

АНОТАЦІЯ

Задорожний Єгор Вячеславович «Обґрунтування режимів роботи та параметрів інжекторних розпилювачів пестицидів».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні засади формування рідинно-повітряного потоку в інжекторних розпилювачах пестицидів та практичні аспекти оптимізації їх конструктивних параметрів і режимів роботи для забезпечення рівномірного та енергоефективного внесення робочої рідини.

Дослідження гідродинаміки рідинно-повітряного потоку показали, що розрідження в порожнині повітряного отвору збільшується зі зростанням тиску робочої рідини. Встановлено, що для підтримання оптимального режиму роботи розпилювача необхідно зменшувати діаметр повітряного отвору за умови збереження максимальної ефективності процесу. У рамках роботи створено програму та методологію проведення експериментальних досліджень, а також лабораторну установку для визначення ключових показників роботи розпилювача: рівномірності розподілу рідини, ширини факела розпилення, площі покриття та кута розпилення.

Експериментальні дослідження виконано за методикою оптимального планування багатофакторних експериментів, де змінними факторами визначали тиск робочої рідини p_1 та діаметр повітряного отвору D_4 . Аналітичний та графічний аналіз показав суперечливість критеріїв оптимізації: максимальна площа покриття досягається за $p_1 = 0,411$ МПа та збільшених значень D_4 , тоді як мінімальні витрати рідини відповідають режиму $p_1 = 0,2$ МПа і $D_4 = 1,6$ мм. Комплексну оптимізацію параметрів розпилювача здійснено методом невизначених множників Лагранжа; отримано оптимальні значення для міжфорсунової відстані 0,5 м, тиску 0,46 МПа та діаметра отвору 1,7 мм.

У роботі проаналізовано вимоги охорони праці при застосуванні пестицидів та сформульовано правила безпечної експлуатації інжекторних розпилювачів. Техніко-економічний аналіз підтвердив доцільність застосування струминного інжекторного розпилювача, що забезпечує річний економічний ефект 2652 грн та термін окупності додаткових вкладень, який становить чверть року експлуатації.

Ключові слова: інжекторний розпилювач, рідинно-повітряний потік, тиск робочої рідини, діаметр повітряного отвору, площа покриття, рівномірність розподілу, оптимізація, охорона праці, економічна ефективність.

ABSTRACT

Zadorozhnyi Yehor Viacheslavovych «Substantiation of Operating Modes and Parameters of Injector Pesticide Sprayers».

Qualification work for the degree of Master in Agri-engineering under the educational program “Precision Agriculture Systems” in the specialty 208. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work investigates the theoretical foundations of liquid–air flow formation in injector pesticide sprayers and the practical aspects of optimizing their design parameters and operating modes to ensure uniform and energy-efficient application of working fluids. Modern technical solutions, areas of application, regulatory requirements, and key challenges related to spray uniformity and fluid consumption were analyzed.

Hydrodynamic studies revealed that the vacuum inside the air inlet cavity increases with rising liquid pressure. It was determined that maintaining optimal sprayer performance requires decreasing the air inlet diameter while preserving high efficiency. A research methodology and laboratory setup were developed to evaluate essential performance indicators, including spray pattern uniformity, target surface coverage, spray angle, and distribution width.

Experimental investigations were conducted using optimal planning of multifactor experiments, where the pressure of the working fluid p_1 and the air inlet diameter D_4 served as variable factors. Analytical and graphical analysis revealed conflicting optimization criteria: maximum coverage area corresponded to $p_1 = 0.411$ MPa and increased D_4 , whereas minimal fluid consumption was achieved at $p_1 = 0.2$ MPa and $D_4 = 1.6$ mm. Comprehensive optimization of sprayer parameters using the Lagrange multiplier method resulted in optimal values for a nozzle spacing of 0.5 m, working pressure of 0.46 MPa, and inlet diameter of 1.7 mm.

The study includes an analysis of occupational safety requirements during pesticide application and provides detailed safety guidelines for operating injector sprayers. Technical and economic calculations confirmed the feasibility of using a jet-type injector sprayer, yielding an annual economic benefit of 2652 UAH and a payback period equal to one quarter of an operating year.

Keywords: injector sprayer, liquid–air flow, working fluid pressure, air inlet diameter, coverage area, spray uniformity, optimization, occupational safety, economic efficiency.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ | 7 |
| 1.1 Розвиток конструкцій обприскувачів | 7 |
| 1.2 Вдосконалення конструкцій розпилювачів | 13 |
| 1.3 Встановлення мети та задач дослідження | 22 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННОГО ПОТОКУ | 24 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 32 |
| 3.1 Програма і методика досліджень | 32 |
| 3.2 Об'єкт досліджень | 37 |
| 3.3 Проведення експерименту | 37 |
| 3.4 Покращення конструкції та кінематичних властивостей розпилювача | 41 |
| РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ | 50 |
| РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 54 |
| ВИСНОВКИ | 58 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 60 |
| ДОДАТКИ | 63 |

ВСТУП

Сучасне сільське господарство неможливе без ефективних засобів захисту рослин, серед яких пестициди займають провідне місце. Вони дозволяють зменшити втрати врожаю від бур'янів, хвороб та шкідників, підвищуючи продуктивність аграрного сектору. Водночас надмірне або нераціональне застосування пестицидів створює серйозні ризики для довкілля, здоров'я людини та економічної ефективності виробництва. Одним із ключових аспектів раціонального використання засобів захисту рослин є вдосконалення технічних засобів їх внесення, зокрема інжекторних розпилювачів.

Інжекторні розпилювачі забезпечують формування крапель оптимального розміру та рівномірний розподіл робочої рідини по поверхні рослин, що дає можливість знизити непродуктивні втрати пестицидів і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Сільське господарство України має потужний потенціал, адже країна є одним із провідних експортерів зернових та олійних культур у світі. Водночас сучасні виклики — зростання цін на ресурси, зміни клімату, дефіцит якісної техніки та загострення екологічних проблем — вимагають впровадження більш точних і технологічних рішень. Використання інжекторних розпилювачів із правильно підібраними параметрами дозволяє підвищити ефективність обприскування, забезпечити економію препаратів, зменшити їх знесення за межі поля та скоротити ризики забруднення ґрунтів і водних ресурсів.

Таким чином, дослідження, спрямовані на обґрунтування режимів роботи та параметрів інжекторних розпилювачів пестицидів, є надзвичайно важливими для розвитку сучасного вітчизняного агропромислового комплексу. Їх результати сприятимуть підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, зниженню виробничих витрат і одночасному забезпеченню екологічної безпеки, що відповідає стратегічним пріоритетам сталого розвитку України.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Розвиток конструкцій обприскувачів

У 1924 році на ленінградському заводі «Вулкан» вперше був виготовлений ранцевий апарат «Тремас», а в 1931 році — кінний обприскувач з робочою шириною 6,16 м. Колективізація сільського господарства в цей період призвела до різкого зростання попиту на вітчизняні обприскувачі [1]. Між 1941 і 1954 роками було розроблено і виготовлено кілька різних типів обприскувачів для задоволення зростаючого попиту, включаючи кінний лабораторний обприскувач «Піонер», кінський обприскувач «Вулкан», тракторний обприскувач ТН-2 і обприскувач для бавовни. поля АТ. Розширення робіт з хімічного захисту рослин призвело до виготовлення в цей період нових машин — навісних обприскувачів ОДН і ОУН-6, обприскувач-пилоупилювач ОКС, аерозольний генератор АГ-Л6. ВІЗР і ВІШХОМ у 1954-1955 рр. розробили систему машин для захисту рослин, яка включала 49 різних видів обладнання. Замість кінних обприскувачів були розроблені нові причіпні та причіпні обприскувачі та обпилювачі. Основним виробником сільськогосподарських обприскувачів був львівський завод «Львівсільмаш».

Апарат, відомий як обприскувач-опилювач ОНК-Б, успішно встановлено на трактор. На машині встановлено дві цистерни об'ємом 550 літрів кожна з прольотом 10 метрів. Висоту штанги над ґрунтом можна регулювати в діапазоні від 0,4 до 0,85 метра. Робочий тиск залишається фіксованим на рівні 0,8 мегапаскалів, а об'єм робочої рідини, необхідний для оптимальної роботи, може становити від 200 до 600 літрів на гектар відповідно до [2].

Удосконалення штангових обприскувачів було здійснено шляхом підвищення їхньої ефективності, що можна пояснити розширенням їх захоплення. З 1970-х років дослідження в галузі механізації захисту рослин були зосереджені на усуненні головного недоліку, пов'язаного з обладнанням для

обприскування, а саме розсіювання пестициду за межі визначеної площі поля. З цією метою вжито наступних заходів:

Процес ізоляції дрібних крапель супутникового матеріалу передбачає відділення цих мініатюрних утворень від материнської маси. Це можна досягти за допомогою різних методів, таких як центрифугування, фільтрування або інших методів, які використовують відмінності у властивостях, таких як щільність, розмір або електричний заряд. Отримання ізольованих супутникових крапель є особливо актуальним у ряді наукових галузей, включаючи матеріалознавство, біотехнологію та фізику.

Використання піни як носія для робочої рідини стає все більш поширеним. Піна має здатність інкапсулювати робочу рідину у своїй матриці, що забезпечує тривале вивільнення препарату та контрольоване дозування.

Спосіб введення робочої рідини є вирішальним фактором, що визначає ефективність, біодоступність і безпеку засобу.

Впровадження гранульованих і мікрогранульованих робочих рідин стало популярним вибором завдяки їх здатності забезпечувати підвищену ефективність. Ці препарати виготовляються з меншими частинками, що призводить до збільшення площі поверхні та кращої розчинності. Ця покращена розчинність забезпечує швидше розчинення та всмоктування, що зрештою призводить до більш швидкого початку дії.

Простіше кажучи, застосування техніки примусового осадження передбачає контрольоване вивільнення крапель робочої рідини за допомогою різних механізмів. Ці механізми можуть включати використання повітряного потоку, утворення повітряної завіси або електричний заряд крапель робочої рідини.

За технологічними процедурами, що застосовуються при обробці, обприскувачі можна класифікувати на два типи: призначені для безперервної обробки та призначені для локальної обробки, як описано в [3].

Існує величезна кількість машин, призначених для хімічного захисту рослин. Однак варто відмітити, що всі ці машини дотримуються єдиного принципу схеми (як показано на малюнку 1.1). Цей принцип передбачає послідовний процес дозування робочого розчину, дроблення цього розчину на частинки заданого розміру і подальшу транспортування цих частинок до місця обробки.

Принципова схема обприскувача, як показано на малюнку 1.1, відображає різні компоненти, які складають цей пристрій. Ці компоненти включають заповнювальний фільтр, позначений 1, резервуар, представлений 2, стрижневу секцію, яка містить спринклери, позначену як 3, гідравлічний змішувач, зображений як 4, лінію всмоктування, позначену як 5, і фільтр лінії всмоктування, позначений як 6. Крім того, на цій схемі зображено насос, який зображено як 7, фільтр напірної лінії, позначений як 8, і напірну магістраль, позначену як 9. Нарешті, на схемі показано панель керування для розподілу та регулювання потоку рідини, яка зображена як 10, і головний рядок повернення, позначений як 11.

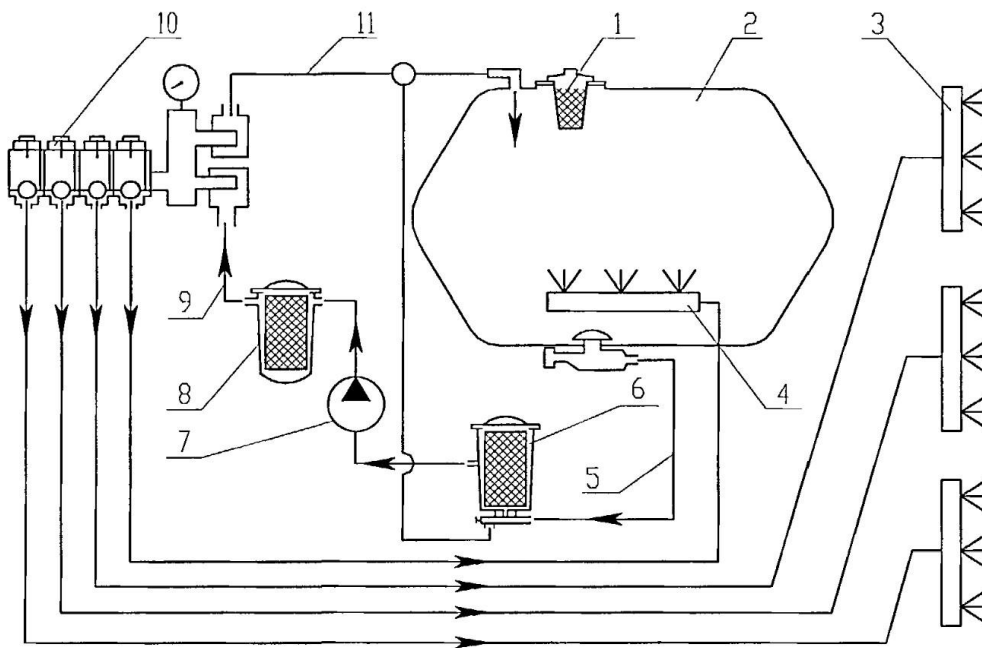


Рисунок 1.1 - Принципова схема обприскувача

Обприскувач обладнаний резервуаром для робочої рідини 2, який супроводжується гідравлічним змішувачем 4, фільтром 1, який містить наливну форсунку, і всмоктувальним комунікатором 5 з фільтром 6. Також пристрій містить насосний агрегат 7, регулятор-розподільник 10, комунікація тиску 9 з фільтром 8, штанга 3 з розпилюючими наконечниками. Під час руху агрегату робочий розчин, що міститься в резервуарі, подається насосом, який потім під тиском гідравлічних комунікацій надходить через фільтр до розпилювальних пристроїв. Регулятор встановлює і контролює необхідний тиск в магістралі, який показує манометр. Розпилювальні пристрої потім розпилюють робочий розчин на краплі та транспортують їх до передбачуваного об'єкта обробки. Конструктивні елементи розпилювачів схожі за призначенням, але відрізняються за будовою [4].

Обприскувач може комплектуватися різними робочими органами.

Характерною ознакою рециркуляційних розпилювачів є їхня здатність повертати невикористані частини нанесеного розчину назад у резервуар через спеціальний уловлюючий пристрій, таким чином мінімізуючи відходи. Цей метод обприскування особливо рекомендується при використанні гербіцидів, які, хоча вони змочують лише верхні частини цільових бур'янів, здатні проникати в кореневу систему та стебла рослини. Рекомендується, щоб бур'яни були принаймні на 15 см вищими за навколишні культури, щоб забезпечити ефективне покриття.

Використання методів розпилення дає значну перевагу з точки зору збереження ресурсів, з діапазоном від 60 до 80 відсотків розчину для обробки, що зберігається навіть у місцях із великими перешкодами. Крім того, застосування пестицидів є дуже точним, з мінімальним розпиленням на культурні рослини та повним уникненням руйнування препарату. Це дає змогу практикуючому спеціалісту працювати на високих швидкостях і за вітряних умов, про що свідчить посилання [5].

