

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

**КОЗЛОВЕЦЬ СЕРГІЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ**

**УДК 631.313**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування способу довгострокового зберігання  
сільськогосподарської техніки**

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

\_\_\_\_\_ Козловець С.В.

**Керівник роботи**

Борак К.В.

кандидат технічних наук

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Козловець Сергій Валентинович. Обґрунтування способу довгострокового зберігання сільськогосподарської техніки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що перспективним є нанесення захисного покриття на поверхні сільськогосподарських машин з використанням установок гідравлічного нанесення.

Розроблено схему встановлення гідравлічного нанесення захисного покриття сільськогосподарської техніки, в якій модернізовано конструкцію пістолета-розпилювача, що дозволяє забезпечити роботу в наступних режимах: з попеременно відкритими транспортними каналами та з двома одночасно відкритими транспортними каналами.

Експериментально уточнено, що адгезійні властивості захисного покриття раціональні при його товщині в інтервалі 0,01-0,02 мм, що забезпечується при роботі установки гідравлічного нанесення з діаметром сопла пістолета-розпилювача в інтервалі 1,0-1,1 мм при тиску 21,75 МПа.

Для забезпечення рівномірної товщини нанесеного захисного покриття поверхні сільськогосподарських машин рекомендується використовувати гідравлічну установку нанесення захисного покриття з розробленим пістолетом-розпилювачем діаметром сопла в інтервалі від 1 до 1,1 мм при тиску рідких компонентів 21,75 МПа.

*Ключові слова: корозія, покриття, розпилювач, шар, сільськогосподарські машини, гідравлічна установка.*

## ANNOTATION

**Kozlovets Sergey Valentinovich. Substantiation of the method of long-term storage of agricultural machinery..** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that the application of a protective coating on the surface of agricultural machinery with the use of hydraulic application units is promising.

The scheme of installation of hydraulic application of protective coating of agricultural machinery has been developed, in which the design of the spray gun has been modernized, which allows to work in the following modes: with alternately open transport channels and with two simultaneously open transport channels.

It is experimentally specified that the adhesive properties of the protective coating are rational at its thickness in the range of 0.01-0.02 mm, which is provided by the installation of hydraulic application with a nozzle diameter of the spray gun in the range of 1.0-1.1 mm at a pressure of 21,75 MPa.

To ensure uniform thickness of the applied protective coating on the surface of agricultural machinery, it is recommended to use a hydraulic protective coating unit with a developed spray gun with a nozzle diameter in the range from 1 to 1.1 mm at a liquid component pressure of 21.75 MPa.

*Key words: corrosion, coating, spray, layer, agricultural machines, hydraulic installation.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	36

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Сільськогосподарські машини експлуатуються у важких та складних умовах. Через контакти з дорожніми покриттями, ґрунтом, рослинами, паливно-мастильними матеріалами, а також добривами, отрутохімікатами, при змінах температурних режимів роботи та впливу низки інших факторів сільськогосподарська техніка застаріває та піддається корозії, що знижує продуктивність функціонування, погіршує деякі її показники. Велика кількість сільськогосподарських машин експлуатується від 10...15 до 55...60 днів протягом року, а час, що залишився підлягає якісному зберіганню. Працездатність і термін їх служби може збільшитися до 10-15% за рахунок нанесення захисного покриття на поверхні сільськогосподарських машин.

Це знижує вплив зовнішніх факторів на збереженість сільськогосподарської техніки

Поліпшення якості зберігання сільськогосподарських машин за умов сезонного використання є актуальним для всіх господарств України.

Широке використання захисного покриття диктує необхідність удосконалення технології їхнього нанесення. При існуючих способах нанесення захисного покриття перед зберіганням неможливо досягти високої продуктивності з дотриманням показників якості нанесеного шару. Ця операція в більшості випадків виконується вручну або пневматичними способами. Підвищити ефективність зберігання сільськогосподарської техніки можливе завдяки нанесенню захисного покриття гідравлічним способом. При цьому необхідно вдосконалювати пристрої нанесення обґрунтуванням їх параметрів, що знижують витрати праці та засобів, що підтверджує актуальність цього напряму наукових досліджень.

Обґрунтування параметрів встановлення нанесення захисного покриття гідравлічним способом, що підвищує рівномірність розподілу матеріалу на

поверхні сільськогосподарських машин, є важливим народногосподарським завданням.

**Мета роботи:** обґрунтування параметрів установки гідравлічного нанесення захисного покриття сільськогосподарської техніки, що забезпечує його рівномірну товщину.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі **завдання:**

- провести аналіз існуючих способів нанесення захисного покриття на поверхні сільськогосподарської техніки;
- розробити конструктивно-технологічну схему установки для гідравлічного нанесення захисного покриття сільськогосподарської техніки;
- експериментально уточнити залежність адгезійних властивостей захисного покриття від параметрів сопла розробленого пістолета-розпилювача.

**Об'єкт дослідження:** вплив параметрів установки гідравлічного нанесення захисного покриття сільськогосподарської техніки на рівномірність його товщини.

**Предмет дослідження:** вплив краплеутворення на рівномірність нанесення захисного покриття.

**Методи дослідження.** Дослідження проводилися з використанням сучасних інформаційних технологій на основі законів математики, фізики та у відповідність до теорії надійності. У роботі застосовувалися методи математичного моделювання та планування багатofакторного експерименту. При проведенні експериментальних досліджень використовувалися стандартні та запропоновані методики, сертифіковані прилади та установки. Якість нанесення захисного покриття поверхні підготовлених зразків визначалося відповідно до ДСТУ. Обробку результатів досліджень проведено методами математичної статистики (з використанням програм MathCAD 14.0, Statistica 8.0).

### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Борак К.В., Самчук Д.С., Олександрович О.П., **Козловець С.В.** Застосування системного підходу для підвищення зносостійкості елементів трибосистеми. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 157-159.

2. Борак К.В., Самчук Д.С., Олександрович О.П., **Козловець С.В.** Аналіз конструкції робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 9-10.

3. Борак К. В., Ващук Ю. В. **Козловець С. В.** Методика визначення триботехнічних характеристик ґрунтового середовища. Збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної он-лайн конференції *«Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України»*, присвяченої 20-й річниці з дня створення факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України. м. Київ. 2021. С. 140-144.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія нанесення захисного покриття на поверхні сільськогосподарських машин при довготривалому зберіганні.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 37 сторінок комп'ютерного тексту, містить 6 таблиць і 17 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Однією з особливостей експлуатації машинно-тракторного парку є сезонність, тобто використання машин відбувається у певний термін, при постійному впливі руйнівних атмосферних факторів, а також агресивних середовищ, якими є добрива, отрутохімікати та ін.

Велика кількість сільськогосподарської техніки використовується протягом року, приблизно від 10...15 до 55...60 днів [1-10], а решта часу знаходяться в не робочому стані та підлягають належному зберіганню. При тривалому зберіганні відбуваються зміни розмірів та якості матеріалу деталей внаслідок корозії, структурних перетворень та залишкових деформацій під дією своєї маси машин [1, 2].

Агресивне середовище, в якому відбувається процес руйнування металу (корозія), за типом може бути атмосферне, рідинне, газове, підземне (що відбувається в ґрунтах та на ґрунтах) та біологічне.

Під час експлуатації та період зберігання на сільськогосподарську техніку впливають різні фактори, до яких належать атмосфера, ґрунт, отрутохімікати, а також органічні та мінеральні добрива. До прикладу, на машини призначені для обробки рослин та перевезення та внесення рідких добрив, впливає рідинна та атмосферна корозія. Машини, що обробляють ґрунт, піддаються зношуванню за допомогою корозії та абразиву. Через ці несприятливі фактори втрати металу на сільськогосподарській техніці становлять 1,2...1,4% на рік від загальної кількості активної частини металу, призначеного для використання у землеробстві [1-12].

Швидкість перебігу процесу корозії переважно залежить від виду агресивного середовища та тривалості впливу на поверхню техніки, температури повітря, стану захисного покриття поверхні металу, наявності механічних напружень та хімічного складу металу, особливостей конструкції (кількості зварних швів, болтових та заклепувальних з'єднань і т.д.).



На довговічність роботи деталей сільськогосподарських машин впливає не загальні корозійні враження, а глибина піттингу.

Глибина піттингу, що виникає на поверхні незахищених деталей, які знаходяться на зберіганні в закритому приміщенні, становитиме 0,015 мм за рік і при цьому фактично не впливає на довговічність їх використання, глибина уражень виробів із сталі, що знаходяться при зберіганні на відкритих майданчиках, вище втричі, а на поверхні ґрунту в 14... 15 разів більше [1-6].

