

Допущено до захисту
 “___” _____ 2025 р.
 Зав. кафедри д.т.н., професор
 (науковий ступінь, вчене звання)
В.В. Дідур
 (підпис) (ініціали, прізвище)

(освітній рівень)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ Н7 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **В.В. Дідур**
“ ____ ” _____ **2025 р.**

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Набережному Олегові Геннадійовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Підвищення ефективності технології технічного обслуговування сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів мийної установки»

керівник роботи _____ **д.т.н., професор Дідур В.В.** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“14” листопада 2025 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи _____ 25.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно-тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово-зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- проаналізувати існуючі методи очищення машин, а також розглянути установки, що представлені на ринку та мають відповідні ліцензії й сертифікати;
- дослідити можливості зниження витрат води, вуглекислого газу та електроенергії при їх використанні;
- розробити методику і алгоритм проведення досліджень, а також підготувати рекомендації щодо доцільності застосування очищувальних установок у практичній діяльності.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ-242К;

показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Дідур В.В., професор		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2025 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2025 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2025 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2025 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2025 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2025 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2025 р.	

Студент _____
(підпис)

Набережний О.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дідур В.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У даній дипломній роботі досліджуються питання підвищення працездатності машин шляхом впровадження сучасних систем очищення та знежирення поверхонь перед фарбуванням.

У процесі виконання роботи було проаналізовано існуючі методи очищення машин, а також розглянуто установки, що представлені на ринку та мають відповідні ліцензії й сертифікати. Особлива увага приділялася можливостям зниження витрат води, вуглекислого газу та електроенергії при їх використанні.

Розроблено методику і алгоритм проведення досліджень, а також підготовлено рекомендації щодо доцільності застосування очищувальних установок у практичній діяльності.

Дипломна робота містить пояснювальну записку обсягом 79 сторінки та 12 слайдів демонстраційного матеріалу.

Ключові слова: експлуатація, працездатність, автомобіль, трактор, машина, знежирення, лакофарбове покриття, сухий лід.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1. Характеристика забруднень машин.....	9
1.2. Аналіз способів і методів підготовки зовнішніх поверхонь техніки до фарбування.....	17
1.3. Аналіз конструкцій струминного устаткування застосовуваного для підготовки поверхонь машин до фарбування	21
1.4. Характеристика очисних засобів	28
1.5. Постановка проблеми й завдання дослідження.....	32
2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА	34
2.1. Принципова схема експериментального стенда - установки для очищення й знежирення техніки при підготовці її до фарбування	34
2.2. Методика розрахунку мийних струминних установок.....	36
2.3. Висновки	41
3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	42
3.1. Обґрунтування напрямків удосконалення очисних операцій	42
3.2. Обґрунтування об'єкта досліджень.....	44
3.3. Методика лабораторних досліджень	45
3.4. Методика польових досліджень.....	50
3.5. Методика господарських досліджень.....	53
3.6. Результати експериментальних випробувань.....	61
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві	65
4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на мийній дільниці.....	66
4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів.....	67
4.4. Правила безпечного виконання робіт при очищенні машин, агрегатів та деталей.....	71

4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації.....	72
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
ВИСНОВОК	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	80

ВСТУП

Машинно-тракторний парк (об'єкти ремонту) експлуатується в складних умовах, що зумовлює інтенсивний знос і забруднення поверхонь. У процесі роботи техніка контактує з ґрунтом, рослинністю, паливно-мастильними матеріалами, добривами, хімічними засобами захисту рослин, а також зазнає впливу коливань температурних режимів та інших чинників. У результаті на поверхнях тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин утворюються шари різнорідних забруднень із різними фізико-хімічними властивостями, міцністю зчеплення та товщиною. Тривалий вплив таких нашарувань призводить до руйнування покриттів, розвитку корозії, старіння матеріалів, ускладнення проведення діагностичних і регулювальних робіт, зниження продуктивності праці, погіршення санітарно-екологічних умов, що в кінцевому підсумку зменшує надійність і довговічність машин.