Для того, щоб пом'якшити наслідки розсіювання крапель у робочій рідині, викликаного вітром, було реалізовано пристрій для нахилу установки (як показано на малюнку 1.2). Пристрій має форму витонченої труби та постійно кріпиться до штанги розпилювача.

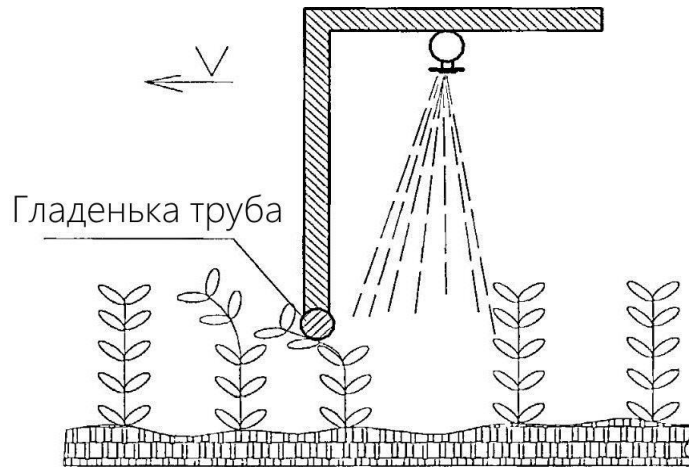


Рисунок 1.2 - Пристрій для нахилу рослин при обприскуванні

Коли машина рухається вздовж осі V, труба чинить тиск на стебла культури, в результаті чого в культурах залишається порожня зона. Потім цей простір заповнюється розчином робочої рідини. Крім того, штанга, оснащена розпилювачами, рухається на висоті приблизно 20 см над бадиллям культури, як зазначено в посиланні [6].

Розпилювачі з пневматичним штоком, як показано на малюнку 1.3, є добре відомим варіантом у промисловості. Ці розпилювачі виготовлені з полівінілхлоридної плівки та покладаються на вентилятор, який наповнює шток повітрям для роботи.



Рисунок 1.3 - Обприскувач з пневмоштангою

Процес починається з введення потоку повітря в спеціалізований дозатор-розподільник, який роздвоює його на два окремих потоки. Перший потік поєднується з краплями активної рідини, тоді як другий потік осаджує краплі. Ці типи розпилювачів здатні видаляти рідину, працюючи за швидкості вітру до 8 метрів за секунду. Спрей покриває обидві сторони листя, мінімізуючи втрату активної рідини через зношування. З іншого боку, недоліками цього методу є збільшення вартості обприскувача, збільшення ваги штанги та додаткові витрати енергії на роботу вентилятора.

У контактних обприскувачах (як показано на рисунку 1.4) як робочий орган використовується гніт 5, який закріплений між кронштейном і поздовжньою планкою 4. Спеціальні вирізи всередині поздовжньої планки забезпечують потік робочої рідини. Розчин пестициду подається через патрубок 1 з отворами 2. Розчином змочується пористий матеріал, який потім досягає бур'янів. Ці обприскувачі призначені для внесення неселективних гербіцидів для боротьби з бур'янами, вищими за культурні рослини.

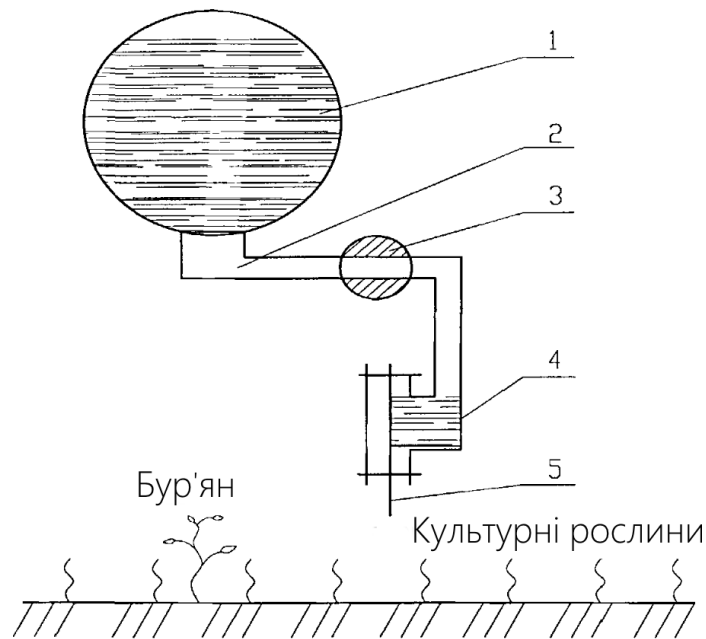


Рисунок 1.4 - Контактний обприскувач

При проведенні технічного аналізу сучасних обприскувачів встановлено [7], що діапазон ширини захвату може коливатися від 10 до 30 метрів. Крім того, максимальна ємність робочого резервуара може вмістити до 4000 літрів, а продуктивність коливається від 27 до 30 га на годину. Норма витрати робочої рідини також знаходиться в діапазоні від 75 до 300 літрів на гектар. Спостерігається, що нерівномірність витрати робочої рідини серед окремих розпилювачів у всіх моделях приблизно відповідає очікуваному діапазону. Примітно, що обприскувач ОМР 601 демонструє найбільш сприятливу полідисперсність, тобто співвідношення великих крапель до дрібних. Крім того, відхилення витрати та концентрації робочої рідини від заданих значень в усіх обприскувачах знаходиться в допустимих нормативних межах.

1.2 Вдосконалення конструкцій розпилювачів

В основі процесу обприскування лежить розпилювач, від якого залежить економічна та біологічна ефективність засобів захисту рослин, а також їх екологічна надійність, як стверджує джерело [8].

Коріння розвитку пристроїв для розпилення можна простежити до другої частини 19 століття. Шпакову та Ейзону приписують впровадження пневматичного розпилювача, який використовувався для розпилення масла під час горіння, відповідно в Росії та Англії. У 1894 році був розроблений перший гідравлічний відцентровий розпилювач. Початковий гідравлічний відцентровий розпилювач, вбудований у побутові розпилювачі, складався з корпусу з отвором для виходу рідини та міцно вставленого сердечника з гвинтовою різьбою.

Багато вчених присвятили свої зусилля розробці та обґрунтуванню параметрів схем обприскувачів. Білецький І.М. розробив комплексні технологічні основи використання гербіцидів та механізованого внесення. Теоретичні та практичні умови утворення, розподілу, осадження аерозолів, краплинного випаровування та параметри монодисперсних розпилювачів для малооб'ємного та надмалооб'ємного обприскування пестицидами обґрунтовано Дунським В.Ф., Нікітіним М.В., Соколовим М.С. Крім того, Pages D.G. і В. С. Галустов провели аналіз різноманітних розпилювачів, що застосовуються в хімічній промисловості для розпилення рідин, і запропонували методикау їх розрахунку.

У сучасному сільському господарстві використовується широкий спектр обладнання для обприскування, кожне з яких використовує унікальні методи обприскування. Відповідно до системи класифікації, розробленої Дитякіним Ю.Ф. обприскувачі можна розділити на три типи: гідравлічні, механічні та пневматичні.

У гідравлічних розпилювачах тиск упорскування всередині розпилювача відповідає за подрібнення рідини на краплі, як показано на малюнку 1.5.



Рисунок 1.5 - Інжекторні та щілинні розпилювачі (ліворуч та праворуч відповідно)

Передача енергії в механічних розпилювачах відбувається переважно через механізм тертя між рідиною і обертовим робочим елементом. Після передачі цієї енергії рідина набуває обертального руху, який виштовхує її з розпилювача з великою швидкістю під дією відцентрових сил. Результуюча відцентрова сила дробить рідину на краплі, тим самим завершуючи процес розпилення.

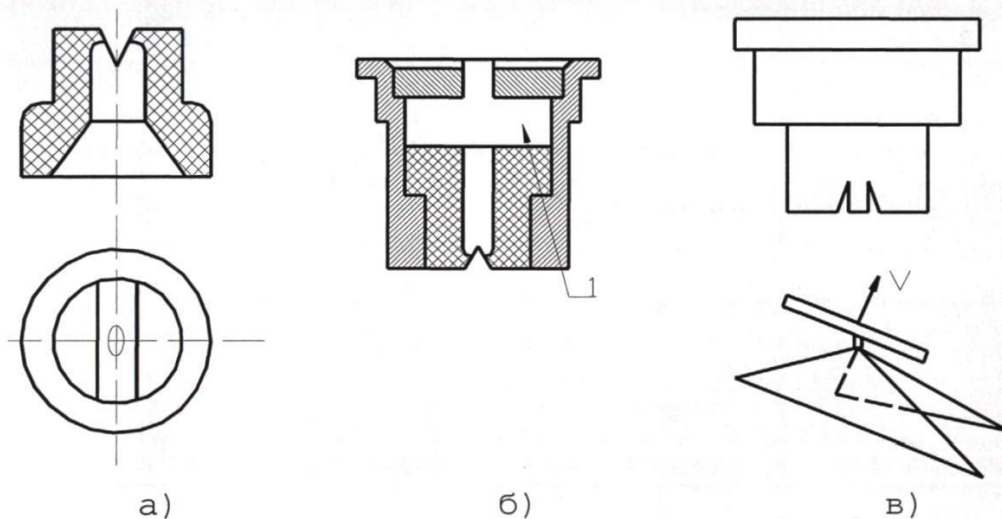


Рисунок 1.6 - Щілинні розпилювачі: а – звичайний щілинний розпилювач; б – розпилювач із зниженим дрейфом крапель; в – подвійний щілинний розпилювач

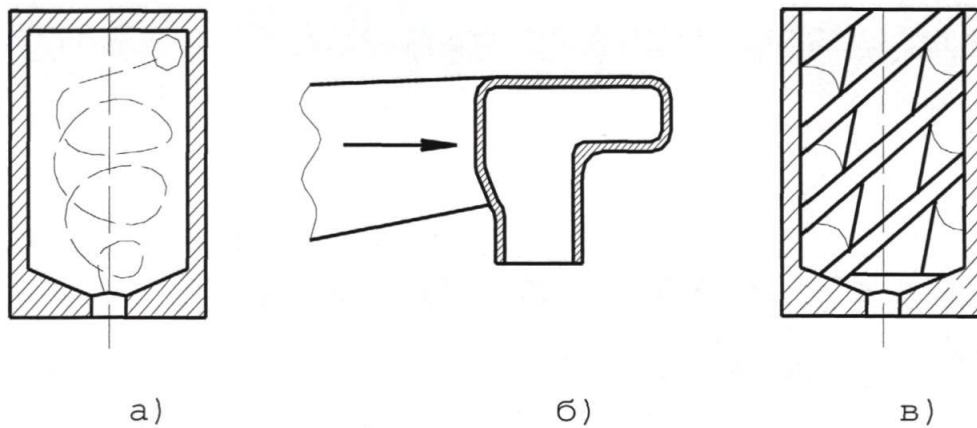


Рисунок 1.7 - Відцентрові розпилювачі: а) тангенційний; б) евольвентний та в) відцентровий розпилювач з осердям

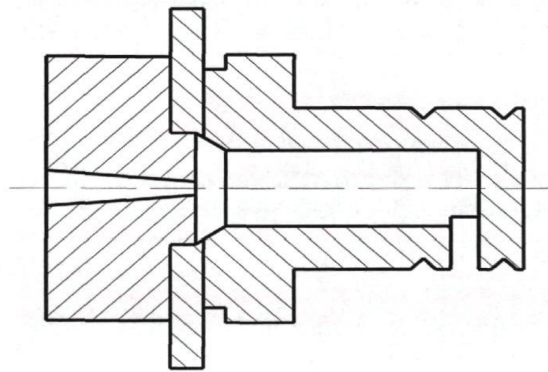


Рисунок 1.8 - Дифлекторний розпилювач

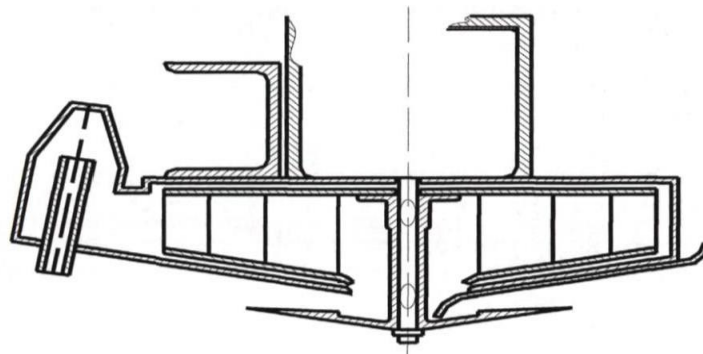


Рисунок 1.9 - Обертовий розпилювач із примусовим відокремленням та повторним розпиленням

Порівняльний аналіз щілинних розпилювачів виробництва ГСКТБ (м. Львів) та компанії «Teejet» показує, що за однакової витрати робочої рідини в одиницю часу обидва типи утворюють краплі подібного діаметра. Для

розпилювачів типу РШ-110-1,6 втрати, спричинені утворенням дрібнодисперсних крапель, становлять близько 4,5 % від загального об'єму рідини, що розпилюється, тоді як втрати внаслідок утворення великих крапель сягають приблизно 31 % [9].

Порівняно з вітчизняними аналогами, щілинні розпилювачі «Teejet» характеризуються незначними коливаннями ширини смуги факела, що забезпечує стабільність розміру крапель і рівномірність покриття. Натомість розпилювачі українського виробництва формують краплі відносно однорідного діаметра по ширині факела, однак розподіл рідини в межах зони обробки є нерівномірним [10].

Застосування робочої (функціональної) рідини через щілинні розпилювачі вітчизняного та зарубіжного виробництва подібних розмірів не виявляє суттєвих відмінностей у параметрах розпилення.

Пневматичний розпилювач ежекційного типу (схематично поданий на рисунку 1.10) [11] являє собою круглу камеру 1, утворену корпусом і змінним соплом 2. Робоча рідина подається всередину сопла, куди одночасно надходить стиснене повітря. Повітряний потік, рухаючись під тиском, захоплює рідину та диспергує її на дрібні частинки, утворюючи факел розпилення.

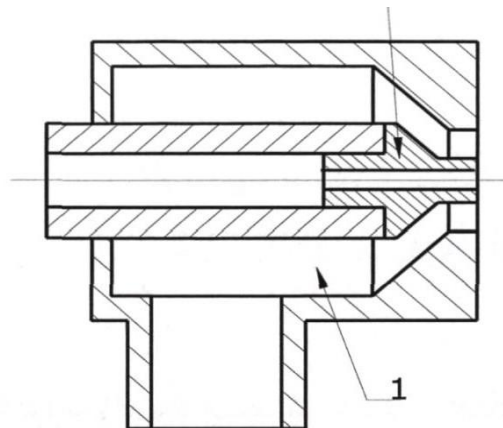


Рисунок 1.10 - Пневматичний розпилювач ежекційного типу: 1) кільцева камера; 2) змінний жиклер

Пневматичні розпилювачі функціонують, забезпечуючи рідину енергією через динамічну взаємодію з високошвидкісним газовим потоком. Як альтернатива, газ може подаватися в рідину через механізм перепаду тиску [10].