Найбільш глибокі піттинги з'являються при корозії деталей, що знаходяться в нітрофосках, а також у мідному купоросі. Найбільш корозійноактивними з органічних добрив є торфогноєслужний і торфозріджений компости, а найменш активними – гній на основі екскрементів корів та торф низинний та верховий.

Поверхні робочих органів, що залишилися без консервування, плугів, сівалок, культиваторів та інших видів сільськогосподарських машин у час зберігання піддаються окисленню та покриваються іржею. Різні види забруднень на поверхні деталей та вузлів збільшують корозію, а у поєднанні з вологою деякі їх види створюють активне електрохімічне середовище, що викликає інтенсивні процеси розвитку корозії. На початку корозія проявляється на незахищених поверхнях. У деяких випадках корозія проявляється через руйнування захисного покриття або пошкодження фарби (при транспортуванні, роботі тощо), а іноді із-за порушення правил зберігання.

Частини сільськогосподарських машин, що знаходяться внизу (сошники, опорні котки, ходові колеса та ін.) та виготовлені з простих вуглецевих конструкційних та малолегованих сталей, кородують набагато інтенсивніше, а віддалені деталі від ґрунту і не контактують з ґрунтом, кородують набагато повільніше. Інтенсивність та глибина корозійних уражень деталей, що контактують з ґрунтом, досягають неприпустимо великих розмірів. Наприклад, осі, насінневі ящики, а також захисні кожухи та рами за рік

піддаються корозії на глибину 0,02...0,07 мм, а деталі робочих органів, що контактують з ґрунтом, — на глибину 0,42...0,44 мм [11].

Найбільш небезпечна корозія для складальних одиниць, які працюють при ударних чи циклічних навантаженнях (такі як пружини, пружинні лапи культиваторів, осі, вали тощо). Термін служби таких деталей скорочується на 40...60%. Проаналізувавши злами деталей (лап культиватора, валів, тощо) виявлено, що початком для багатьох руйнувань послужили враження та пітинг від корозії [1].

Проведений аналіз під час експлуатації зернозбиральних комбайнів виявив високу залежність (коефіцієнт кореляції від 0,89 до 0,97) експлуатаційних показників: напрацювання на відмову, коефіцієнта технічного готовності залежно від організації робіт із зберігання комбайнів. З підвищенням показника якості зберігання комбайна з 0,14 до 0,98, також підвищується змінне напрацювання комбайна з 32,48 до 82,80 тонн (рис. 1.1) [12].

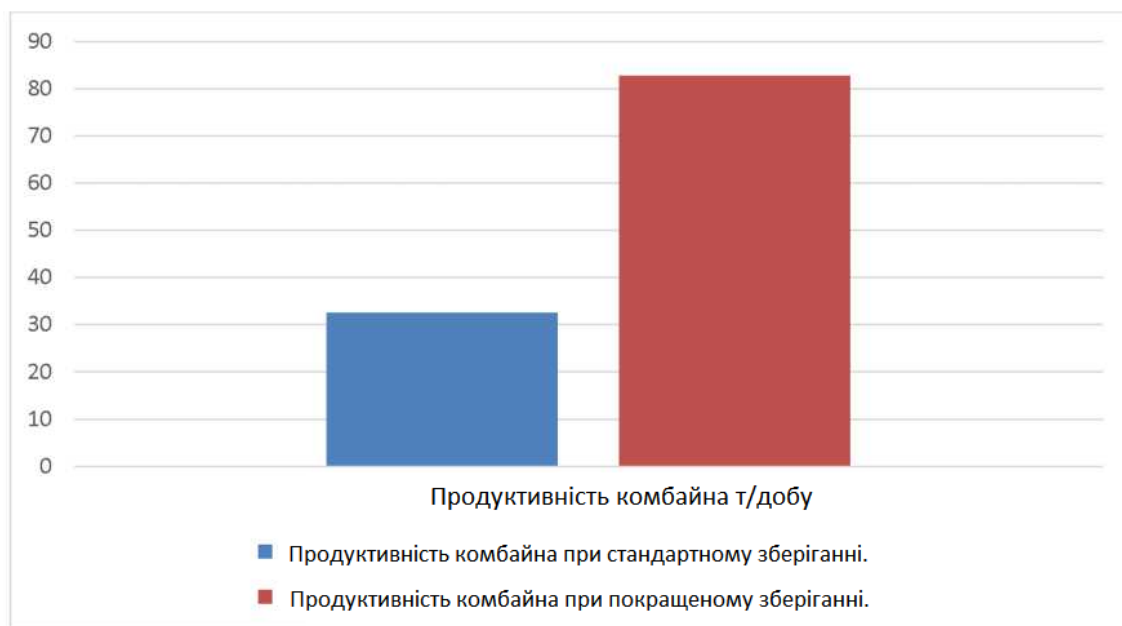


Рис. 1.1. Залежність змінного напрацювання комбайна від якості його зберігання.

Для запобігання розвитку корозійної руйнації сільськогосподарської техніки під час тривалого терміну зберігання активно застосовуються різні пластичні протикорозійні захисні покриття. Основною захисною дією таких

речовин є механічна ізоляція деталей та поверхонь машин від впливу зовнішніх кліматичних факторів. Даний вид захисного покриття має високу водостійкість та достатній опір металу до окислення. Даними питанням займалися, Г.А. Борисов, С.М. Боричів, Н.В. Бишов, А.А. Герасименко, І.К. Данилов, Б.П. Загородських, Л.Г.Князева, Г.Д. Кокорев, О.П. Космачов, М.Ю. Костенко, О.М. Кравченко, М.Б. Латишенок, Р.І. Лі, С.Г. Малюгін, А.В. Марусін, Ю.М. Михайлівський, Д.Г. Пажі, А.І. Петрашев, С.Д. Поліщук, В.Д. Прохоренко, Г.К. Рембалович, А.Е. Північний, А.А. Симдянкін, В.В. Терентьев, Б.А. Улітовський, І.А.Успенський, В.І. Черноіванів, А.В. Шемякін, І.А. Юхін та ін.

Недоліком такого виду протикорозійного захисту є те, що такі протикорозійні речовини володіють високою в'язкістю і не проникають у зазори, які під час експлуатації можуть наповнюватися вологою. І внаслідок чого під захисним покриттям у зазорах інтенсивно розвивається процес електрохімічного руйнування металу машини.

Також при тривалому знаходженні під час зберігання під дією сонячної радіації та інших кліматичних факторів, такі захисні покриття засихають, що призводить до їх осідання в зазори, що призведе до утворенню мікротріщин у захисному покритті і через них у зазори надходять нові порції кисню та вологи. Все це призводить до збільшення інтенсивності процесу електрохімічного руйнування з'єднань машин.

Для підвищення ефективності антикорозійного захисту поверхні, а також зварних швів та стикових з'єднань необхідно знизити в'язкість захисного покриття, підвищити тиск при нанесенні захисного покриття та зменшити дисперсність захисного покриття. Все це дозволить захисному покриттю проникати в щілини та зазори, а також більш рівномірно лягати на поверхню техніки.

При існуючих способах та засобах нанесення ґрунтових покриттів досить важко досягти досить високої продуктивності з дотриманням якісних показників

нанесеного шару. Ця операція в здебільшого виконується вручну або пневматичними способами.

Підвищити ефективність обробки поверхні сільськогосподарської техніки можливо завдяки нанесенню захисного покриття гідравлічним способом, при цьому необхідно удосконалювати пристрої для її нанесення, у плані зниження затрат на працю та коштів на нанесення захисного покриття.

Таким чином, обґрунтування параметрів пристрою нанесення захисного покриття гідравлічним способом, що підвищує рівномірність нанесення його на поверхню сільськогосподарських машин є важливим науковим та прикладним завданням.

Існують різні підходи до класифікації захисних покриттів від корозії. В основному поширена класифікація за призначенням цільового матеріалу. Наприклад, виділяють захисні покриття, що використовуються для обробки індустріальних конструкцій, таких як морські судна, трубопроводи, резервуари та об'єкти, які експлуатуються на свіжому повітрі. У кожному випадку передбачається своя особливість взаємодії металевих покриттів з довкіллям і з поправкою на спосіб експлуатації вибирається антикорозійне захисне покриття. Наприклад покриття, що використовуються для трубопроводів, в основному є лакофарбовими сумішами, а антикорозійний захист суден найчастіше представляється як металізоване напилення. Але з точки зору експлуатації металеві конструкції рідко обробляються одним видом захисного покриття. В основному застосовують комплекс, що включає в себе різні технології металізованого напилення, а також нанесення лакофарбових сумішей [2, 5].