Для підвищення стійкості та довговічності техніки у промисловості й ремонтному виробництві застосовують різні способи захисту поверхонь від зазначених факторів, серед яких найбільш поширеним є використання лакофарбових покриттів. Такий метод має низку переваг: невисоку вартість у порівнянні з легованими сталями та гальванічними покриттями; технологічну простоту; можливість комбінування матеріалів з різними властивостями для підвищення якості захисту; формування необхідних декоративних характеристик (колір, блиск, матовість, гладкість); достатню довговічність у процесі експлуатації.

Якість лакофарбового покриття значною мірою залежить від підготовки поверхні, зокрема від ефективності видалення забруднень, оксидних і жирових плівок та забезпечення необхідної шорсткості для підвищення адгезії. Саме тому очищення деталей і вузлів під час підготовки до фарбування належить до найважливіших технологічних процесів, що визначають рівень продуктивності, якість ремонту та обслуговування машин. Недостатньо якісне очищення може знизити післяремонтний ресурс техніки на 20–30 %. За даними досліджень, безпосередньо нанесення покриття становить лише близько 10 % від загального

процесу фарбування, тоді як підготовчі операції займають до 90 %. Від їх ретельності залежить довговічність як покриття, так і машини загалом. Важливим етапом є також знежирення поверхонь, що забезпечує правильне зберігання техніки. Відомо, що очищення становить 29 % у загальних підготовчих операціях перед консервацією, проте більшість традиційних методів не є універсальними й ефективно видаляють лише окремі типи забруднень, іноді пошкоджуючи деталі або залишаючи інші домішки (наприклад, піскоструминна обробка).

З огляду на це, актуальним завданням є розробка сучасних методів очищення, що поєднують продуктивність, екологічність та універсальність. Одним із перспективних напрямів є кріобластинг (струминна обробка гранульованим льодом), який дозволяє якісно видаляти різні види забруднень без пошкодження поверхонь. Метод очищення сухим льодом, детально висвітлений у працях ряду авторів, знаходить широке застосування, проте досліджень, що розкривають режими обробки та фізику процесу, залишається недостатньо. Саме тому важливим завданням є вивчення й оптимізація технології струминного очищення з використанням двофазних робочих сумішей, де як тверда фаза застосовується гранульована вуглекислота. Такий підхід не лише підвищує ефективність очищення, а й сприяє економії води, хімічних реагентів і енергоресурсів, що відповідає вимогам охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Характеристика забруднень машин

Після розбирання машин та агрегатів їхні деталі проходять етапи очищення, знежирення й мийки. Якість цих операцій має визначальний вплив на результати капітального ремонту. Повне усунення всіх видів забруднень забезпечує більш точне проведення дефектування, сприяє збільшенню ресурсу деталей і знижує ймовірність появи браку.

Раціональний вибір методу очищення та мийки залежить від багатьох чинників: типу й характеру забруднень, розмірів і форми деталей, місць скупчення відкладів, а також економічної доцільності. Водночас головним критерієм при виборі способу є саме природа забруднення.

Загалом виділяють два основних типи забруднень: експлуатаційні та технологічні. Експлуатаційні утворюються безпосередньо під час роботи машин і проявляються на їхніх зовнішніх та внутрішніх поверхнях. До них належать пилові нашарування, брудно-масляні та асфальтосмолисті відкладання, залишки мастильних матеріалів, старі лакофарбові покриття, нагар, накип, а також продукти корозії.

Технологічні забруднення виникають у процесі ремонту. Вони включають частки стружки, абразивних матеріалів, залишки мастильно-охолоджувальних рідин, окалину, пил тощо. За складом усі забруднення можна поділити на:

- органічні (масляні та жирові відкладання, залишки консервуючих мастил і лакофарбових покриттів);
- неорганічні (продукти корозії, пил, накип);
- змішані (комбінації органічних і неорганічних речовин, зокрема брудно-масляні відкладання, технологічні залишки, нашарування різної природи).