Швидкість рідини в русі визначається площею поперечного перерізу сопла 2. Отже, для досягнення цільового розподілу аерозолі необхідно регулювати лише тиск повітря, переважно в межах від 0,2 до 0,5 мегапаскалів. Краплі розпиленої рідини потрапляють до досліджуваного суб'єкта через повітряний потік і здатні глибше проникати в густе листя рослин.

Конструкція розпилювача відрізняється своєю складністю, оскільки вимагає включення додаткового обладнання для подачі повітря - зокрема, генератора.

Шершабов І.В. розробив ежекційний розпилювач (див. рис. 1.11), який складається з гідрофорсунки 1 і ежекційної форсунки 2. Гідрравлічна форсунка 1 створює компактний потік робочої рідини, який, рухаючись з великою швидкістю, створює розрідження на вході. отвір 3 за допомогою втягування атмосферного повітря. Водно-повітряна амальгама, що утворюється при ударі об дефлектор 4, виходить з випускного отвору 5 у вигляді плоского струменя. Обприскувач призначений для великокрапельного розпилення. Злиття крапель в розпиленому струмені є результатом того, що в'язкість водоповітряної суміші перевищує в'язкість робочої рідини.

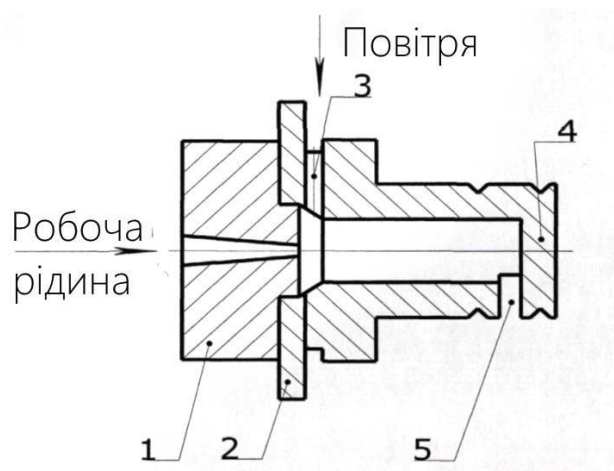


Рисунок 1.11 - Ежекційний розпилювач конструкції Шершабова І.В.

Об'єкт оброблення здатний утримувати 80–95 % робочої рідини завдяки високій кінетичній енергії більших крапель, що забезпечує можливість проведення обприскування навіть за швидкості вітру до 5 м/с. Встановлено, що ступінь руйнування диспергованої рідини за таких умов є незначним [6].

Сучасні інжекторні розпилювачі компаній «Agrotop» і «Lechler» (Німеччина), «Teejet» і «Billerica Farm Services» (США), «Albuz» (Франція) та інших виробників демонструють низку переваг (рис. 1.12, а, б). Ці пристрої формують краплі збільшеного діаметра, що сприяє точному дозуванню робочої речовини та рівномірному її розподілу на поверхні культур. Крім того, вони забезпечують глибоке проникнення препарату у рослинну масу, характеризуються низькою швидкістю випаровування великих крапель і зменшеною чутливістю до зовнішніх факторів.

За результатами останніх досліджень [12], явище вітрової ерозії може мати позитивний економічний ефект у сфері захисту рослин, сприяючи зменшенню витрат на застосування препаратів.

Під час роботи інжекторного розпилювача (рис. 1.12, а) [13] робоча рідина під тиском подається через камеру 1 та канал 2, де за рахунок розрідження, спричиненого швидкісним рухом рідини, відбувається підсмоктування атмосферного повітря через отвір 3. Отримана рідинно-повітряна суміш надходить до дифузора типу Вентурі 5, у якому за допомогою щілинного розпилювача 6 потік розбивається на краплі та рівномірно розподіляється по поверхні, що обробляється. Регулювання поперечного перерізу дифузора Вентурі дозволяє змінювати швидкість суміші, забезпечуючи оптимальне співвідношення між компонентами [14].

Краплі, що містять повітряні бульбашки (рис. 1.13, а), мають збільшений діаметр і при зіткненні з листковою поверхнею розпадаються на дрібніші частини. Утворені дрібні елементи формують тонку плівку, яка рівномірно

покриває листок (рис. 1.14, а). Відсутність надлишку дрібнодисперсних крапель знижує втрати робочої рідини внаслідок випаровування чи знесення вітром, що пояснюється дією сил поверхневого натягу (рис. 1.15).

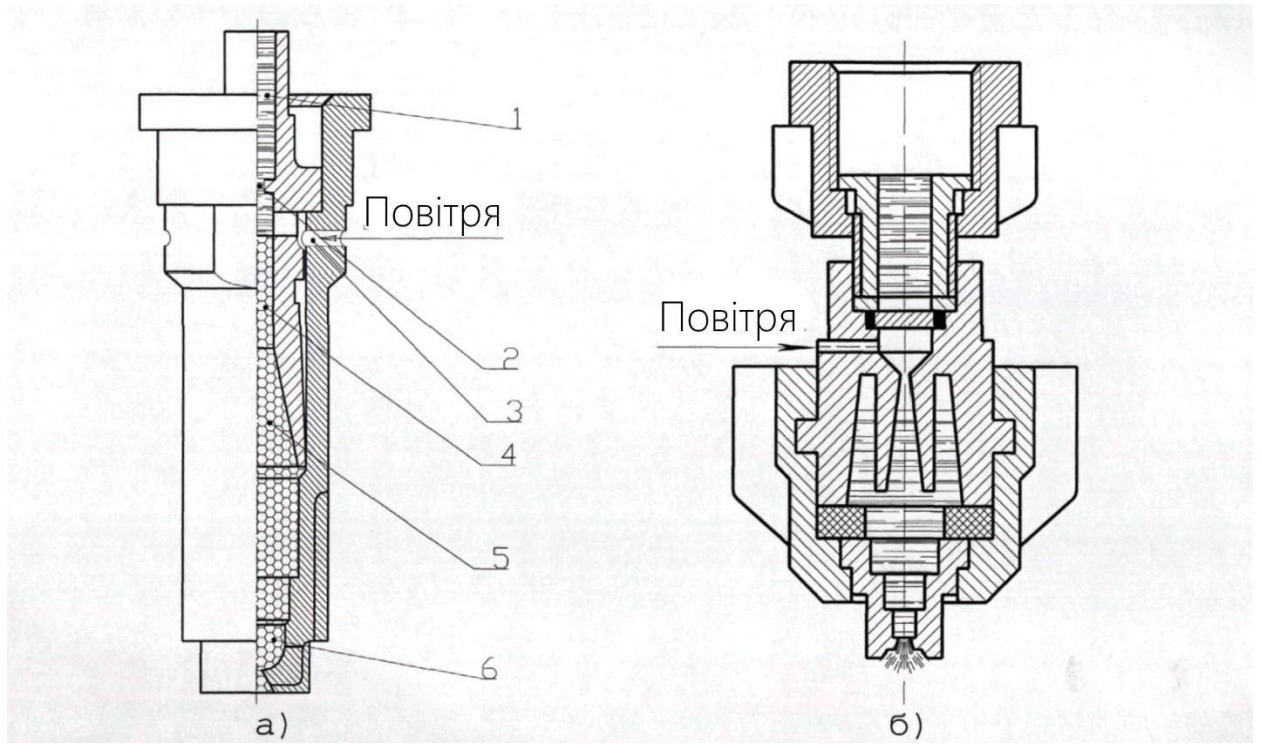


Рисунок 1.12 - Інжекторні розпилювачі: а) розпилювач фірми «Lechler», б) розпилювач фірми «Agrotop».

Зображення процесу покриття поверхні, що піддається обробці щілинними розпилювачами під час експлуатації, наведено для порівняння на рис. 1.13 (б) та рис. 1.14 (б).

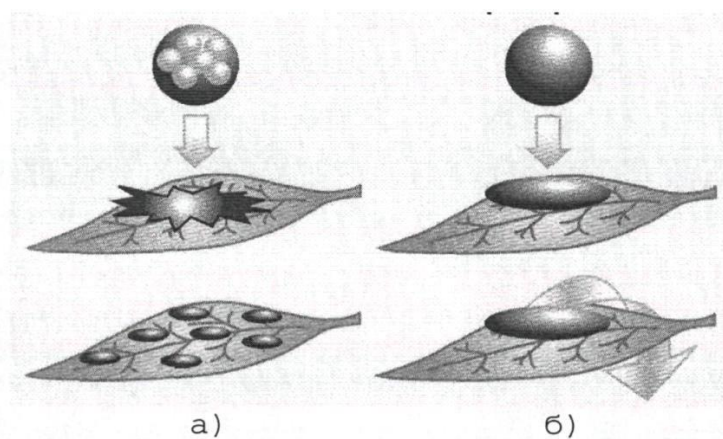


Рисунок 1.13 - Покриття поверхні робочою рідиною: а) інжекторним розпилювачем; б) щілинним розпилювачем.

На малюнку 1.16 показано, що інжекторні розпилювачі оснащені одним або двома отворами для всмоктування повітря. Ці обприскувачі в основному використовуються для захисту польових культур і можуть працювати в діапазоні тиску від 0,2 до 0,6 МПа, а деякі моделі можуть працювати до 0,8 МПа. Крім того, вбудований в їх конструкцію байонетний механізм кріплення спрощує процес монтажу.

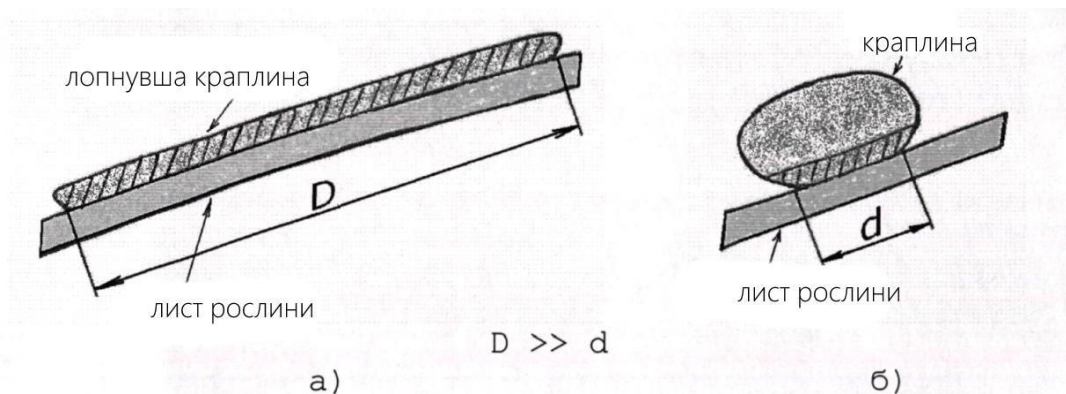


Рисунок 1.14 - Площа покриття поверхні при обприскуванні: а) інжекторним розпилювачем; б) щілинним розпилювачем

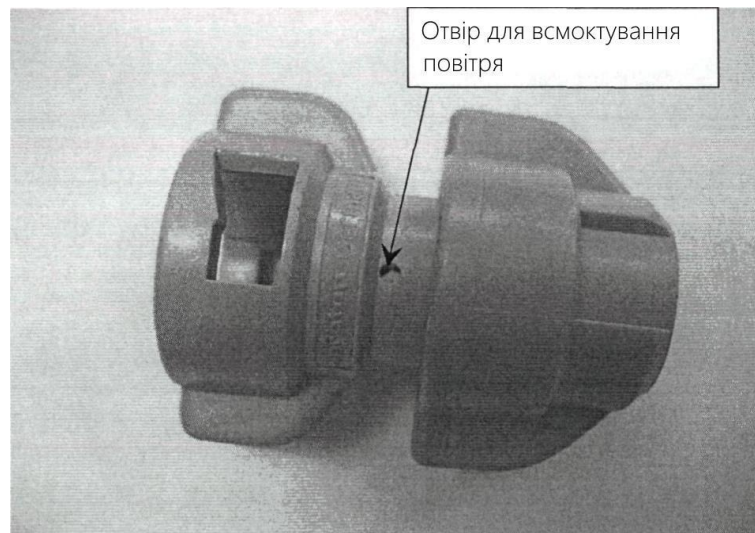


Рисунок 1.15 - Отвори для всмоктування повітря інжекторного розпилювача «Agrotop»

Обприскувачі AITeejet організації «Teejet» розроблені експертами для цільового внесення контактних пестицидів із використанням високоточного кута розпилення 95°. Крім того, корпорація «Lechler» набула досвіду у створенні інжекторних обприскувачів IS, які спеціально розроблені для розпилення країв поля під кутом факела розпилення 80°. Ці обприскувачі також оснащені механізмами автоматичного очищення отворів для всмоктування повітря, що забезпечує незмінно високий рівень продуктивності.

Інжекторні обприскувачі Lechler поділяються за розміром на дві групи, а саме компактні (IDK) і традиційні довгі (ID) [15]. Компактні розпилювачі спеціально розроблені для роботи в умовах низького тиску (0,25 МПа). Однак слід зазначити, що підвищення тиску понад 0,25 МПа призводить до надмірного дроблення крапель.

Інжекційні форсунки з подовженою структурою демонструють подібні характеристики, хоча і з розширеним діапазоном робочого тиску. Застосування інжекторних розпилювачів дозволяє розганяти обробну установку до 10 км/год і полегшує обробку при швидкості бічного вітру до 5 м/с.

1.3 Встановлення мети та задач дослідження

У сучасному сільському господарстві спостерігається суттєве зростання використання польових обприскувачів, що зумовлює необхідність детального аналізу їхньої екологічної безпечності та економічної доцільності. Агротехнічно обґрунтованим вважається розмір крапель робочої рідини в межах 80–360 мкм, оскільки саме в цьому діапазоні забезпечується оптимальне покриття поверхні рослин.

Водночас поширені моделі щілинних розпилювачів формують спектр крапель із розмірами від 40 до 600 мкм, що призводить до істотних втрат робочого розчину: близько 30 % осідає поза оброблюваною поверхнею листя, а ще приблизно 5 % випаровується, не досягаючи цільового об'єкта.

Показано, що використання інжекторних розпилювачів, які створюють великі краплі рідини та повітря розміром понад 500 мкм, призводить до помітного покращення ефективності обприскування культур. Коли ці краплі стикаються з поверхнею рослин, вони вибухають і утворюють тонку плівку, яка покриває листя. Незважаючи на очевидні переваги, немає досліджень щодо оптимізації конструкції та робочих параметрів інжекторних обприскувачів. Крім того, емпірично підтверджена залежність між діаметром повітряного отвору та тиском робочої рідини не була встановлена, і діаметр повітряного отвору ще належить оптимізувати.

Метою даного дослідження є проведення як теоретичної, так і експериментальної оптимізації конструктивних та експлуатаційних параметрів інжекторного розпилювача. Мета – підвищити ефективність захисту рослин, дотримуючись стандартів екологічної безпеки.

Щоб досягти поставленої мети, подальші обов'язки вимагають вирішення:

Необхідно виконати теоретичну перевірку кореляції між діаметром повітряного отвору та тиском робочої рідини, яка надходить в інжектор розпилювача.

Метою даного дослідження також є встановлення методології експериментальної оцінки параметрів якості інжекторного обприскувача.