Найбільш поширеним способом антикорозійного захисту є нанесення лакофарбового покриття. Даний метод підходить і для побутового застосування, допустимо якщо необхідно оновити колір і в той же часчас уберегти від корозійного руйнування металевий паркан, злив або покрівельне покриття. Найбільш ефективні методи відносяться до промислової обробки. До них відноситься антикорозійний захист металоконструкцій за допомогою

оцинкування, легування, термічної обробки, фаолітування і т. д., але з іншого боку, чим ефективніше методика, тим вона складніша і дорожча. Навіть при застосуванні сучасних технологічних способів відбуваються економічні втрати, у тому числі при використанні їх у промисловості [3].

За основу для розробки антикорозійних покриттів, здатних запобігти негативним процесам на поверхні, виступили лакофарбові суміші, так як за рахунок додавання до складу суміші спеціальних розчинників, пластифікаторів та пігментів досягаються оптимальні захисні властивості покриттів. Наприклад емаль, що додається при антикорозійному захисті металоконструкцій, підвищує адгезійні властивості та формує надійний та безпечний до механічних пошкоджень шар. Зазвичай металеві конструкції використовуються в складних умовах і тому фізична стійкість до ушкоджень є одним із напрямків удосконалення захисних покриттів. [2, 3].

Холодне цинкування - це наступний за популярністю та ефективності метод захисту поверхні від корозії. Під час реалізації цього технологічного способу об'єкт занурюється в розплав, який і стає бар'єром для іржі. Ця методика найчастіше застосовується при обробці сталевих конструкцій, а також з'єднувальних елементів (болтові з'єднання). Іноді використовуються додаткові операції, при яких зміцнюється антикорозійний захист металоконструкцій [7], СНиП 2.01-19-2004, в якому описані способи захисту будівельних матеріалів конструкцій, вказує на використання як альтернативного захисту або його доповнення, такі технології як хроматування та кадрування [11]. Після цього наноситься лакофарбове покриття.

Алітування – це спосіб металізації конструкцій, який підвищує опірність поверхні металу до процесів корозії. За основу активної речовини застосовують порошкоподібні суміші, що складаються з фероалюмінію. Якщо холодне цинкування передбачає захисне покриття у вигляді шару цинку, то в цьому випадку формується напилення алюмінієвого шару. На металеву поверхню наносять покриття металізованого порошку, а надалі виконується ізоляційна

обмазка. Після чого елемент готується до дифузійного відпалу і на нього наноситься спеціальна фарба на основі алюмінію. Подальші антикорозійні роботи із захисту металоконструкцій продовжуються зануренням металоконструкції в алюмінієвий розплав і витримуються в ньому, параметри якого варіюються в залежності від вимог до покриття. На практиці алітування підвищує властивості металевих поверхонь до зносостійкості [7].

Фаолітування - дана технологія представляє щось середнє між обробкою поверхні металізованими сумішами та нанесенням лакофарбового шару. Захисні властивості в цьому випадку формуються на основі кислототривкої термореактивної пластмаси. Що дає антикорозійне та теплозахисне покриття, що сприяє протидії хімічно агресивних солей Головною перевагою якими володіє такий антикорозійний захист металоконструкцій, є можливість застосування за високих температур. Але для створення якісного покриття необхідно наносити бакелітову лакову основу перед безпосередньою обробкою [7].

Ґрунтування. Будь-який вид ґрунтувальних розчинів містить у складі спеціальні речовини – інгібітори. Вони забезпечують захист металевих поверхонь від дії корозії. Після нанесення будь-яких видів ґрунтовок на поверхні утворюється захисна прозора плівка, що запобігає руйнівним впливам вологи, плісняви, корозії [7].

Ще одна функція ґрунту для металу – покращення адгезії між обробленою поверхнею та фарбою або іншим оздоблювальним матеріалом. Перед внутрішніми або зовнішніми оздоблювальними роботами обов'язково роблять ґрунтування металу перед фарбуванням [7].

Ґрунти є антисептиками, що запобігають розвитку цвілі та грибкових колоній. Цвіль здатна швидко знищувати будь-які матеріали, зокрема і метал. Але щоб оздоблювальний матеріал виконував цю функцію, слід підібрати відповідний ґрунт для металевих поверхонь.

Застосування технологій консервації неможливе без застосування належних технічних засобів нанесення захисних покриттів.

Якісне нанесення захисних покриттів поверхні елементів техніки можливо за попередньої операції її очищення від зруйнованих лакофарбових покриттів [2] та інших забруднень. Все це підвищує адгезійні зв'язки нанесеного матеріалу та металевій поверхні техніки. Зниження адгезійних зв'язків «матеріал, що наноситься – поверхня» може викликати надалі підплівкову корозію [3, 4].

Нанесення захисного покриття на підготовлену поверхню сприяє збільшенню адгезійних зв'язків рідкого матеріалу з поверхнею, отже тривалості збереження.

Підготовка поверхні до зберігання складається з наступних етапів: очищення від забруднень; сушіння поверхні; знежирення; шпаклювання; нанесення захисного покриття.

Методи підготовки поверхні техніки до нанесення матеріалів залежать від форми поверхні, площі та матеріалу конструкції, умов експлуатації, виду забруднень, економічної доцільності та інших факторів. Операцію з консервації поверхні слід проводити в можливий короткий термін після попередньої підготовки поверхні.

Деталі, складальні одиниці та поверхні техніки можна консервувати з допомогою кистей і накатних валиків, а також зануренням, струменевим обливом, повітряним та безповітряним розпилюванням, розпорощенням в електростатичному полі.

В даний час випускаються установки для нанесення захисного покриття пневматичного та гідравлічного типів [3, 5].

Апарати для нанесення пневматичним способом захисного покриття складаються з резервуару для захисної суміші, пристрої для подачі, компресора, а також розпилювача консерванту.





Апарати пневматичного типу працюють із захисними покриттями, які мають в'язкість не більше 40 (Ст). Захисні покриття з більшою в'язкістю завчасно розріджуються за допомогою додавання розчинника або нагріваються. При зниженні в'язкості покращуються ізоляційні властивості покриття та

з'являється можливість отримати рівномірну та суцільну плівку завтовшки близько 50 мкм [3].

Останнім часом у нашій країні та зарубіжних країнах стали більше популярними апарати гідравлічного нанесення, призначені для захисних покриттів підвищеної в'язкості, що значно знижує витрати під час проведення консерваційних робіт, особливо у порівнянні з апаратами для пневматичного нанесення [3, 5].

Основні технічні характеристики апаратів для гідравлічного нанесення представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики апаратів для гідравлічного нанесення захисних покриттів

Показники	Марка машини				
	ОЗ 4899	DP-6382	ФІНІШ 211 Англія	Mark V Італія	Graco RTX США
					
Тип	Пересувна	Пересувна	Пересувна	Пересувна	Пересувна
Потужність, кВт	16	1,1	1,9	1,65	0,4
Продуктивність, л/хв	10...15	10...15	20...25	10...15	20...25
Температура консерванту, °С	60...90	60...90	60...90	60...90	60...90
Маса, кг	705	48	42	59	18
Максимальний тиск, МПа	15	25	25	23	23

Апарати такого виду нанесення забезпечують товщину захисного покриття 15...25 мкм за один прохід.



### **Висновки по розділу.**

На сьогоднішній момент недостатньо вивчені питання щодо рівномірному розподілу захисного покриття по поверхні сільськогосподарської техніки. Тому, для підвищення надійності захисту сільськогосподарських машин від корозійної руйнації, необхідно зробити підбір захисного покриття, а також обґрунтувати параметри засобів механізації для його нанесення

## РОЗДІЛ 2

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Для проведення лабораторних досліджень створено експериментальний стенд, що складається з: установки (рис. 2.1) з регульованими основними параметрами, а також забезпечує підтримку та зміну заданих параметрів у межах, що впливають на якісні показники нанесення та розподілу захисного покриття на поверхні об'єкта та камери нанесення захисних покриттів на зразок (рис. 2.2).

В експериментальній установці використовуються (рис. 2.1) насоси 5 з електродвигуном із можливістю регулювання робочого тиску; ємність для рідкого матеріалу ґрунтовки 1, що подає в магістраль; баки високого тиску 2, 4 – регулятори потужності (тиску) з переривником електромереж



Рис. 2.1. Експериментальна установка: 1 – ємності з матеріалом ґрунтовки; 2 – баки високого тиску; 3 – манометри; 4 – регулятори потужності (тиску) з переривником електромережі; 5 – насоси високого тиску з електродвигунами.



Рис. 2.2. Камера для нанесення захисних покриттів: 1 – подаючі магістралі високого тиску; 2 – корпус камери; 3 – майданчик, що дозволяє змінювати положення пістолета-розпилювача; 4 – вимірювальна лінійка; 5 – майданчик для кріплення зразка; 6 – пістолет-розпилювач.

