta M = 2,062$  кг·м. Таким чином, розташування експериментальної штанги на 0,3 м нижче лінії опорної поверхні порівняно з розташуванням на цій лінії збільшує стабілізуючий момент сили в 1,4 рази.
3. За результатами статистичної обробки даних по залежності потужності, що витрачається на приведення в дію насоса, від його продуктивності та її зв'язку з параметрами обприскування встановлено, залежність затрат потужності на привод від витрати робочої рідини розпилювачем.
4. Найкращі результати показали двопоточні розпилювачі TwinAir (TAQ). Повітронасичені краплі мають мінімальний знос; ідеальні для досходового обприскування; велика площа покриття віяла дає змогу обробити всю рослину. Плоскофакельні форсунки з малим зносом Low-drift Air, ще більше мінімізовано знос; надвисока капілярність розчину; нахил розпилу для покращення покриття.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.deere.ua/uk/>
2. <https://www.kuhn.ua>
3. <https://case-ukraine.com.ua>
4. Teejet. Produkte fur Mobilsystem. Katalog 49A-D [Text] / Spraying Systems Co. - 2010. - 176 s.
5. Обладнання для захисту рослин: обприскувачі. ч. 1. Методи випробування насадок для розприскування (ISO 5682-1: 1996, IDT) ДСТУ ISO 5682-1: 2005
6. Хороші розпилювачі - високий ефективний обробіток. Захист та карантин рослин. 2006. №5. С. 44-45.
7. Ченкін А.Ф. Історія розвитку та проблеми захисту рослин / А. Ф. Ченкін. К.: Укрсільгоспакадемія, 1997. 331 с.
8. Штангові обприскувачі з розпилювачами, що обертаються / Н. В. Нікітін, Ю.Я. Спиридонів, В. А. Абубікер, М. С. Раскін. Захист та карантин рослин. 2005. №3. С. 46-48.
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. –К.: Урожай, 2001. – 384 с.
10. Хайліс Г.А. Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1991. – 199 с.
11. Комаристов В.Ю., Дунай М.Ф. Сільськогосподарські машини. К.: Вища школа, 1987. 248с.
12. Бойко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. К., 2003. 203 с.
13. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 2. К.: Урожай, 2002. 364 с.
14. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. К.: Урожай, 2001. 384 с.