Відповідно до встановленої методології необхідно побудувати лабораторне приміщення, придатне для проведення експериментальних досліджень.

Параметри інжекторного обприскувача можна оптимізувати шляхом експериментальної перевірки теоретично отриманих результатів.

Оцінка отриманих результатів у контрольованих лабораторних умовах і розрахунок грошової вигоди Інтеграція інжекторних розпилювачів у виробничий процес є обов'язковою для оцінки ефективності цього впровадження.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДИННОГО ПОТОКУ

Було проаналізовано процес змішування потоків повітря та рідини для двигунів внутрішнього згоряння щодо функціональності карбюратора [16] (як показано на малюнку 2.1).

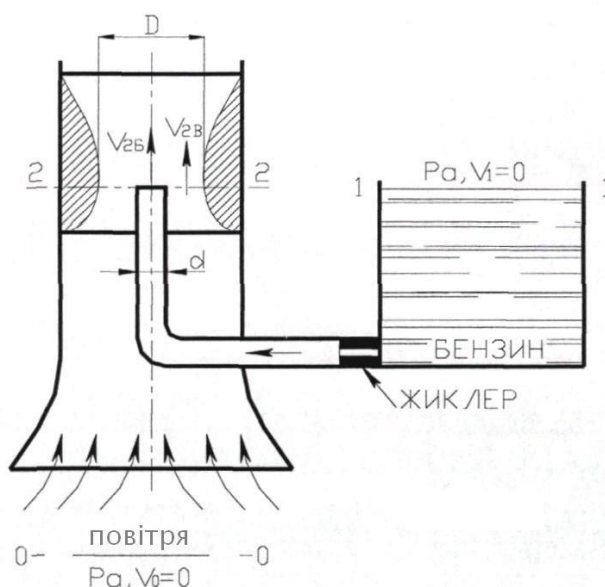


Рисунок 2.1 - Схема карбюратора

У механіці потік повітря обмежується при вході в карбюратор через установку бензинового розпилювача, інакше відомого як струмінь. Це звуження викликає відповідне збільшення швидкості повітря, коли воно проходить через звужену область, що призводить до падіння тиску. Це зниження тиску створює стан розрідження, що, у свою чергу, змушує рідину текти через сопло під дією вакууму. Потім рідина змішується з повітрям для завершення процесу.

Рівняння Бернуллі для потоку повітря:

$$\frac{P_a}{\gamma_n} + \frac{V_a^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_n} + \frac{V_{2в}^2}{2} (1 + \xi_n) \quad (2.1)$$

де p_a - атмосферний тиск, рівний 0,1 МПа;

γ_n - питома вага повітря, Н/м³;

V_a - швидкість повітря на вході в карбюратор, $V_a=0$, м/с;

$V_{2\sigma}$ - швидкість повітря в місці установки жиклера, м/с;

p_2 - тиск змішаного двофазного потоку, МПа;

ξ_n - коефіцієнт опору повітря, що переміщується по каналу.

Для потоку пального (бензину) рівняння Бернуллі буде таким:

$$\frac{p_a}{\gamma_p} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma_p} + \frac{v_{2\sigma}^2}{2} (1 + \xi_p) \quad (2.2)$$

Пропонований порядок дій полягає у визначенні коефіцієнта пропорційності між ваговою швидкістю потоку рідини G_b і наступним математичним виразом:

$$\frac{G_p}{G_p} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \sqrt{\frac{\gamma_p (1 + \xi_n)}{\gamma_n (1 + \xi_p)}} \quad (2.3)$$

При ретельному аналізі літератури встановлено, що характеристикам інжекторних форсунок, які, по суті, є найелементарнішою формою карбюраторів, приділено значно менше уваги порівняно з щілинними, відцентровими та роторними форсунками. В першу чергу це пов'язано зі складністю фізичних процесів, пов'язаних з роботою таких розпилювачів, що вимагає комплексної оцінки витікання двох потоків із відмінними властивостями, а також їх взаємодії між собою та з навколишнім середовищем.

Вивчивши поточну ситуацію, можна зробити висновок, що кількість споживаної робочої рідини та параметри розпилювача тісно пов'язані з тиском робочої рідини на вході в розпилювач. Інжектори, які використовуються в конструкціях обприскувачів, забезпечують необхідні для сільськогосподарських цілей режими диспергування робочої рідини, і їх параметри не регулюються. Ефективність цих розпилювачів в першу чергу визначається співвідношенням

рідини і повітря в краплях, на яке безпосередньо впливає тиск робочої рідини і розмір повітряного отвору.

Інжекторний обприскувач характеризується примітною особливістю, а саме наявністю камери змішування (5) для робочої рідини та повітря. Ця камера змішування (5) з'єднана з атмосферою через інжектор (4), як показано на малюнку 2.2.

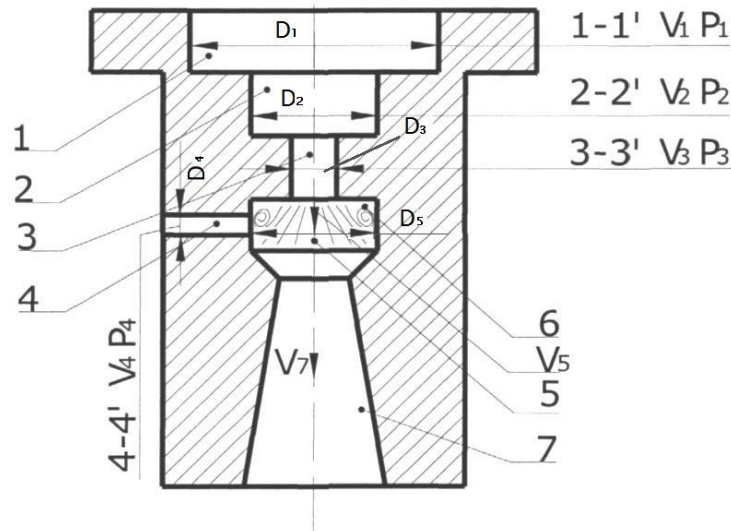


Рисунок 2.2 - Схема інжекторного розпилювача

Механізм роботи конструкції такий: циліндрична камера (1) з діаметром проходу D_1 (секція 1-1') є точкою входу для рідини під тиском p_1 і швидкістю v_1 .

Під час проходження робочої рідини через камеру (2) (переріз 2-2') із зменшеним діаметром проходу D_2 відбувається збільшення її швидкості до v_2 та відповідне зниження тиску до p_2 . Після цього потік переходить у канал (3) діаметром D_3 , де рухається зі швидкістю v_3 і тиском p_3 . Далі рідина спрямовується до камери змішування (5), діаметр якої становить D_5 , і набуває швидкості v_5 . Камера (5) з'єднана з атмосферним середовищем через інжекторний отвір (4) діаметром D_4 (переріз 4-4').

У камері 5 на початку і в кутах розвивається турбулентна область, яка утворює кільцевий простір, заповнений повітрям [17]. Завдяки нижчому тиску в турбулентних зонах порівняно з атмосферним тиском повітря втягується через отвір

(4) (рис. 2.3). В результаті струмінь робочої рідини розширюється на певну довжину L , заповнюючи весь поперечний переріз камери (5). Бульбашки повітря, які проникають у потік рідини, споживають частину енергії потоку та створюють суміш рідини та повітря. Ця суміш утворює струмінь, що рухається зі швидкістю v_7 розпилювача вздовж розширювача Вентурі 7.

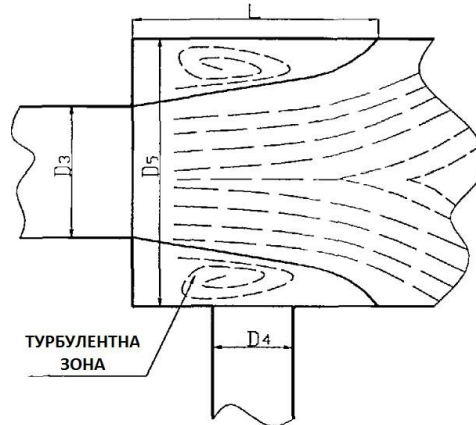


Рисунок 2.3 - Різке розширення струменя

Щоб визначити значення параметрів інжекторного розпилювача, ми використовуємо рівняння Бернуллі. Рух робочої рідини в перерізах 1-1 і 2-2 формалізовано за допомогою залежності (2.4).

$$\frac{P_1}{\gamma_p} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{v_2^2}{2g} (1 + \xi_k) \quad (2.4)$$

Рівняння Бернуллі приймають таку структуру, коли застосовуються до потоків рідини в секціях 2-2 і 3-3, і повітря в секції 4-4:

$$\frac{P_2}{\gamma_p} + \frac{v_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma_p} + \frac{v_3^2}{2g} (1 + \xi_k) \quad (2.5)$$

$$\frac{P_2}{\gamma_n} + \frac{v_a^2}{2g} = \frac{P_4}{\gamma_n} + \frac{v_4^2}{2g} (1 + \xi_{so}) \quad (2.6)$$

Кількість повітря, що проникає через інжектор, залежить від швидкості руху робочої речовини в камері амальгамування 5:

$$q_n = F_4 V_5 \quad (2.7)$$

З рівняння (2.7) маємо:

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \times q_n}{\pi V_5}}, \text{ м} \quad (2.8)$$

Щоб визначити значення V_5 , буде проведено ретельний аналіз балансу тиску. Цей аналіз буде проведено, коли повітря втягується через отвір 4 і згодом потрапляє в камеру змішування, позначену як 5:

$$\frac{P_3}{\gamma_p} - \frac{P_4}{\gamma_n} = \frac{P_5}{\gamma_p} + \frac{V_5^2}{2g} (1 + \xi_{kc}) - \frac{P_5}{\gamma_p} - \frac{V_7^2}{2g} (1 + \xi_{pB}) \quad (2.9)$$

де V_7 - швидкість робочої рідини на початку витратоміра Вентурі, м/с;

ξ_{kc} - коефіцієнт опору проходженню робочої рідини через камеру 5,

$\xi_{kc} = 0,04 \dots 0,06$ [3];

ξ_p - коефіцієнт опору витратоміра Вентурі при русі по ньому рідинно-повітряної суміші, $\xi_{pB} = 0,01 \dots 0,02$ [3].

Безрозмірний параметр, позначений символом «а», використовується для характеристики інжектора. Цей параметр служить для встановлення відносної швидкості при початку роботи камери змішування [18]:

$$a = \frac{V_7}{V_5} = U - \sqrt{U^2 - \frac{1 - \xi_{kc}}{1 + \xi_{kc}}} \quad (2.10)$$

$$U = \frac{1}{2q} \left[\frac{1 - \xi_{kc}}{1 + \xi_{kc}} \left((1 + q)^2 (1 + \xi_{pB}) (1 + \xi_{kc} + \xi_{pB}) - q^2 \right) - 1 \right]$$

Вираз (2.9) з урахуванням (2.10) матиме такий вигляд:

$$V_5 = \sqrt{\frac{2g(P_3\gamma_n - P_4\gamma_p)}{\gamma_n\gamma_p \times [1 + \xi_{kc} - a^2(1 + \xi_{pB})]}} \quad (2.11)$$

Значення v_5 підставимо в (2.8):

$$D_4 = \left(\frac{4 q_B}{\pi} \right)^{0.5} \left(\frac{\gamma_n\gamma_p \times [1 + \xi_{kc} - a^2(1 + \xi_{pB})]}{2g(P_3\gamma_n - P_4\gamma_p)} \right)^{0.25} \quad (2.12)$$

Значення V_1, V_2, V_3, P_2, P_3 і P_4 можуть бути отримані шляхом вирішення набору рівнянь (2.4-2.6), враховуючи такі параметри:

$$V_1 = \frac{4 q_p}{\pi D_1^2}, \text{ м/с} \quad (2.13)$$

$$V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2 \quad (2.14)$$

$$V_2 D_2^2 = V_3 D_3^2 \quad (2.15)$$

Оцінка швидкості повітря базується на кореляції [18]:

$$v_4 = \sqrt{2g(p_1 + A + B)} \quad (2.16)$$

$$A = \frac{0.08 q_p^2 (D_2^4 - D_1^4 (1 + \xi_k))}{D_1^4 D_2^4}$$

$$B = \frac{0.08 q_p^2 (D_3^4 - D_2^4 (1 + \xi_k))}{D_2^4 D_3^4}.$$

Рисунок 2.4 демонструє залежність між V_4 і p_1 , виражену рівнянням $V_4 = f(p_1)$.

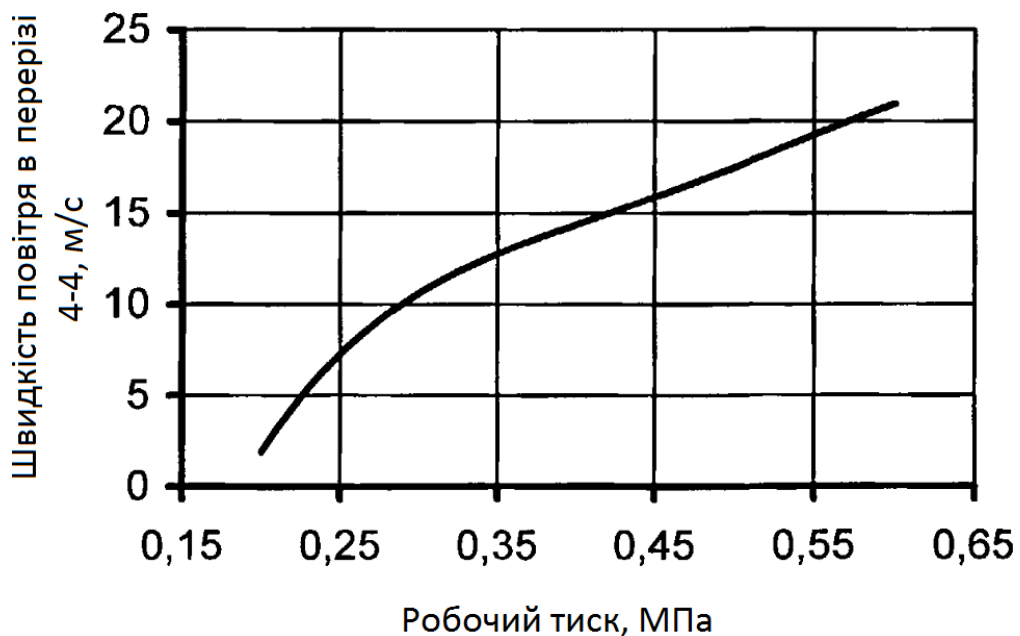


Рисунок 2.4 - Залежність $V_4 = f(p_1)$ для інжекторного розпилювача.