Принцип роботи установки з насосом та регулятором тиску наступний: насос установки всмоктує з ємності рідкий матеріал ґрунтовки, подає її по магістралі до бака високого тиску, а від нього до робочого органу. При нагнітанні заданого тиску в баках, подаючих магістралей, спрацьовують переривники електромережі і насоси вимикаються, а тиск утримується на певному рівні у баках. При нанесенні захисного покриття тиск падає і вмикаються насоси. Кожен насос працює окремо у своїй системі магістралей та бака високого тиску.

Для нанесення захисних покриттів використовувався розроблений пістолет-розпилювач (рис. 2.3).

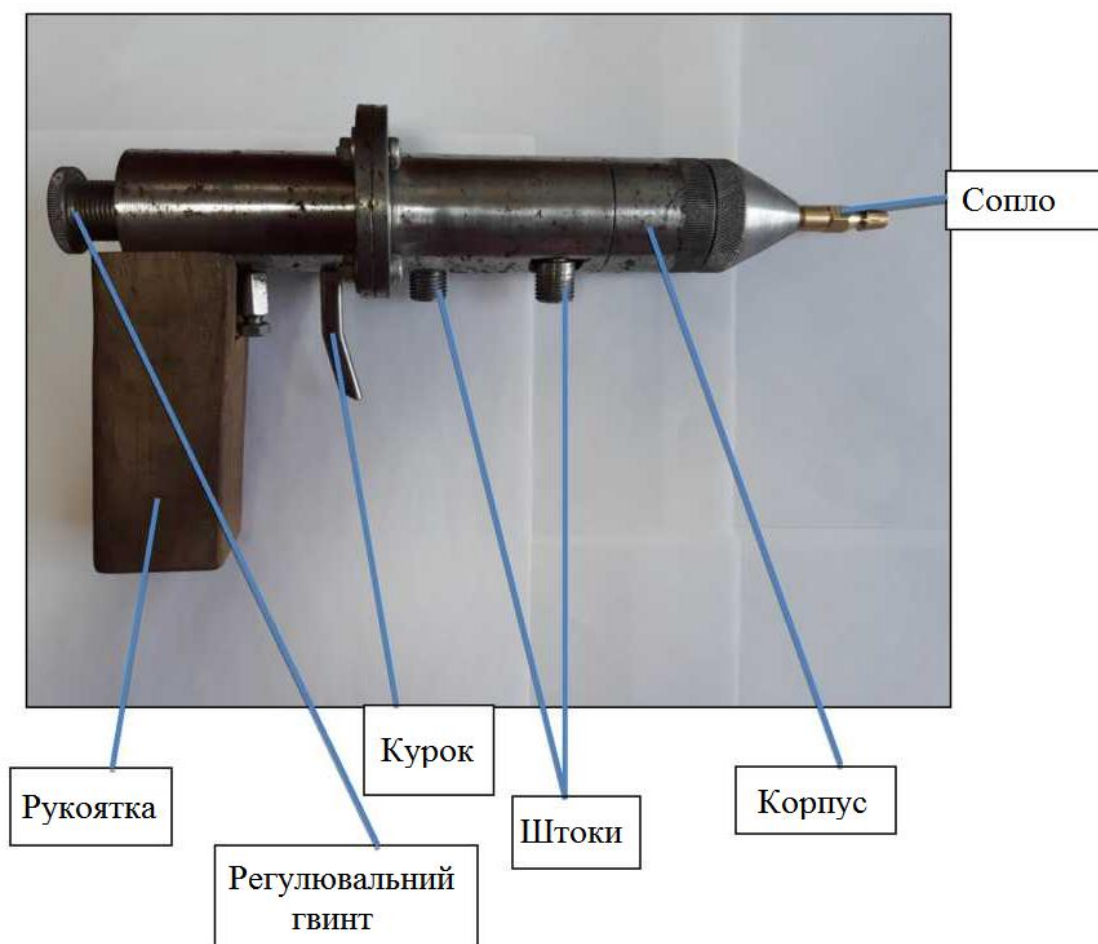


Рис. 2.3. Розроблений пістолет розпилювач

Також для випробування використовувалися насадки з різним розміром діаметра (рис. 2.4).

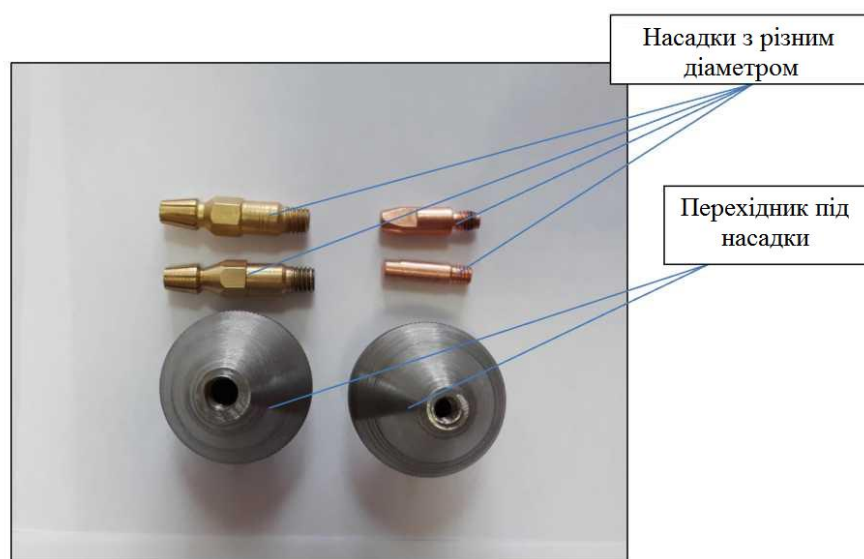


Рис. 2.4. Насадки для розробленого пістолета розпилювача

При дослідженні впливу краплеутворення на процес нанесення захисних покриттів поверхні сільськогосподарської техніки використовували сталагмометричний метод (метод рахунку крапель).

Для визначення кількості крапель, що утворюються при витіканні певного обсягу рідини користуються сталагмометром (рис. 2.5).

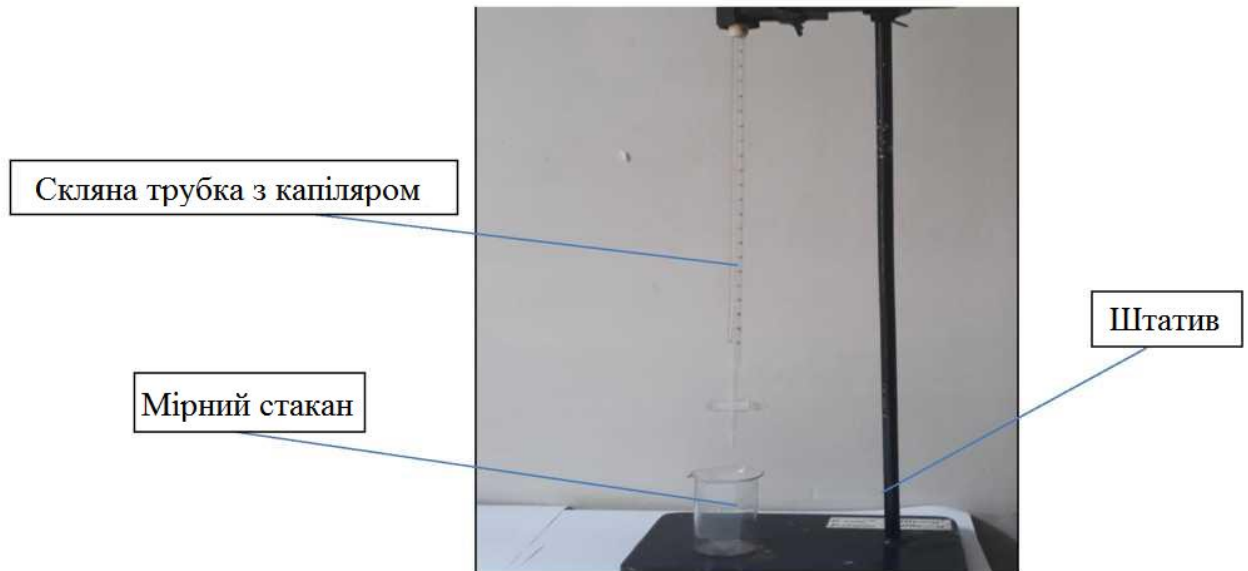


Рис. 2.5. Загальний вигляд сталагмометра

Він є скляною трубкою, що закінчується капіляром, на яку нанесені мітки, що визначають обсяг  $V$ . Для розрахунку  $\sigma$  визначають число крапель  $n_0$  та  $n$ , які утворює відповідно стандартна рідина (зазвичай дистильована вода) та досліджувана рідина при витіканні від верхньої до нижньої мітки.

Сталагмометрична установка схематично зображена на рис. 2.6.

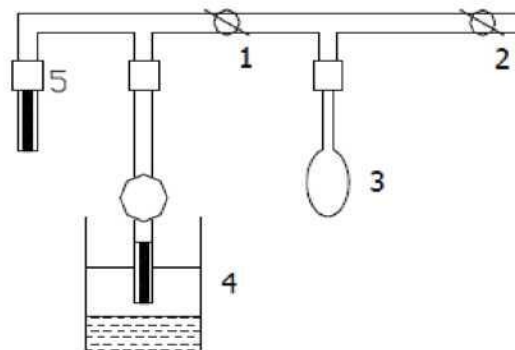


Рис. 2.6. Загальний вигляд сталагмометричної установки

Роботи щодо вимірювання поверхневого натягу проводяться наступним чином. На початку перекривають кран 1 і при не перекритому крані 2 починають стискати гумову грушу 3 і тоді після натискання кран 2 перекривають. Піднімають кювету (стаканчик) 4, після чого занурюють кінчик сталагмометра в досліджуваний матеріал (при цьому кювета заповнюється на  $\sim \frac{3}{4}$  обсягу). Починають відкривати кран 1, поступово засмоктують матеріал в сталагмометр. Коли меніск перетинає верхню позначку, перекривають кран 1, при цьому не опускаючи кювету. Це необхідно для того, щоб почекати деякий час, для припинення підвищення рівня матеріалу в сталагмометрі, якщо цього не зробити туди потрапить повітря. Після зупинки меніска, кювету ставлять на столик. Досліджуваний матеріал починає капати з сталагмометра. Такий прилад через найтонший капіляр 5 з'єднується з атмосферою, через це досягається мала швидкість утворення крапель (приблизно одна крапля за  $\sim 10...15$  с). Після того як меніск підходить до верхньої позначки, починається відлік крапель до досягнення нижньої позначки.

З матеріалами різної концентрації (починаючи з дистильованої води) проводять не менше трьох вимірів, після чого сталагмометр промивають.

Для дослідження впливу розмірів крапель на якість ґрунтового покриття, визначено умови одержання крапель різного діаметра. В ході експерименту було встановлено, що найбільш значущими параметрами є параметри сопла та робочий тиск установки. Змінюючи ці параметри, ми змінювали розмір крапель ґрунтовки. Для цього встановлювали змінні насадки на сопло з різним діаметром, а також регулювали тиск подачі. Здійснювали розпил матеріалу на предметне скло.

Для визначення середніх розмірів крапель використовували мікроскоп марки "ALTA MI" (рис 2.7). Підготовлені відповідним чином предметне скло з нанесеним захисним покриттям поміщають на предметний столик мікроскопа перпендикулярно до оптичної осі мікроскопа. Предметне скло з нанесеним захисним покриттям освітлюють таким чином, що б пучком світла, який

проходить через об'єктив, був розташованим паралельно оптичної осі, він формується за допомогою освітлювальної системи, що складається з джерела світла (лампи), колекторної лінзи, апертурної та польовий діафрагм, допоміжних лінз та напівпрозорої пластинки. На фінальному зображенні поверхні предметного скла з нанесеним захисним покриттям всі ділянки, що відображають світло, які виявляються перпендикулярно до оптичної осі мікроскопа, будуть світлими, а ділянки нахилені – темними. Через це виявляються різні елементи структури нанесення захисного покриття, наприклад, межі крапель, пори та так далі.



Рис. 2.7. Мікроскоп марки «ALTAMI»

Краплями встановленого діаметра обробляли спеціально підготовлені пластини. Для визначення середньої товщини шару та його рівномірності використовувався товщиномір марки ЄВРО ТРЕЙД ЕТ-14 (рис. 2.8),



Рис. 2.8. Товщиномір марки ЄВРО ТРЕЙД ЕТ-14 (1 – товщино мір; 2 – пластина металу з нанесеним покриттям).

Таблиця 2.1 – Результати експерименту з дослідження впливу розміру крапель на товщину шару ґрунтовки та рівномірності її нанесення

№	Середній розмір краплини, мкм	Середня товщина шару, мкм	Зміна товщини шару, $\vartheta$ %
1	26,1	16,4	4,15
2	32,3	17,8	3,66
3	35,8	20,0	3,54
4	41,1	24,0	3,89
5	45,7	29,9	6,71
6	51,2	42,1	11,27

На підставі отриманих даних (таблиця 3.1) було побудовано графік 2.9.

У статистиці прийнято, що менше коефіцієнт варіації, тим нижче рівень розсіювання даних. При значенні коефіцієнта варіації до 10 ступінь розсіювання даних вважається не значимим. Тоді аналізуючи даний графік, отримуємо, що матеріал ґрунтовки найбільш рівномірно розподіляється по поверхні при діаметрі крапель від 33 до 36 мкм, причому середня товщина шару ґрунтовки становить 20 мкм (див. табл. 2.1).

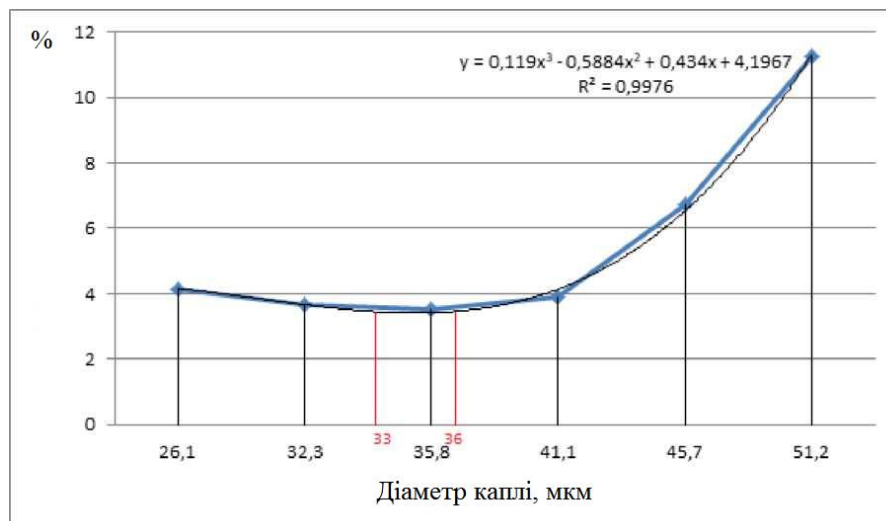


Рис. 2.9. Залежність коефіцієнта варіації від діаметра краплі



## **Висновки по розділу**

В другому розділі магістерської роботи розроблено методику проведення експериментальних досліджень по визначенню впливу значимих факторів на якісні показники покриття.

### РОЗДІЛ 3

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Щоб визначити вагу однієї краплі захисного покриття сталагмометр заповнюють трохи вище за верхню мітку і коли рівень матеріалу збігається з верхньою міткою то починають рахунок крапель і закінчують його після збігу з нижнім рівнем мітки. Отримані експериментальні дані занесені до таблиць 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження краплеутворення ґрунтовки ГФ21

	ГФ-21	ГФ-21 з 5% розчинника	ГФ-21 з 10% розчинника	ГФ-21 з 15% розчинника	ГФ-21 з 20% розчинника
<i>n</i> , кількість капель	157	169	180	190	199
<i>V</i> , мл	50	53	56	59	61
<i>m</i> , г	74,9	77,6	79,9	82,1	84,7
$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	1500	1464	1428	1391	1388
$\sigma$ , Н/м	$32,5 \times 10^{-3}$	$29,51 \times 10^{-3}$	$27,03 \times 10^{-3}$	$24,9 \times 10^{-3}$	$23,77 \times 10^{-3}$

Таблиця 3.2 – Результати дослідження краплеутворення ґрунтовки Reoflex

	Reoflex з 10% розчинника	Reoflex з 15% розчинник	Reoflex з 20% розчинник	Reoflex з 25% розчинник	Reoflex з 30% розчинник
<i>n</i> , кількість капель	192	196	198	200	201
<i>V</i> , мл	110	115	120	125	132
<i>m</i> , г	163,3	168,5	172,6	179,2	188,3
$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	1484	1465	1438	1433	1426
$\sigma$ , Н/м	$26,34 \times 10^{-3}$	$25,47 \times 10^{-3}$	$24,75 \times 10^{-3}$	$24,42 \times 10^{-3}$	$24,18 \times 10^{-3}$

За отриманими експериментальними даними побудовано графічну залежність (рис. 3.1).

Аналізуючи дані графіки можна зробити висновок, що зі збільшенням кількості розчинника в ґрунтовках ГФ-21 та Reoflex відбувається зниження

коефіцієнта поверхневого натягу, що у свою чергу буде негативно позначатися на розподілі захисного покриття поверхнею сільськогосподарської техніки.