Підставляючи відповідні числові значення параметрів у рівняння (2.12), можна отримати такий вираз:

$$D_4 = 0,53\sqrt{q_n} \left(\frac{\gamma_n \gamma_p [1 + \xi_{kc} - a^2 (1 + \xi_{pB})]}{\gamma_n (p_1 + A + B) - \gamma_p (p_a + p_1 + A + B) (1 + \xi_{BO})} \right)^{0.25} \quad (2.17)$$

$$A = \frac{0.08q_p^2 (D_2^4 - D_1^4 (1 + \xi_k))}{D_1^4 D_2^4}$$

$$B = \frac{0.08q_p^2 (D_3^4 - D_2^4 (1 + \xi_k))}{D_2^4 D_3^4}$$

Для досягнення оптимальної продуктивності розпилювача при заданій швидкості потоку робочої рідини, q_r , необхідно, щоб діаметр повітряного отвору був налаштований таким чином, щоб максимізувати коефіцієнт ефективності, $k.e.d.$ Варто зазначити, що на якість розпилення може негативно вплинути споживання повітря, особливо коли значення q_r перевищують певні порогові значення.

За результатами проведених експериментів [18] визначено значення q_r 1,1. Отже, представлення рівняння (2.17) буде змінено таким чином:

$$D_4 = 0,561\sqrt{q_p} \left(\frac{\gamma_n \gamma_p [1 + \xi_{kc} - a^2 (1 + \xi_{pB})]}{\gamma_n (p_1 + A + B) - \gamma_p [p_a - \gamma_p (p_a + p_1 + A + B) (1 + \xi_{BO})]} \right)^{0.25} \quad (2.18)$$

$$A = \frac{0.08q_{ж}^2 \gamma_p (D_2^4 - D_1^4 (1 + \xi_k))}{D_1^4 D_2^4}$$

$$B = \frac{0.08q_p^2 \gamma_p (D_3^4 - D_2^4 (1 + \xi_k))}{D_2^4 D_3^4}$$

На малюнку 2.5 зображено графічне співвідношення інжекторного розпилювача з рівнянням (2.18) з використанням параметрів $D_1=12$ мм, $D_2=4$ мм і $D_3=0,85$ мм, як показано на малюнку 2.2.

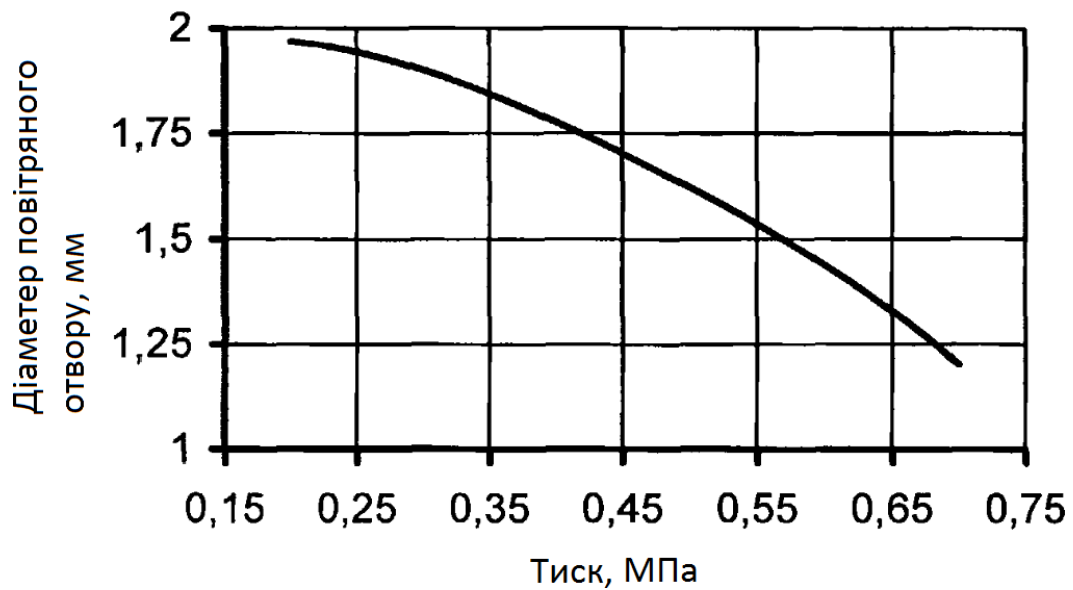


Рисунок 2.5 - Графік залежності діаметра повітряного отвору D4 від тиску рідини p_1

Розглянувши наведений графік, можна зробити висновок, що зі збільшенням тиску робочої рідини p_1 збільшується і швидкість її протікання через камеру змішування. Отже, збільшується розрідження в порожнині повітряного отвору, що призводить до більшої витрати повітря. Цікаво, що максимальна к.к.д. розпилювача залишається стабільним, незважаючи на зменшення діаметра повітряного отвору D4. Слід зазначити, що зі збільшенням p_1 в межах 0,2-0,6 МПа величина D4 зменшується з 1,97 до 1,45 мм.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма і методика досліджень

Програма експериментальних досліджень охоплює ряд завдань, а саме:

Перевірка теоретично отриманих результатів та оптимізація параметрів інжекторного розпилювача можуть бути досягнуті шляхом експериментальних досліджень.

Слід визначити першочергові завдання. Ці завдання передбачають вивчення впливу маніпулювання тиском робочої рідини та діаметром повітряного отвору на численні аспекти процесу. Зокрема, велике значення має площа робочої рідини на поверхні, що обробляється, а також кількість робочої рідини, що споживається через інжекторний розпилювач.

Щоб визначити точну швидкість потоку робочої рідини через розпилювач, оцінки проводяться з використанням незабрудненої води. Рідина, що витікає з розпилювача, протягом 60 секунд збирається в контейнер, і її об'єм визначається кількісно з точністю не більше $\pm 0,5$ мл [19].

Для визначення дисперсності та щільності цільового поверхневого покриття як робочу рідину використовують нігрозин концентрацією 1...2% у воді. Потім розчин наносять за допомогою пульверизатора на водочутливі паперові картки розміром 50x70 мм. Ці карти попередньо оброблені 3..5% розчином парафіну в толуолі, щоб мінімізувати розтікання. Після змочування в розчині кожна карта поміщається в сушарку. Перед проведенням дослідів реєстраційні картки розміщують на поверхні мішені за встановленою схемою [19].

Під час оцінки товщини покриття робочої рідини на поверхні мішені картки розділені на п'ять різних категорій. Перша група, яку називають групою I, складається з необроблених карток. Другу групу, звану II групою, складають картки, щільність яких не перевищує допустимої межі, встановленої агротехнічними вимогами. До третьої групи, III групи, відносяться картки,

щільність яких відповідає агротехнічним вимогам. Четверта група, група IV, охоплює карти з щільністю понад 150 штук на квадратний сантиметр. Нарешті, п'ята група, група V, включає вліті карти. Однак аналізуються лише картки груп I–III.

Щоб визначити щільність покриття P_0 , кількісно визначають кількість крапель, присутніх на призначеній досліджуваній ділянці:

$$P_o = \frac{N_o}{F_o} \quad (3.1)$$

Щоб оцінити рівномірність розпилення, картки з усіх випробувань розділені на три окремі групи: Група I, яка містить картки з відносно невеликими краплями (розміром до 150 мікрметрів у діаметрі); Група II, що містить картки з краплями середнього розміру (діаметром від 150 до 300 мікрметрів); і група III, що включає картки з більшими краплями (розміром понад 300 мікрметрів у діаметрі). З кожної групи вибирають дві картки характеристик і піддають їх аналізу для визначення масового медіанного діаметра крапель. Ці картки аналізуються за допомогою смужок довжиною від 50 до 60 міліметрів. Ширина аналізованої смуги визначається кількістю поділок окуляра мікроскопа або сітки в полі зору мікроскопа залежно від вибраного збільшення. Під час аналізу реєструється кількість крапель у кожному класі розміру та кількість переглянутих смуг у кожному класі розміру краплі. Для спрощення розрахунків класи розмірів крапель виражаються через кількість поділок сітки окуляра мікроскопа:

$$K_i = \frac{K_{\min} + K_{\max}}{2} \quad (3.2)$$

Обробку результатів мікроскопії послідовно проводять у такий спосіб:

а) Формула, яка використовується для розрахунку загальної видимої площі S см² для кожного класу розміру краплі, така: $S = (\pi/4) \times d^2$, де d означає діаметр краплі:

$$S_i = L \times b \times Z_i \quad (3.3)$$

б) Наступний етап включає визначення зменшеної кількості крапель на 1 см² досліджуваної області для кожного підкласу розміру крапель. Це визначення може бути досягнуто за допомогою наступної формули:

$$n_i = \frac{N_i}{S_i}, \text{ шт.} \quad (3.4)$$

в) Розрахунок масової частки рідини, P_i, може бути досягнутий за допомогою такої формули:

$$P_i = \frac{n_i + K_i^3}{\sum_1 n_i K_i^3} \quad (3.5)$$

г) Щоб отримати повне розуміння масової частки рідини, необхідно розрахувати загальні значення P_j для даного класу:

$$P_j = \sum_{i=1}^m P_i \quad (3.6)$$

Для забезпечення точності вимірювання мас рідини необхідно, щоб сумарна сума значень усіх класів дорівнювала 100%.

Після цього створюється графік для відображення розподілу рідких мас, класифікованих за розміром крапель. Розмір кожної категорії крапель, виміряний у мікрометрах, позначено на осі абсцис. Значення загальної маси рідини, позначені як P_j, для кожної категорії крапель позначені на осі ординат. На основі зібраних даних будується безперервна крива, яка відображає загальну тенденцію.

Розрахунок діаметра краплі d_i визначається за формулою:

$$d_i = \frac{K\beta}{d}, \text{ мкм} \quad (3.7)$$

д) Розрахунок масового середнього діаметра крапель залежить від графіка розподілу крапель за об'ємом. Зокрема, цей діаметр пов'язаний з масовою часткою рідини 50%.

Використання методу, описаного в посиланні [20], має недолік у вигляді ручної мікроскопії. Цей додатковий крок призводить до значного збільшення робочого навантаження, необхідного для обробки результатів тесту.

Наша команда розробила методика визначення площі поверхні, зайнятої робочою рідиною. Ця техніка передбачає сканування карток із слідами крапель у чорно-білому спектрі за допомогою планшетного сканера. Отримані зображення зберігаються як файли графічного формату з розширенням .bmp. Потім ці файли відкриваються в програмі Paint і зберігаються як монохромні малюнки з оригінальним розширенням, як показано на малюнку 3.1.

Наступним кроком є запуск вищезгаданого файлу за допомогою графічного програмного забезпечення, яке включає функцію побудови гістограми, наприклад Adobe Photoshop версії 7.0 або вище. Діапазон кольорних тонів розділений на окремі області. Одна з цих областей представляє вміст, що відображається чорним кольором (тобто область картки, яка покрита робочою рідиною). Ця область розташована в дальній лівій частині шкали гістограми (див. рис. 3.2). В іншій області відображаються дані про вміст білих відтінків (тобто площа карти, яка не покрита робочою рідиною). Ця область розташована в правій частині шкали гістограми (див. рис. 3.2).

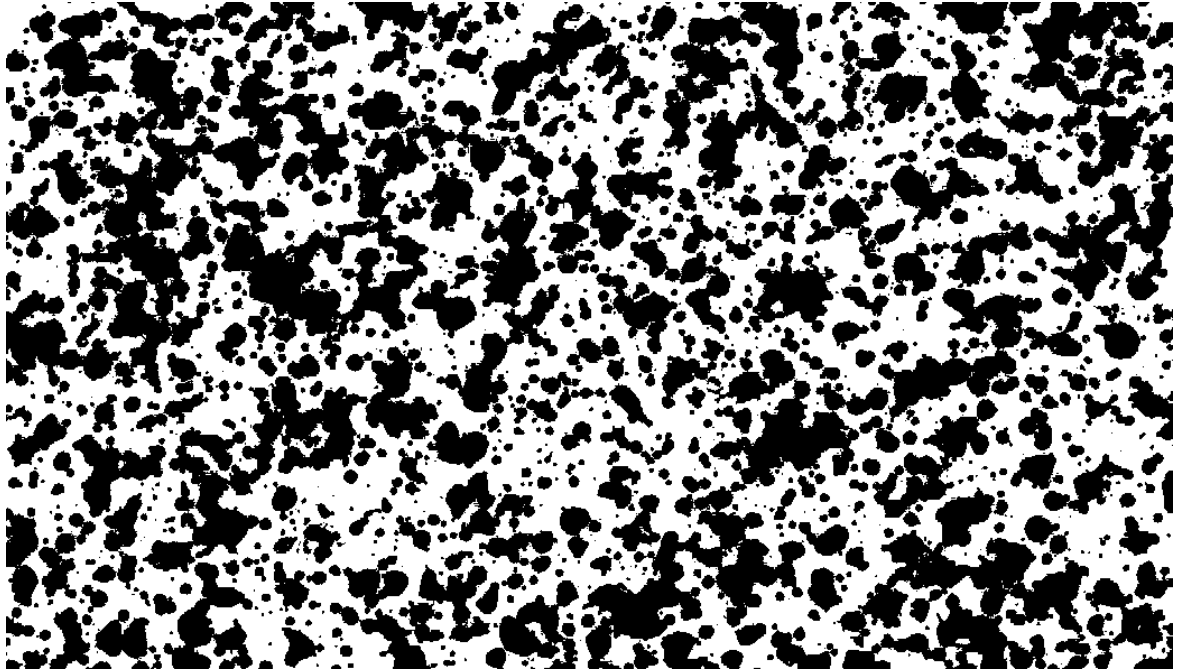


Рисунок 3.1 - Зображення картки після обприскування інжекторним розпилювачем (після програмного редагування)

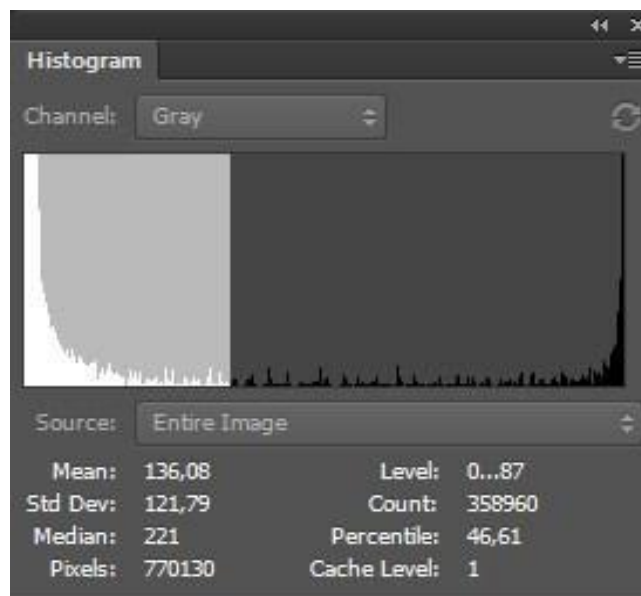


Рисунок 3.2 - Гістограма спектру відтінків чорного кольору

На завершальному етапі визначається частка відтінків, присутніх у визначеній області гістограми. Ідентифікується область гістограми, яка представляє ступінь чорного вмісту, тоді як лінія перцентіля забезпечує зчитування на основі відсотка чорних відтінків, які містяться на всьому зображенні. Отримане значення, як показано на малюнку 3.1, становить 46,61%,

відповідає величині покриття, досягнутого розчином робочої рідини на картці. Ступінь похибки процесу обчислення за допомогою графічного редактора незначний і становить 0,01%.