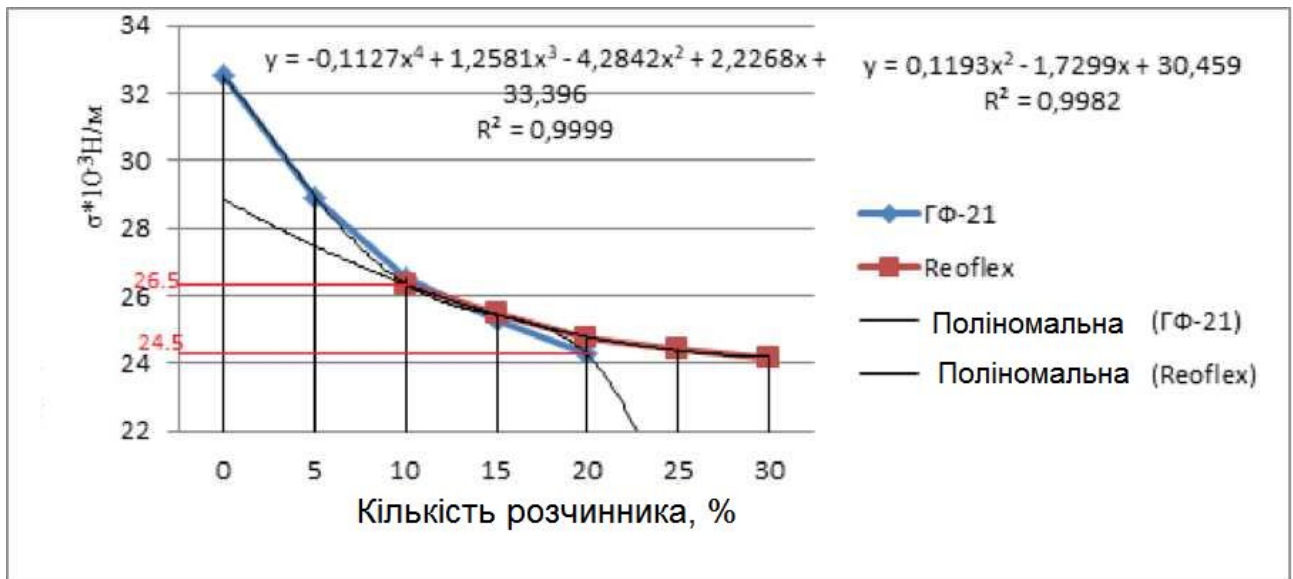


Рис. 3.1. Залежність коефіцієнта поверхневого натягу від кількості розчинника в грунтовках ГФ-21 та Reoflex,  $\sigma \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

Таким чином, раціональним діапазоном значень коефіцієнта поверхневого натягу можна вважати інтервал від 245 до 265  $10^{-3} \text{ Н/м}$ .

Планування та реалізація двофакторних експериментів за планом  $2^2$  на модернізованому пістолеті-розпилювачі при нанесенні захисного покриття поверхні (грунтовки ГФ-21), були проведені в відповідно до загальноприйнятої методики.

На даному етапі експериментальних досліджень було проведено двофакторний експеримент за планом  $2^2$  на установці з модернізованим пістолетом-розпилювачем. Змінними факторами виступали:

$x$  – діаметр насадка пістолета-розпилювача, мм;

$y$  – тиск, що чиниться на матеріал при гідравлічному способі нанесення, МПа

Вихідний параметр: Var3 – діаметр краплі захисного покриття, мкм

Усі наведені фактори відповідали вимогам, викладеним у літературі [1].

Основні рівні та інтервали варіювання факторів представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Рівні та інтервали варіювання факторів при дослідженні якості нанесення захисного покриття на поверхню сільськогосподарської техніки

№	Фактори	Од. вимірювання	Основний рівень		Інтервал варіювання	Верхній рівень		Нижній рівень	
			Натуральне	Закодоване	Натуральне	Закодоване	Натуральне	Закодоване	Натуральне
1	X	мм	1,2	0	0,2	1,4	+1	1	-1
2	У	м/с	22,5	0	2,5	25	+1	20	-1

Після реалізації експерименту проводилася статистична обробка його результатів (таблиця 3.4)

Таблиця 3.4 – Матриця планування та результати двофакторного експерименту за планом  $2^2$ , проведеного на установці з модернізованим пістолетом-розпилювачем

№	Фактори та їх взаємодія		Діаметр каплі захищеного покриття, мкм
	X	У	VarЗ
1	2	3	4
1	-1	-1	33,48
2	-1	0	28,73
3	-1	+1	37,84
4	0	-1	31,22
5	0	0	33,65
6	0	+1	38,95
7	+1	-1	45,32
8	+1	0	44,98
9	+1	+1	47,61

В результаті отримано рівняння регресії, що характеризується коефіцієнтом детермінації  $R^2=0,946$  та коефіцієнтом кореляції  $R=0,0972$ , що свідчить про високу достовірність відповідності отриманих даних рівняння регресії.

Найбільше значення на діаметр краплі має діаметр насадка пістолета-розподільника. На підставі представленого рівняння регресії був побудований графік залежності діаметра краплі від діаметра насадки пістолета-розподільника і тиску, що отримує матеріал при гідравлічному способі нанесення із застосуванням розробленого пістолета-розпилювача (рис. 3.2).

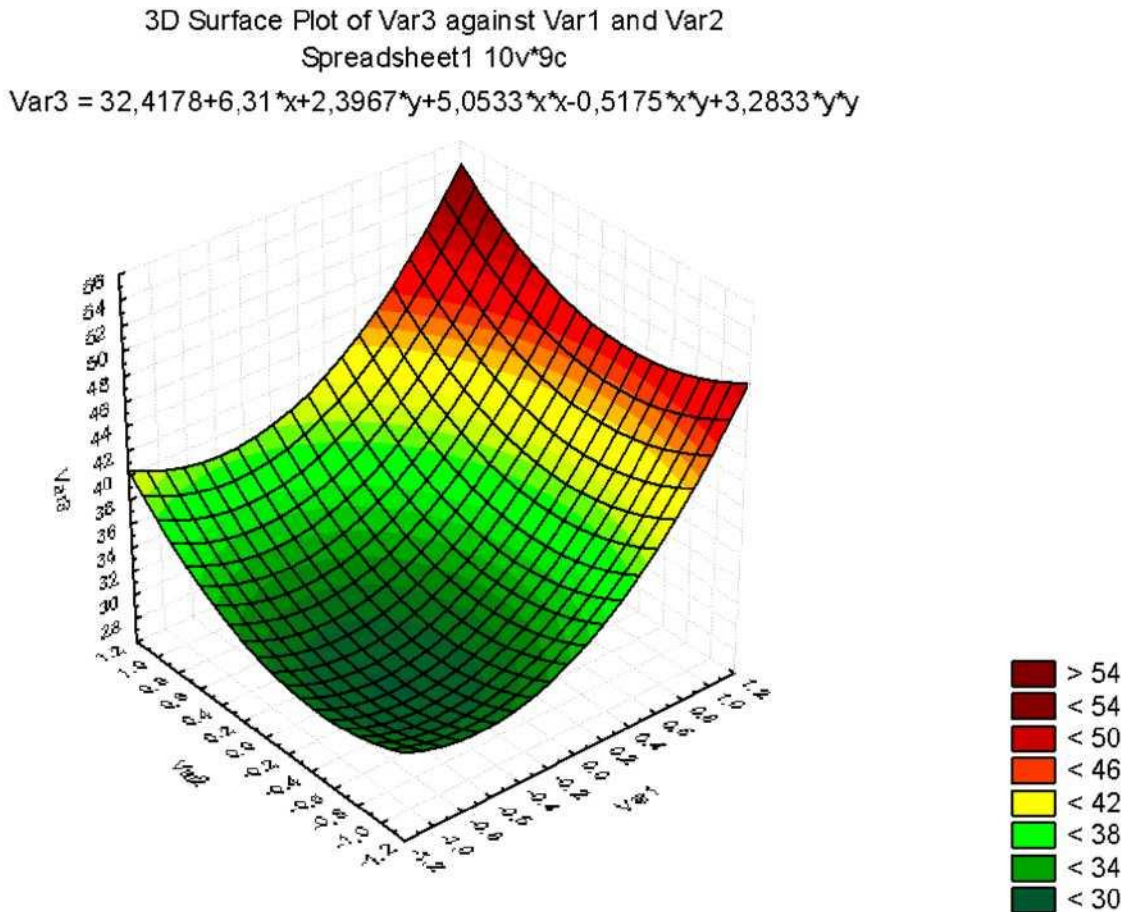


Рис. 3.2. Графік залежності діаметра краплі від діаметра насадки пістолета-розподільника і тиску, що отримує матеріал (грунтовка ГФ-21) при гідравлічному способі нанесення: Var1 – діаметр насадки пістолета-розпилювача, мм; Var2 – тиск, що чиниться на матеріал при гідравлічному способі нанесення, МПа; Var3 – діаметр краплі захисного покриття, мкм

Аналіз залежності діаметра краплі від діаметра насадки пістолета-розподільника показує, що раціональним значенням є діаметр насадки пістолета-розподільника 1,02мм, а тиск на матеріал при гідравлічному способі нанесення 21,75 МПа, що відповідає діаметру краплі захисного покриття близько 32 мкм.

Для ґрунтовки Reoflex був проведений ідентичний експеримент, результати якого представлено на рис. 3.3

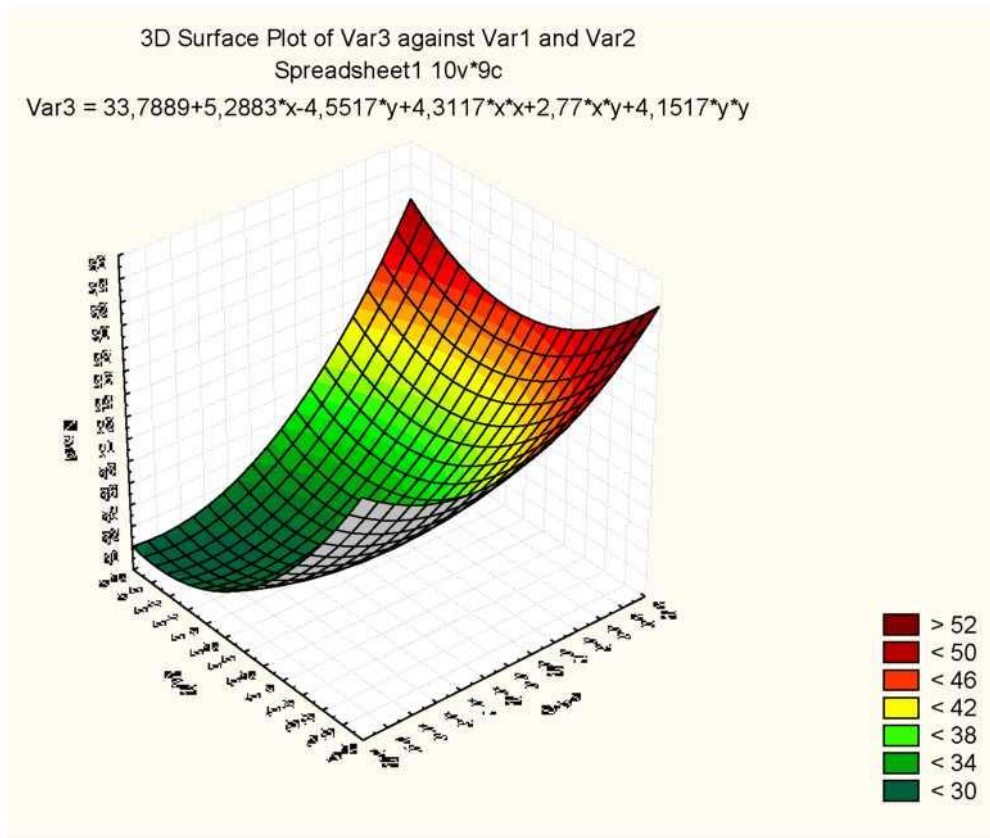


Рис. 3.3. Графік залежності діаметра краплі від діаметра насадки пістолета-розподільника і тиску, що отримує матеріал (ґрунтовка Reoflex) при гідравлічному способі нанесення: Var1 – діаметр насадки пістолета-розпилювача, мм; Var2 – тиск, що чиниться на матеріал при гідравлічному способі нанесення, МПа; Var3 – діаметр краплі захисного покриття, мкм

Аналіз залежності діаметра краплі від діаметра насадки пістолета-розподільника показує, що раціональними значеннями є діаметр насадка пістолета-розподільника 1,03 мм, а коефіцієнт поверхневого натягу  $25,2 \cdot 10^{-3}$  Н/м, що відповідає діаметру краплі захисного покриття близько 33 мкм.

Дослідженням визначення адгезійних властивостей захисних покриттів (міцності зчеплення)  $R_a$  піддавалися по 20 зразків поверхні сільськогосподарської техніки, покриті ґрунтовками марок ГФ-21 та Reoflex.

Адгезиметр механічний NOVOTEST АМЦ-1 (рис. 3.4) заснований на принципі виміру зусилля відриву грибка, який приклеюють до випробуваного

покриття. За допомогою поворотного механізму, що складається з пари гвинт-гайка, зводиться пружинний механізм, який визначає зусилля відриву грибка. Питоме зусилля відриву розраховується виходячи з площі грибка та показань шкали, що відповідає його номеру.



Рис. 3.4. Загальний вигляд адгезиметра механічного NOVOTEST AMЦ-1

Результати досліджень адгезійних властивостей захисних покриттів (міцності зчеплення) представлені на рис. 3.5.

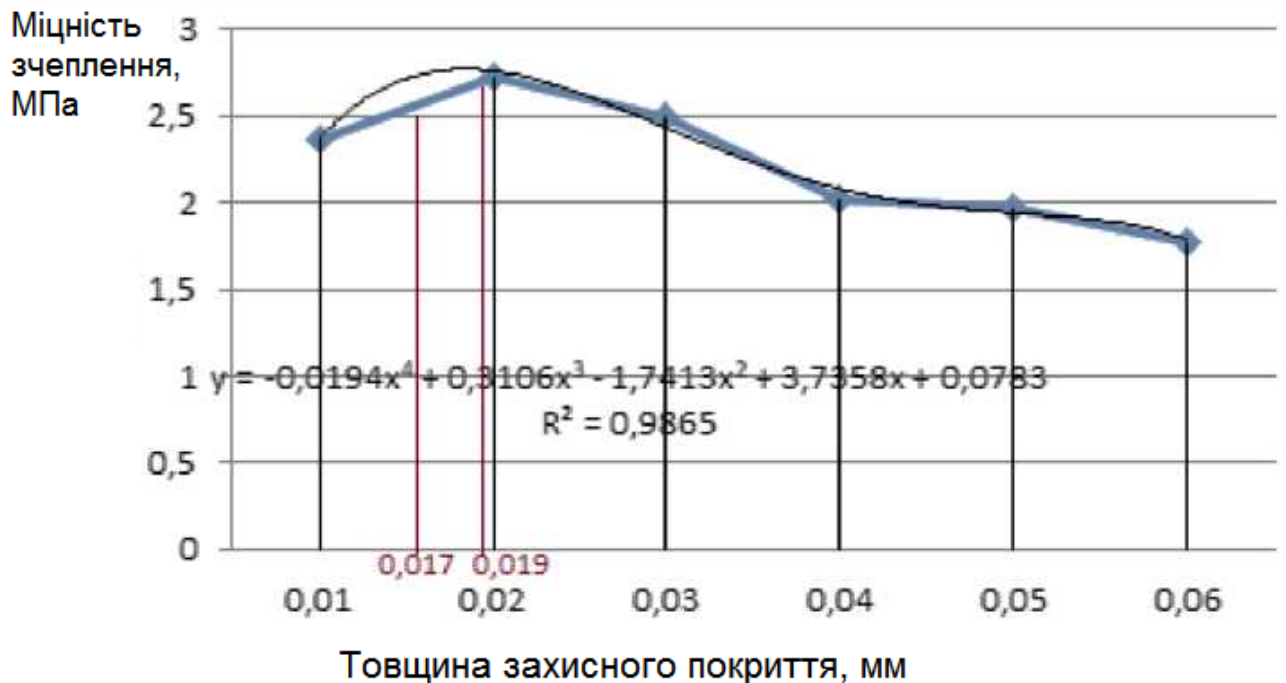


Рис. 3.5. Залежність міцності зчеплення захисного покриття від його товщини

Аналізуючи цю залежність видно, що у діапазоні від 0,017 до 0,019 мм товщини нанесеного захисного покриття його адгезійні властивості є раціональними. Подальше збільшення товщини нанесеного захисного покриття призводить до зменшення міцності зчеплення поверхні, що сприяє появі відшарування захисного покриття від поверхні сільськогосподарської техніки.

Внаслідок проведення польових досліджень установки гідравлічного нанесення захисних покриттів поверхні сільськогосподарської техніки розробленим пістолетом-розпилювачем побудовані графічні залежності зміни впливу діаметра сопла розробленої установки на продуктивність установки (рис. 3.6), а також зміна продуктивності розробленої установки від швидкості руху сопла щодо поверхні сільськогосподарської техніки (рис. 3.7).