3.2 Об'єкт досліджень

Як було сказано раніше, незаперечно, що інжекторні обприскувачі мають переваги, які перевершують інші типи обприскувачів. Проте недостатньо досліджень щодо впливу конструктивно-технологічних параметрів на продуктивність інжекторних обприскувачів. Отже, інжекторний обприскувач Lechler IDK 120-03, зображений на малюнку 3.3, був обраний як фокус цього дослідження.



а)



б)

Рисунок 3.3 - Інжекторний розпилювач LechlerIDK 120-03: а) загальний вигляд; б) робочий процес

3.3 Проведення експерименту

Невідомо, яку форму набуде поверхня відгуку після проведення повного факторного експерименту (FFE). З цієї причини найбільш вигідним підходом для дослідження є використання центрального складеного ортогонального плану.

Цей підхід дозволяє отримувати узгоджені дані в усіх областях факторного простору.

Кількість випробувань, які необхідно провести для експерименту, виводиться з рівняння (3.9). Фундаментальний аспект двофакторного експериментального плану складається з повного факторного експерименту з чотирьох експериментів, визначених $2k=4$. Щоб зобразити поверхню відгуку за допомогою полінома другого ступеня, необхідні додаткові експерименти, які називаються точками «зірки». Загальна кількість необхідних «зіркових» точок еквівалентна $2k = 4$, тоді як кількість нульових точок дорівнює $n = 1$. Отже, загальна кількість експериментів, які необхідно провести, становить $N = 9$, як визначено вищезазначеними параметрами.

Дослідженню піддавався інжекторний розпилювач при швидкості руху «рухомого поля» 1,7 м/с. Кожне випробування проводилося тричі. Вичерпні дані про поверхню, яку покривають картки робочої рідини, можна знайти в таблиці 3.1, а інформацію про витрату робочої рідини через розпилювач наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Матриця планування експерименту

| № досліду | X_0 | X_1 | X_2 | Площа покриття карток, % | | | |
|-----------|-------|-------|-------|--------------------------|----------|----------|----------------|
| | | | | Y_{11} | Y_{12} | Y_{13} | Y_1 |
| 1 | +1 | -1 | -1 | 8.5 | 8.1 | 6.8 | 7.1 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | 13.6 | 14.7 | 13.8 | 14.0 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | 10.1 | 10.3 | 9.0 | 9.7 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | 13.6 | 13.2 | 15.0 | 13.9 |
| 5 | +1 | -1 | 0 | 7.6 | 9.2 | 7.1 | 8.0 |
| 6 | +1 | +1 | 0 | 13.5 | 14.4 | 13.7 | 13.9 |
| 7 | +1 | 0 | -1 | 35.0 | 33.1 | 36.2 | 34.8 |
| 8 | +1 | 0 | +1 | 36.7 | 36.8 | 35.9 | 36.5 |
| 9 | +1 | 0 | 0 | 34.9 | 35.3 | 35.7 | 35.3 |
| | | | | | | | Σ 173.9 |

Таблиця 3.2 - Матриця планування експерименту

| № дослідю | X ₀ | X ₁ | X ₂ | Витрата робочої рідини через розпилювач, л/хв | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|--|-----------------|-----------------|----------------|
| | | | | Y ₂₁ | Y ₂₂ | Y ₂₃ | Y ₂ |
| 1 | +1 | -1 | -1 | 0.800 | 0.795 | 0.805 | 0.800 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | 1.370 | 1.365 | 1.360 | 1.365 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | 0.810 | 0.830 | 0.825 | 0.822 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | 1.345 | 1.360 | 1.365 | 1.357 |
| 5 | +1 | -1 | 0 | 0.795 | 0.800 | 0.820 | 0.805 |
| 6 | +1 | +1 | 0 | 1.370 | 1.380 | 1.370 | 1.373 |
| 7 | +1 | 0 | -1 | 1.330 | 1.120 | 1.120 | 1.123 |
| 8 | +1 | 0 | +1 | 1.340 | 1.150 | 1.155 | 1.148 |
| 9 | +1 | 0 | 0 | 1.120 | 1.130 | 1.130 | 1.127 |
| | | | | | | | Σ 9.92 |

Таблиця 3.3 - Результат розрахунку коефіцієнтів регресії

| № дослідю | \bar{y}_2 | X ₁ \bar{y}_2 | X ₂ \bar{y}_2 | X ₁ X ₂ \bar{y}_2 | X ₁ ' | X ₂ ' | X ₁ ' \bar{y}_2 | X ₂ ' \bar{y}_2 |
|-----------|-------------|----------------------------|----------------------------|--|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | 0.800 | -0.800 | -0.800 | +0.800 | 0.33 | 0.33 | 0.26 | 0.26 |
| 2 | 1.365 | +1.365 | -1.365 | -1.365 | 0.33 | 0.33 | 0.45 | 0.45 |
| 3 | 0.822 | -0.822 | +0.822 | -0.822 | 0.33 | 0.33 | 0.27 | 0.27 |
| 4 | 1.357 | +1.357 | +1.357 | -1.357 | 0.33 | 0.33 | 0.45 | 0.45 |
| 5 | 0.805 | -0.805 | 0 | 0 | 0.33 | -0.67 | 0.27 | -0.54 |
| 6 | 1.373 | +1.373 | 0 | 0 | 0.33 | -0.67 | 0.45 | -0.92 |
| 7 | 1.123 | 0 | -1.123 | 0 | -0.67 | 0.33 | -0.75 | 0.37 |
| 8 | 1.148 | 0 | +1.148 | 0 | -0.67 | 0.33 | -0.77 | 0.38 |
| 9 | 1.127 | 0 | 0 | 0 | -0.67 | -0.67 | -0.76 | -0.76 |
| Σ | 9.92 | 1.668 | 0.039 | -0.03 | | | -0.13 | -0.04 |

Таблиця 3.4 - Аналіз адекватності представлення результатів експерименту через рівняння регресії

| № досліджу | Розрахункове значення y_2 | Експериментальне значення y_2 | Значення виразу $(y_2 - y_2)^2$ |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 0.800 | 0.788 | 0.000014 |
| 2 | 1.365 | 1.360 | 0.000025 |
| 3 | 0.822 | 0.827 | 0.000025 |
| 4 | 1.357 | 1.353 | 0.000016 |
| 5 | 0.805 | 0.810 | 0.000025 |
| 6 | 0.373 | 1.368 | 0.000025 |
| 7 | 1.123 | 1.119 | 0.000016 |
| 8 | 1.148 | 1.143 | 0.000025 |
| 9 | 1.127 | 1.135 | 0.000064 |
| Σ | 9.920 | 9.903 | 0.000215 |

Наше дослідження дало рівняння регресії, які вдало окреслюють механізм подачі робочої рідини на оброблену поверхню за допомогою кодованих значень факторів:

Площина покриття поверхні:

$$y_1 = 35,6 + 2,77 X_1 + 0,6 X_2 - 0,5 X_1 X_2 - 24,6 X_1^2, \%$$

Витрата робочої рідини:

$$y_2 = 1,15 + 0,278 X_1 + 0,0065 X_2 - 0,0075 X_1 X_2 - 0,016 X_1^2 - 0,016 X_2^2, \text{ л/хв}$$

Процес перетворення кодованих значень у природні виконується за допомогою математичних формул:

$$X_1 = 5 p_1 - 2 \quad (3.8)$$

$$X_2 = 2 D_4 - 3 \quad (3.9)$$

Щоб оцінити надійність моделі (2.18), було розраховано розбіжність між теоретично передбаченими даними та експериментально отриманими даними та прийнято за похибку різниці, ε :

$$\varepsilon = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{D_{4\text{теор}} - D_{4\text{експ}}}{D_{4\text{теор}}} \right|, \%$$

Після порівняння експериментальних і теоретичних кривих, як показано на малюнку 3.4, можна зробити висновок, що спостережувана розбіжність становить $\varepsilon=2,84\%$, значення, яке падає нижче 5% порогу. Цей висновок надає переконливі докази надійності та достовірності фізичної моделі (2.18).

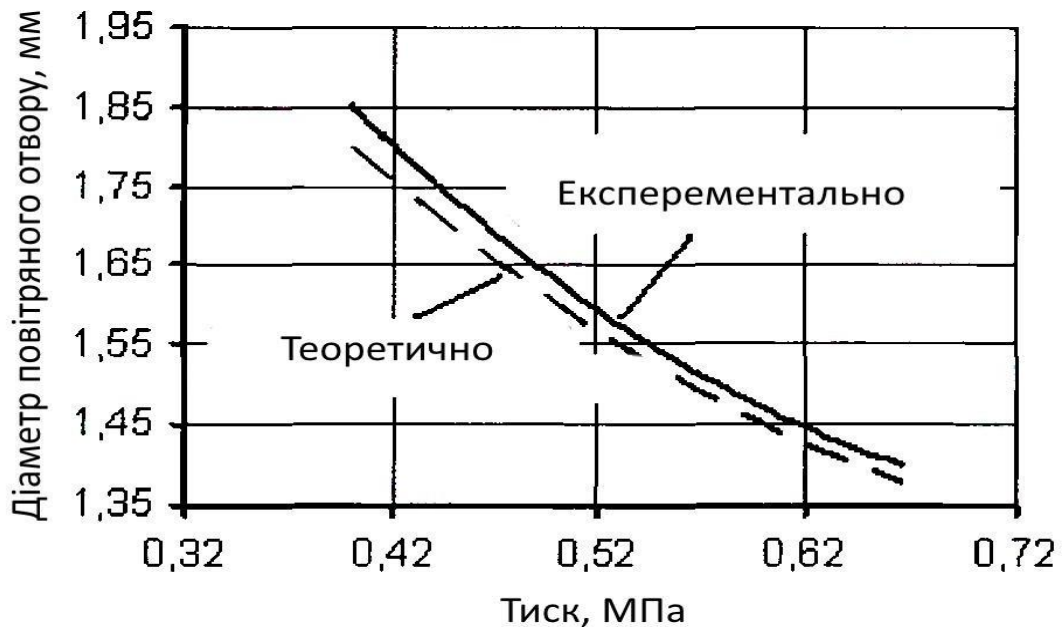


Рисунок 3.4 - Теоретична крива, отримана з рівняння (2.18) і експериментальна, отримана з рівняння (3.8).

3.4 Покращення конструкції та кінематичних властивостей розпилювача

Експериментальний аналіз проводився з використанням двовимірних ділянок поверхні відгуку.

Щоб сформулювати поверхню відгуку, отримане рівняння регресії (3.8) має зазнати перетворення.

$$-24,6 X_1^2 + (2,77 - 0,5 X_2) X_1 + 0,6 X_2 + 23,6 = 0 \quad (3.10)$$

$$X_1' = -0,0102 X_2 + 0,056 - 0,02 \sqrt{0,25 X_2^2 + 56,27 X_2 + 23298,93} \quad (3.11)$$

$$X_1'' = -0,0102 X_2 + 0,056 - 0,02 \sqrt{0,25 X_2^2 + 56,27 X_2 + 2329,93} \quad (3.12)$$

Використовуючи рівняння (3.11) і (3.12), ми генеруємо поверхні відгуку у двох вимірах, як показано на рисунку 4.2 і в таблиці 4.10.

Подібним чином наше дослідження включає перевірку рівняння (3.9), як зображено на рисунку 3.5 і в таблиці 3.5).

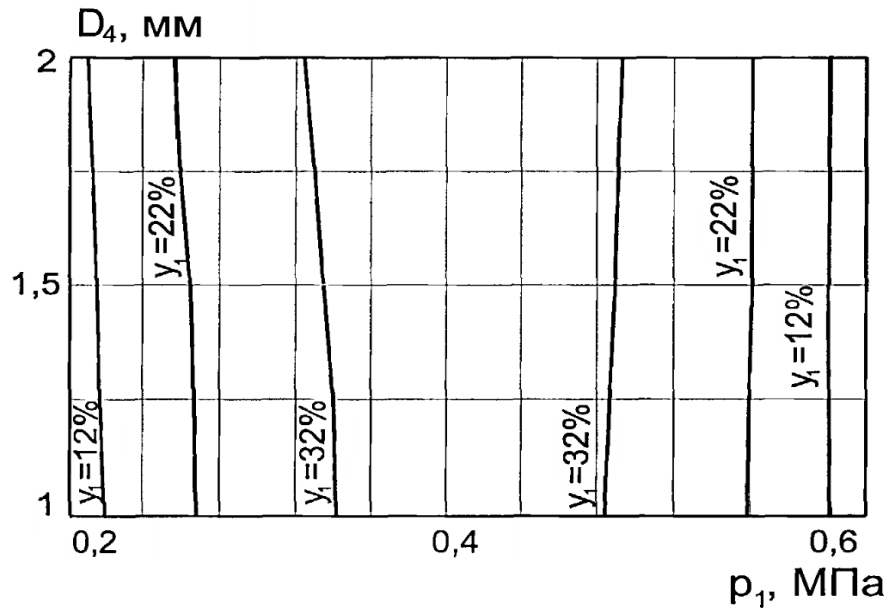


Рисунок 3.5 - Площа покриття робочою рідиною залежно від тиску рідини та діаметру отвору

Таблиця 3.5 - Таблиця розрахунку побудови двомірних перерізів поверхні відгуку u_1

| y_1 % | X_2 | D_4 , мм | X_1' | p_1 , МПа | X_1'' | p_1 , МПа |
|---------|-------|---------------|--------|----------------|---------|----------------|
| 12 | -1 | 1.00 | -0.903 | 0.2194 | 1.036 | 0.6072 |
| | -0.5 | 1.25 | -0.914 | 0.2172 | 1.037 | 0.6074 |
| | 0 | 1.50 | -0.925 | 0.2150 | 1.037 | 0.6074 |
| | 0.5 | 1.75 | -0.936 | 0.2128 | 1.038 | 0.6076 |
| | 1 | 2.00 | -0.947 | 0.2106 | 1.039 | 0.6078 |
| 22 | -1 | 1.00 | -0.663 | 0.2674 | 0.796 | 0.5592 |
| | -0.5 | 1.25 | -0.676 | 0.2648 | 0.799 | 0.5598 |
| | 0 | 1.50 | -0.689 | 0.2622 | 0.802 | 0.5604 |
| | 0.5 | 1.75 | -0.702 | 0.2596 | 0.805 | 0.5610 |
| | 1 | 2.00 | -0.715 | 0.2570 | 0.807 | 0.5614 |
| 32 | -1 | 1.00 | -0.289 | 0.3422 | 0.422 | 0.4844 |
| | -0.5 | 1.25 | -0.310 | 0.3380 | 0.433 | 0.4866 |
| | 0 | 1.50 | -0.330 | 0.3340 | 0.443 | 0.4886 |
| | 0.5 | 1.75 | -0.350 | 0.3300 | 0.453 | 0.4906 |
| | 1 | 2.00 | -0.359 | 0.3282 | 0.462 | 0.4924 |

Таблиця 3.6 - Таблиця розрахунку побудови двомірних перерізів поверхні відгуку y_2

| y_2 л/хв | X_2 | D_4 , мм | X_1 | p_1 , МПа |
|------------|-------|---------------|--------|----------------|
| 0,850 | -1 | 1.00 | -0,825 | 0,2350 |
| | -0,5 | 1.25 | -0,872 | 0,2356 |
| | 0 | 1.50 | -0,899 | 0,2203 |
| | 0,5 | 1.75 | -0,906 | 0,2188 |
| | 1 | 2.00 | -0,892 | 0,2216 |
| 0,975 | -1 | 1.00 | -0,484 | 0,3032 |
| | -0,5 | 1.25 | -0,533 | 0,2934 |
| | 0 | 1.50 | -0,560 | 0,2880 |
| | 0,5 | 1.75 | -0,564 | 0,2872 |
| | 1 | 2.00 | -0,544 | 0,2912 |
| 1,000 | -1 | 1.00 | -0,093 | 0,3814 |
| | -0,5 | 1.25 | -0,147 | 0,3706 |
| | 0 | 1.50 | 0,169 | 0,3662 |
| | 0,5 | 1.75 | -0,175 | 0,3650 |
| | 1 | 2.00 | -0,141 | 0,3718 |
| | -1 | 1.00 | 0,371 | 0,4742 |
| | -0,5 | 1.25 | 0,313 | 0,4626 |
| | 0 | 1.50 | 0,288 | 0,4576 |

| | | | | |
|-------|------|------|-------|--------|
| 1,225 | 0,5 | 1.75 | 0,296 | 0,4592 |
| | 1 | 2.00 | 0,338 | 0,4676 |
| 1,350 | -1 | 1.00 | 0,993 | 0,5986 |
| | -0,5 | 1.25 | 0,923 | 0,5846 |
| | 0 | 1.50 | 0,900 | 0,5800 |
| | 0,5 | 1.75 | 0,925 | 0,5850 |
| | 1 | 2.00 | 1,006 | 0,6012 |

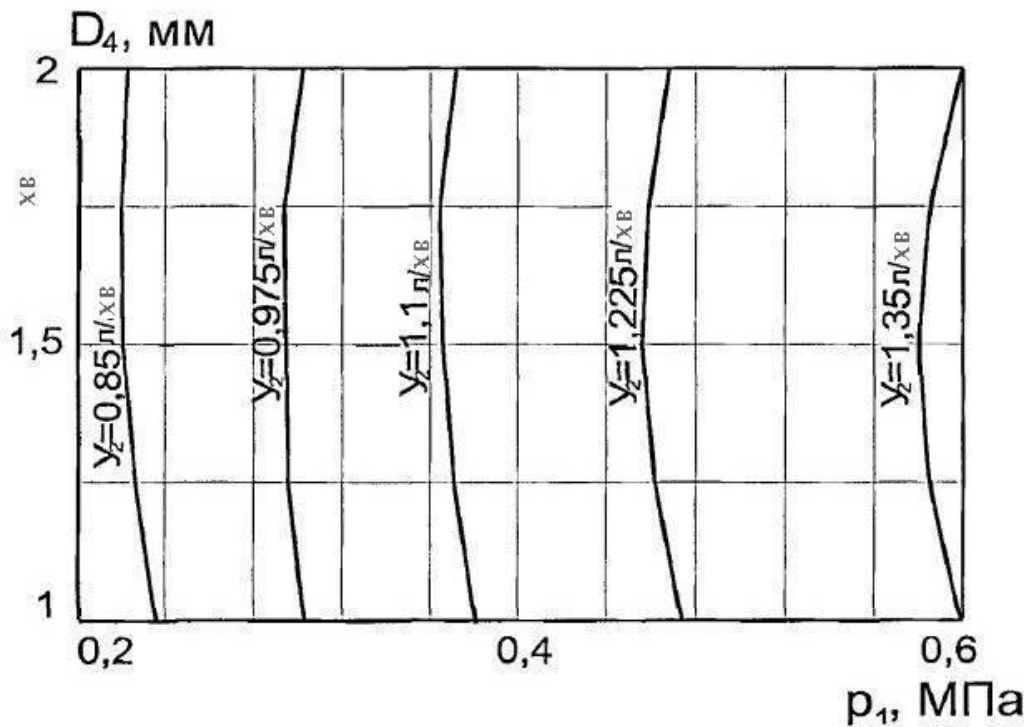


Рисунок 3.6 - Витрати розчину через розпилювач, залежно від його тиску та діаметру отвору

Ступінь покриття поверхні функціональної рідини y_1 (як показано на малюнку 3.5) залежить від тиску зазначеної рідини, позначеного як p_1 .

З підвищенням тиску p_1 від 0,2 до 0,35...0,45 МПа відповідне значення y_1 демонструє значне збільшення від 12 до 32...35%. Проте подальше підвищення тиску до 0,6 МПа призводить до поступового зменшення покриття поверхні до 12%. Щоб визначити параметри, які призводять до максимального покриття поверхні, ми припустимо, що $X_2=0$ у виразі (3.8). Диференціюючи отримане рівняння та вирішуючи для $X_1=0$, ми можемо отримати бажані параметри.

$$\frac{dy_1}{dX_1} = 2,77 - 49,2 X_1 = 0$$

За допомогою рівняння (3.10) отримано розв'язок фактора в натуральних одиницях, в результаті чого значення p_1 дорівнює 0,411 МПа.

Вплив діаметра повітряного отвору на покриття поверхні робочої рідини в інжекторі D4 виявляється менш важливим. Коли тиск повітря становить 0,2 МПа, а діаметр повітряного отвору D4 збільшується в діапазоні від 1 мм до 2 мм, значення y_1 демонструє поступове зростання від 7,6% при D4 = 1 мм до 10,3% при D4 = 2 мм.

Щоб оцінити зміну функції $y_1 = y_1(X_2)$, ми можемо звернутися до першої похідної, коли X_1 дорівнює нулю. Це дає значення X, яке означає пряму пропорційність між y_1 і X_2 . Іншими словами, збільшення діаметра повітряного отвору інжектора сприяє розширенню зони покриття робочою рідиною.

Під час аналізу поверхні відгуку, отриманої на основі рівняння (3.9), встановлено, що витрата робочої рідини через розпилювач y_2 (див. рис. 3.6) безпосередньо залежить від тиску подачі рідини p_1 . Зі зростанням тиску відбувається пропорційне збільшення об'єму рідини, що проходить через розпилювач. Зокрема, підвищення робочого тиску з 0,2 МПа до 0,6 МПа зумовлює зростання витрати з 0,81 л/хв до 1,41 л/хв.

Вплив діаметра повітряного отвору інжектора D4 на використання робочої речовини є мінімальним. Характеристики зміни у функції $y_2 = y_2(X_2)$ можна апроксимувати через первинну похідну від X при $X_1 = 0$. Згодом ми отримуємо диференційоване рівняння, яке приймає такий вигляд:

$$\frac{dy_2}{dX_2} = 0,065 - 0,32 X_2 = 0$$

Вирішимо відносно X_2 з використанням формули (3.11). Отримуємо - D4=1,6 мм.

Використовуючи формулу (3.12) і вирішуючи для X_2 , ми можемо отримати рішення - $D_4=1,6$ мм.

При аналізі поверхонь відгуку було помічено, що оптимальні значення для факторів X_1 і X_2 змінювалися на основі параметрів оптимізації y_1 і y_2 . Іншими словами, досліджувані фактори не можна оптимізувати ізольовано за будь-яким окремим параметром. Тому, щоб досягти бажаної оптимізації, необхідно всебічно розглянути обидва параметри, y_1 і y_2 .

При визначенні витрати робочої рідини через розпилювач як q встановлюється система рівнянь (3.13).

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 = 35,6 + 2,77 X_1 + 0,6 X_2 - 0,5 X_1 X_2 - 24,6 X_1^2, \% ; \\ y_2 = 1,12 + 0,278 X_1 + 0,0065 X_2 - 0,0075 X_1 X_2 - 0,062 X_1^2 - 0,016 X_2^2, \text{ л / хв}; \\ \frac{dy_1}{dX_1} + \lambda \frac{dy_2}{dX_1} = 0; \\ \frac{dy_1}{dX_2} + \lambda \frac{dy_2}{dX_2} = 0; \\ y_2 - q_{\text{нв}} = 0; \\ q_{\text{нв}} = tQV / 600, \text{ л / хв}; \\ X_1 = 5 p_1 - 2; \\ X_2 = 2 D_4 - 3; \end{array} \right. \quad (3.13)$$

Для розв'язування системи рівнянь (3.13) застосовано метод послідовних наближень, здійснений за допомогою програми MathCAD 2007. Потім визначаються ідеальні значення D_4 і p_1 для різних режимів роботи обприскувача, які відрізняються відповідними робочими швидкостями V і необхідною витратою робочої рідини Q , відповідно до сільськогосподарської технології, як показано в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Результати рішення

| Параметри розпилювача | Витрата робочої рідини через розпилювач, $q_{ж}$ л/хв | | | | |
|---------------------------------------|---|------|------|------|------|
| | 0,81 | 1,00 | 1,15 | 1,29 | 1,41 |
| Тиск робочої рідини, p_1 , МПа | 0,40 | 0,41 | 0,42 | 0,52 | 0,67 |
| Діаметр повітряного отвору D_4 , мм | 3,4 | 2,7 | 1,8 | 1,6 | 1,4 |

Номограма (як показано на малюнку 3.7), була створена для прискореного визначення параметрів інжекторного розпилювача. Номограма складається з двох взаємопов'язаних сегментів: технологічної складової зліва і технічної складової справа. Ліва частина містить агротехнічні параметри обприскувача, а саме об'єм робочої рідини, що витрачається на гектар (Q , вимірюється в літрах на гектар), та швидкість, з якою працює обприскувач (V , вимірюється в кілометрах на годину). Навпаки, технічна складова включає режими роботи інжекторного розпилювача і включає тиск робочої рідини (p_1 , вимірюється в мегапаскалях), діаметр повітряного отвору (D_4 , вимірюється в міліметрах) і витрата робочої рідини через розпилювач ($q_{ж}$, вимірюється в літрах за хвилину).

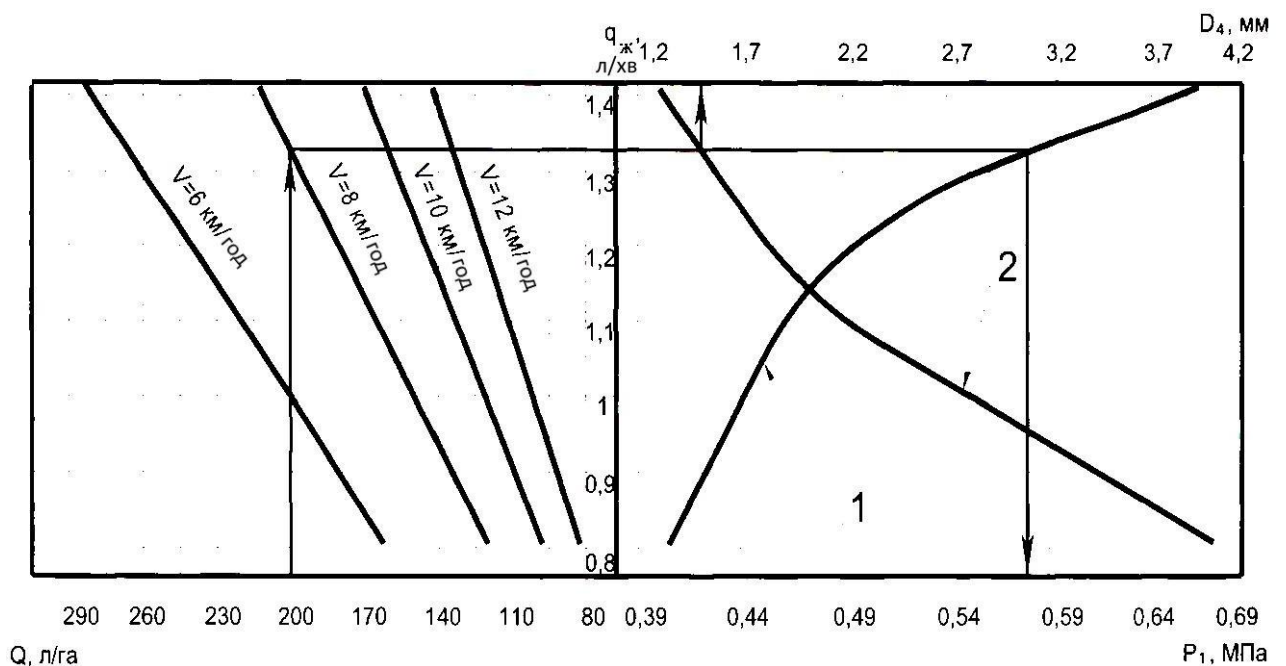


Рисунок 3.7 - Номограма для знаходження параметрів робочого органу: 1) залежність робочого тиску; 2) діаметру повітряного отвору

Регуляторний нагляд за значенням q залежить від агротехнічної відповідності. Визначення цього значення базується на використанні певних хімічних препаратів в процесі обприскування посівів в межах ст аграрний сектор.

Для досягнення оптимальної продуктивності інжекторного обприскувача при $Q = 200$ л/га, $V = 8$ км/год і $t = 0,5$ м, з точки $Q = 200$ л/га проведено перпендикуляр до перетину з $V = 8$ км/год промінь (як показано на рис. 3.7). Потім проводять горизонтальну лінію, паралельну осі X , яка перетинає криві 1 і 2. Потім встановлюють точки перетину і опускають перпендикулярні лінії на осі p_1 і D_4 , які визначають оптимальні значення діаметра повітряний отвір і тиск робочої рідини. Отримані значення для p_1 і D_4 становлять 0,56 МПа і 1,5 мм відповідно, тоді як qzh визначено рівним 1,34 л/хв.

Висновки

Після виконання емпіричних досліджень і проведення математичного аналізу зібраних даних було виведено рівняння регресії, яке ефективно характеризує механізм доставки активного агента на призначену поверхню під час робочого циклу розпилювача.

Порівняння результатів практичного експерименту та теоретичних розрахунків призвело до встановлення різниці в 2,84%. Це значення опускається нижче дозволеного порогу і служить позитивним показником надійності математичної моделі процесу.

Функціональність інжекторного розпилювача є вирішальним аспектом системи подачі палива. Інжекторний розпилювач працює шляхом точного розпилення палива в камеру згоряння, що є важливим для оптимального згоряння та роботи двигуна. Робота інжекторного розпилювача передбачає використання електромагнітного електромагнітного клапана, який швидко відкривається та закривається, дозволяючи паливу проходити під високим тиском. Цей процес

контролюється електронним блоком керування двигуном, який забезпечує подачу в камеру згоряння необхідної кількості палива відповідно до потреб двигуна. По суті, правильна робота інжекторного розпилювача є невід'ємною частиною ефективної роботи двигуна в цілому.

Отримані експериментальні дані аналізували за допомогою реалізації методу двовимірних перерізів. Результати цього аналізу показують, що основним фактором, який впливає на хвилинну швидкість потоку розпилювача інжектора, є тиск рідини, тоді як діаметр повітряного отвору розпилювача має відносно незначний вплив на це конкретне вимірювання.