Дані графічні залежності підтверджують результати проведених раніше досліджень і показують, що при значеннях діаметра сопла пістолета-розпилювача в інтервалі від 1,0 до 1,1 мм забезпечується раціональна продуктивність гідравлічної установки при нанесенні достатнього шару захисного покриття поверхні сільськогосподарської техніки в 0,02 мм, оскільки подальше збільшення товщини захисного покриття зменшує його зчеплення з поверхнею та сприяє відшарування захисного покриття

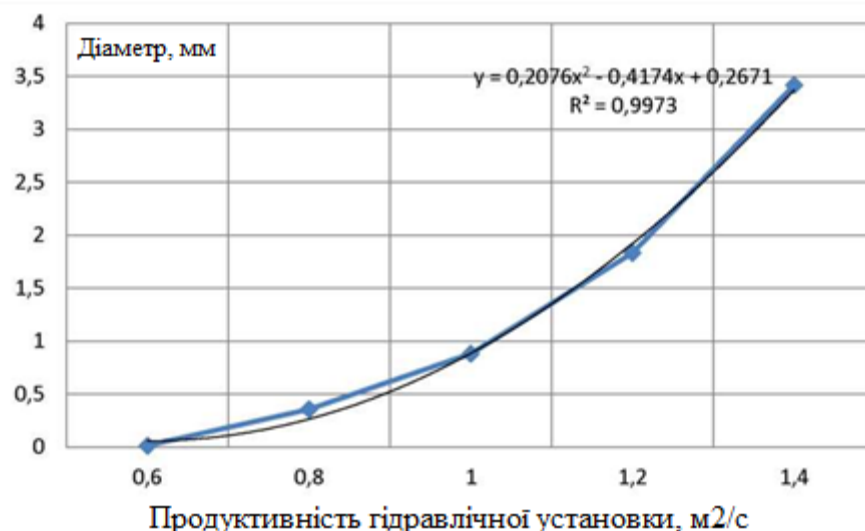


Рис. 3.6. Залежність зміни продуктивності розробленої установки від діаметра сопла розробленого пістолета розпилювача при тиску 21,75 МПа



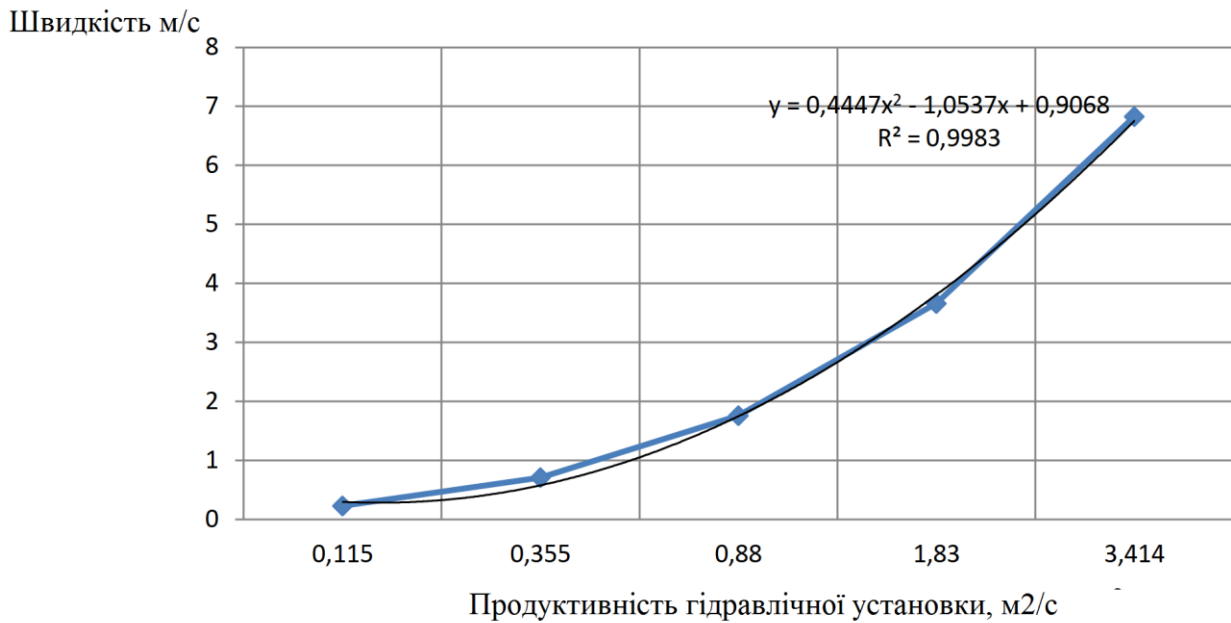


Рис. 3.7. Залежність зміни продуктивності розробленої установки від швидкості руху сопла щодо поверхні сільськогосподарської техніки.

### Висновки по розділу

Експериментально встановлений зв'язок між продуктивністю гідралічної установки нанесення захисних покриттів, раціональною товщиною шару захисних покриттів поверхні сільськогосподарської техніки та діаметром сопла пістолета-розпилювача: діаметр сопла пістолета-розпилювача 1,0-1,1 мм, тиск 21,75 МПа, коефіцієнт поверхневого натягу  $252 \times 10^{-3}$  Н/м. Доведено вплив краплеутворення на процес нанесення захисного покриття поверхні сільськогосподарської техніки. При діаметрі краплі захисного покриття інтервалі 32-33 мкм забезпечується раціональна товщина захисних покриттів в діапазоні 0,01-0,02 мм.

Встановлено, що в діапазоні від 0,01 до 0,02 мм товщини нанесеного захисного покриття його адгезійні властивості є оптимальними, а подальше збільшення товщини нанесеного захисного покриття призводить до зменшення

міцнісного зчеплення поверхні та сприяє появі відшарування захисних покриттів від поверхні сільськогосподарської техніки.

## ВИСНОВКИ

Встановлено, що перспективним є нанесення захисного покриття на поверхні сільськогосподарських машин з використанням установок гідравлічного нанесення.

Розроблено схему встановлення гідравлічного нанесення захисного покриття сільськогосподарської техніки, в якій модернізовано конструкцію пістолета-розпилювача, що дозволяє забезпечити роботу в наступних режимах: з поперемінно відкритими транспортними каналами та з двома одночасно відкритими транспортними каналами.

Експериментально уточнено, що адгезійні властивості захисного покриття раціональні при його товщині в інтервалі 0,01-0,02 мм, що забезпечується при роботі установки гідравлічного нанесення з діаметром сопла пістолета-розпилювача в інтервалі 1,0-1,1 мм при тиску 21,75 МПа.

Для забезпечення рівномірної товщини нанесеного захисного покриття поверхні сільськогосподарських машин рекомендується використовувати гідравлічну установку нанесення захисного покриття з розробленим пістолетом-розпилювачем діаметром сопла в інтервалі від 1 до 1,1 мм при тиску рідких компонентів 21,75 МПа.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ahmad Z. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Butterworth-Heinemann, 2006. 672 p.
2. Aliofkhazraei M. Developments in Corrosion Protection. AvE4EvA, 2014. 698 p.
3. Bahadori A. Cathodic corrosion protection systems. A guide for oil and gas industries. Gulf Professional Publishing, 2014. 464 p.
4. Bayliss D.A., Deacon D.H. Steelwork Corrosion Control. 2nd Edition. Spon Press, 2002. 415 p.
5. Chess P.M., Bloomfield J.P. Cathodic Protection of Steel in Concrete and Masonry. CRC Press, 2013. 250 p.
6. Hughes A.E., Mol J.M.C., Zheludkevich M.L., Buchheit R.G. (Eds.) Active Protective Coatings. New-Generation Coatings for Metals. Springer Netherlands, 2016. 428 p.
7. Акользин А.П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. Москва : Металлургия, 1989. 192 с.
8. Баранов А.Н., Михайлов Б.Н. Защита металлов от коррозии. Иркутск: ИрГТУ, 2004. 157с.
9. Гарост А.И. Защита металлов от коррозии. Минск : БГТУ, 2018. 122 с.
10. Зенченко Ю.Н., Носов Г.М. Защита сельскохозяйственных производственных зданий от коррозии. Киев : Урожай, 1989. 88 с.
11. Качанов И.В. и др. Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины. Минск: БНТУ, 2016. 167 с.
12. Румянцева К.Е. Антикоррозионная защита металлов. Иваново, 2018. – 185 с.

13. Яковлев Д.Г. Защита металла от коррозии в системах водоснабжения. Москва : Стройиздат, 1975. 88 с.

14. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.