Отримані аналітичні зв'язки та обробка експериментальних даних завершилися пропозицією практичної номограми для швидкого визначення параметрів інжекторного розпилювача в реальних умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є однією з ключових складових будь-якого виробничого процесу в аграрному секторі, оскільки саме в цій сфері людина найбільш часто контактує з небезпечними речовинами, важким обладнанням і складними технологічними процесами. У контексті застосування інжекторних розпилювачів пестицидів питання безпеки набувають особливої ваги, адже робота з такими агрегатами пов'язана з високим рівнем ризиків для здоров'я людини, довкілля та самого виробничого обладнання. Тому важливим завданням є не лише дослідження технічних параметрів розпилювачів, але й аналіз потенційних небезпек, які можуть виникати під час їхньої експлуатації, а також розроблення заходів для їх попередження та мінімізації.

Одним із основних факторів ризику є безпосередній контакт працівників із пестицидами. Більшість препаратів мають токсичний вплив на організм людини, викликаючи гострі або хронічні отруєння, алергічні реакції, порушення дихальної та нервової систем. Найбільш небезпечними є ситуації, коли робочий розчин готується безпосередньо в полі або на території господарства, де немає належно обладнаних майданчиків для змішування препаратів, систем захисту та засобів нейтралізації випадкових витоків. Часто працівники нехтують використанням індивідуальних засобів захисту, що значно підвищує рівень небезпеки. Для запобігання таким ризикам необхідно забезпечити повне дотримання правил техніки безпеки: використовувати захисний одяг, респіратори, окуляри, рукавички, а також спеціальне взуття, яке не пропускає рідину. Важливим є проведення попереднього інструктажу та регулярне навчання персоналу щодо правил роботи з хімічними речовинами, адже навіть незначна помилка у процесі приготування робочого розчину може призвести до тяжких наслідків.

Окрім хімічних факторів, важливу небезпеку становлять механічні ризики, пов'язані з роботою інжекторних розпилювачів у складі агрегатів для внесення пестицидів. Обприскувачі зазвичай приєднуються до тракторів або самохідних машин, що працюють у складних умовах на полі. При цьому працівник може наражатися на небезпеку від рухомих частин обладнання: валів відбору потужності, шлангів під тиском, систем подачі рідини. У випадку недотримання правил експлуатації можливі травми у вигляді порізів, забоїв, переломів, а також пошкодження слуху через високий рівень шуму. Особливо небезпечними є гідравлічні системи, оскільки витік робочої рідини під тиском може спричинити важкі травми. Зменшення ризику можливе за умови регулярного технічного обслуговування обладнання, контролю справності всіх вузлів і систем, своєчасної заміни зношених деталей, а також використання захисних кожухів та екранів на рухомих елементах. Працівники повинні бути поінформовані про правила безпечного підключення та відключення агрегатів, а також про необхідність зупинки двигуна перед будь-якими ремонтними чи налагоджувальними роботами.

Не менш значущим є фактор впливу робочого середовища. Під час обприскування на відкритих полях оператори та інші працівники стикаються з несприятливими метеорологічними умовами: високою температурою повітря, вітром, підвищеною вологістю чи пилом. Це створює додаткове навантаження на організм, знижує концентрацію уваги та може призвести до помилок у роботі. Особливо небезпечним є внесення пестицидів за сильного вітру, коли відбувається знесення робочої рідини на сусідні ділянки, що може зашкодити іншим культурам, а також стати причиною випадкового контакту людей чи тварин із токсичними речовинами. Для зменшення ризику важливо дотримуватися регламентів внесення пестицидів, проводити обробку лише за сприятливих погодних умов, використовувати техніку з оптимально підібраними параметрами розпилу, що зменшують дрейф крапель.

Крім того, слід передбачати організаційні заходи, наприклад, попередження населення про проведення обприскування, встановлення захисних зон і обмежень доступу до оброблених полів у певний період після внесення препаратів.

Важливим аспектом охорони праці є також організація робочого часу та дотримання гігієнічних норм. Тривала робота з пестицидами без перерви, перебування у задушливому середовищі чи під прямим сонячним промінням може викликати перегрівання, зневоднення, загальне перевтомлення, що підвищує ризик нещасних випадків. Тому необхідно передбачати чіткий режим праці та відпочинку, забезпечувати працівників питною водою, місцями для відпочинку та медичною допомогою у разі виникнення поганого самопочуття. Наявність аптечок із засобами першої допомоги та чітко визначений порядок дій у разі отруєння чи травми є обов'язковими елементами системи безпеки.

Не слід залишати поза увагою й екологічні аспекти, які тісно пов'язані з охороною праці. Витоки пестицидів у ґрунт або водойми створюють небезпеку не лише для довкілля, але й для людей, що працюють на цих територіях. Накопичення токсичних речовин у воді чи харчових продуктах становить довгострокову загрозу для здоров'я населення. Тому важливо організовувати спеціальні місця для зберігання пестицидів, обладнані системами захисту від витоків, забезпечувати належну утилізацію залишків і тари від препаратів. Використання інжекторних розпилювачів із правильно підібраними параметрами дозволяє значно знизити ризик забруднення довкілля, а отже, і опосередковано підвищує рівень безпеки працівників.

Значну роль у забезпеченні охорони праці відіграє культура виробництва та відповідальність керівництва аграрних підприємств. Недостатній контроль за дотриманням правил безпеки, економія на засобах захисту, нехтування навчанням персоналу призводять до підвищення ризику нещасних випадків і зниження загальної ефективності виробництва. Тому необхідно впроваджувати

системи управління охороною праці, що базуються на постійному моніторингу ризиків, аналізі аварійних ситуацій та розробленні превентивних заходів. Регулярні інструктажі, перевірка знань працівників, проведення тренувань із ліквідації аварійних ситуацій повинні стати невід’ємною частиною діяльності кожного господарства.

Підсумовуючи, слід зазначити, що охорона праці під час роботи з інжекторними розпилювачами пестицидів є багатограним комплексом заходів, який охоплює як індивідуальні аспекти безпеки працівників, так і організаційні та технічні рішення. Вона включає попередження хімічних та механічних ризиків, контроль умов праці, дотримання гігієнічних норм, а також врахування екологічних факторів.

Тільки комплексний підхід дозволяє мінімізувати небезпеки, зберегти здоров’я працівників і водночас забезпечити ефективне функціонування аграрного виробництва. В умовах сучасної України, де агропромисловий комплекс є стратегічною галуззю економіки, питання охорони праці при роботі з пестицидами та технікою для їх внесення набуває особливого значення. Це не лише вимога законодавства та міжнародних стандартів, а й важливий чинник підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світових ринках, збереження здоров’я нації та сталого розвитку сільських територій.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Одним із ключових параметрів для оцінки є річна економічна віддача даної машини, яка визначається шляхом розрахунку економічної ефективності. Крім того, за допомогою цього процесу також можна визначити термін окупності вдосконаленої машини. Враховуючи ці ключові фактори, ми можемо прийняти обґрунтоване рішення щодо того, чи є впровадження вдосконалення виробництва відповідним курсом дій.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані проекту

| | Показники | Варіанти | |
|---|---|---------------------------|---------------------------|
| | | Базовий | Проектний |
| 1 | Вид роботи, що виконується | Обприскування посівів | |
| 2 | Склад агрегату | Беларус-892+ОП-2000 | Беларус-892+ОП-2000М |
| 3 | Обсяг роботи, га | 600 | 600 |
| 4 | Продуктивність агрегату за годину робочої зміни, га/год. | 10,8 | 14.2 |
| 5 | Балансова вартість агрегату, грн.: трактора обприскувача Всього: | 194000 64500 258500 | 194000 66300 260300 |
| 6 | Тривалість зміни, год. | 6 | 6 |
| 7 | Кількість обслуговуючого персоналу, осіб | 1 | 1 |
| 8 | Вартість палива, грн | 50 | 50 |

Для проведення економічної оцінки проекту обов'язково необхідно визначити наступні складові:

1. Продуктивність агрегату, виражена через його змінну продуктивність ($W_{зм}$), га/зм:

$$W_{зм.} = W_{зод.} \cdot 6$$

$$W_{зм}^{\delta} = 10,8 \cdot 6 = 64,8;$$

$$W_{зм}^n = 14,2 \cdot 6 = 85,2$$

2. Витрати робочого часу на одиницю роботи агрегату (B), можна виміряти в людино-годинах на гектар:

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

$$B^{\delta} = \frac{1 \cdot 6}{64,8} = 0,093,$$

$$B^n = \frac{1 \cdot 6}{85,2} = 0,0704.$$

3. Нормативне завантаження агрегату (T_n), га:

$$T_n = \frac{Q}{W_{зод}},$$

$$T_n^{\delta} = \frac{600}{10,8} = 55,5$$

$$T_n^n = \frac{600}{14,2} = 42,2.$$

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

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

$$H_{рем}^{\delta} = \frac{258500 \cdot 0,097 \cdot 10,8}{55,5} = 4879,3,$$

$$H_{рем}^n = \frac{260300 \cdot 0,097 \cdot 14,2}{42,2} = 8496,1.$$

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

$$EB = 3П + A + B_{\text{пмм}} + B_{\text{рем}} + IB$$

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

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

7. Приведені витрати на 1 га, грн.:

$$PB = EB + 0,15 \cdot KB,$$

8. Комплексний аналіз вартості всієї роботи кількісно, грн.:

$$PB_Q = PB \cdot Q,$$

9. Річний економічний вплив, грн.:

$$E_p = [PB_Q^b - PB_Q^n] = [75000 - 72348] = 2652 \text{ грн/рік}$$

10. Тривалість часу, необхідного для того, щоб капітальні інвестиції окупили свою початкову вартість (T_o), років:

$$T_o = \frac{\Delta KB}{E_p} = \frac{1800}{2652} = 0,67 \text{ року,}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники пропонованого проекту

| Показники | Варіанти | |
|---|----------|-----------|
| | базовий | проектний |
| Обсяг роботи, га | 600 | 600 |
| Годинна продуктивність, га/год. | 10,8 | 14,2 |
| Витрати палива на 1 га, кг | 0,6 | 0,4 |
| Балансова вартість агрегату, грн.: | | |
| трактора | 194000 | 194000 |
| обприскувача | 64500 | 66300 |
| Всього: | 258500 | 260300 |
| Нормативне навантаження, год. | 92,6 | 62,5 |
| Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. всього: | 60,38 | 55,51 |
| в т.ч. заробітна плата з нарахуваннями, грн. | 1,51 | 1,15 |
| амортизаційні відрахування, грн. | 43,11 | 43,36 |
| вартість ПММ, грн. | 13,2 | 8,8 |
| витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн. | 0,81 | 0,61 |
| інші витрати. | 1,75 | 1,61 |
| Капітальні вкладення на 1 га, грн. | 430,8 | 433,8 |
| Приведені витрати на 1 га, грн. | 125 | 120,58 |
| Річний економічний ефект, грн. | | 2652 |
| Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років | | 0,67 |

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про економічну доцільність впровадження вдосконаленого обприскувача для внесення розчинів пестицидів. Такий висновок зроблений у зв'язку з тим, що впровадження даної технології призвело б до річного економічного ефекту 2652 грн., а термін окупності – один сезон.

ВИСНОВКИ

1. Інтенсифікація рослинництва значною мірою залежить від застосування хімічних засобів захисту рослин. Насправді приблизно 75% цих хімікатів утилізується за допомогою штангових обприскувачів. Однак було встановлено, що інжекторні обприскувачі значно підвищують ефективність обприскування культур. Ці обприскувачі оснащені камерою змішування, яка з'єднана з атмосферою через повітряний отвір. Рідко-повітряний потік, який утворюється в камері, рухається через щілинне сопло, утворюючи краплі розміром понад 500 мкм, насичені бульбашками повітря. Ці краплі мають знижену швидкість випаровування і більш стійкі до вітру. При контакті з поверхнею листя рослини утворюють тонку плівку, яка ефективно знищує небажаних шкідників.

2. Дослідження гідродинаміки рідинно-повітряного потоку показали, що розрідження в порожнині повітряного отвору розпилювача збільшується зі збільшенням тиску робочої рідини. Для підтримки оптимальної роботи розпилювача необхідно зменшити діаметр повітряного отвору, зберігаючи при цьому максимальну к.к.д. постійний.

3. Це дослідження створило програму та методологію для експериментальних досліджень, а також лабораторну конфігурацію, яка дозволяє оцінювати продуктивність розпилювача щодо ключових показників. Зокрема, за допомогою цієї установки можна оцінити рівномірність розподілу робочої рідини по ширині факела розпилювача, площу цільової поверхні, яку охоплює розпилення, і кут факела розпилення.

4. При проведенні експериментальних досліджень застосовано метод оптимального планування багатofакторних експериментів. Аналітичний і графічний аналізи проводилися на основі двох критеріїв оптимізації: швидкості потоку робочої рідини через розпилювач і площі поверхні, яку він покриває. Змінні фактори визначали як тиск робочої рідини, що подається в розпилювач, p_1 , і діаметр повітряного отвору інжектора D_4 .

5. За допомогою експериментальної оптимізації було отримано суперечливі дані для обох критеріїв. Максимальна площа поверхні, яку покриває робоча рідина, відповідає $p_1 = 0,411$ МПа і великому значенню D_4 . Інші значення коефіцієнтів відповідають мінімальним витратам робочої рідини: $p_1 = 0,2$ МПа, $D_4 = 1,6$ мм.

6. За умови, що робоча рідина покриває оброблену поверхню із заданою витратою, параметри ежекторного розпилювача комплексно оптимізуються методом невизначеного множника Лагранжа. При відстані між розпилювачами на штоку $0,5$ м тиск робочої рідини $0,46$ МПа і діаметр пор $1,7$ мм.

7. Проаналізовано охорону праці при застосуванні пестицидів та сформульовано детальні правила безпеки при застосуванні засобів захисту рослин.

8. Розрахунок техніко-економічних показників підтверджує економічну доцільність застосування струминного розпилювача для внесення робочої рідини пестицидів. При цьому річний економічний ефект становить 2652 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень становить чверть експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабій, А. В., Вовк, І. В., & Бабій, В. А. (2024). Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем, 9.
2. Домуші, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.
3. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).
4. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*
5. Romaneckas, K. (2022). Sustainable tillage and sowing technologies. *Agronomy*, 12(10), 2467. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102467>
6. Кобець, А. С., Теслюк, Г. В., Пугач, А. М., Золотовська, О. В., Лепеть, Є. І., & Бойко, В. Б. (2025). Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва.
7. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*
8. ПАТРАШКУ, О., & БРАЦЛАВЕЦЬ, Б. (2023). Підвищення ефективності функціонування машин та обладнання АПК за рахунок управління надійністю їх систем. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 323(4), 236-241.
9. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ

ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та*, 309.

10. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор*, 274.

11. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.

12. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.

13. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.

14. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.*

15. Yang, W., He, J., Lu, C., Lin, H., Yang, H., & Li, H. (2023). Current situation and future development direction of soil covering and compacting technology

under precision seeding conditions in China. *Applied Sciences*, 13(11), 6586. <https://doi.org/10.3390/app13116586>

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі, 465.*

18. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchuk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

19. Rózewicz, M. (2022). Review of current knowledge on strip-till cultivation and possibilities of its popularization in Poland. *Polish Journal of Agronomy*, 49, 20-30. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.488.2022.49.03>

20. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки, 100(10), 29-36.*

ДОДАТКИ

Додаток А