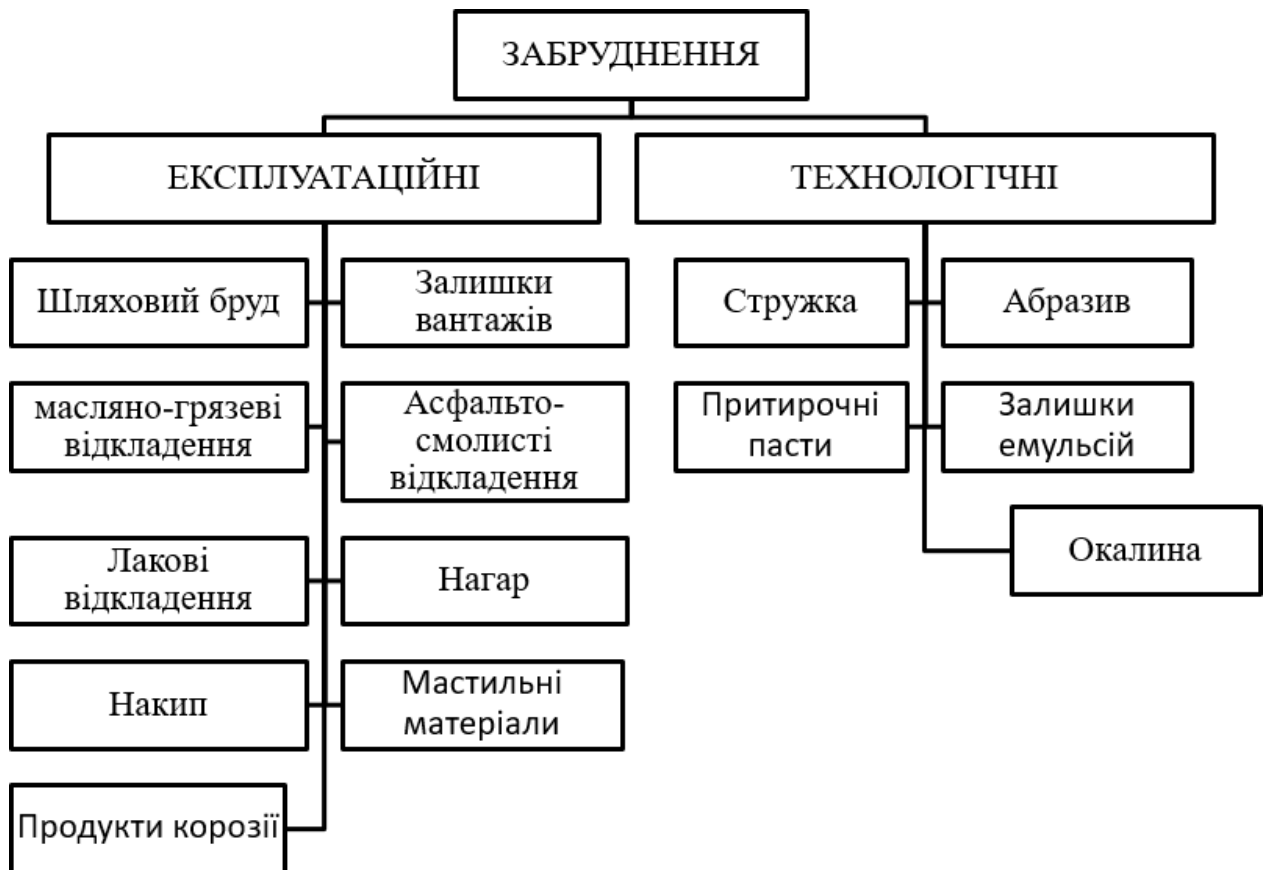


Рисунок 1.1 – Класифікація забруднень

Найбільш поширеними є експлуатаційні забруднення, що формуються в процесі роботи машин із залишків паливно-мастильних матеріалів та продуктів їх трансформації. У ході експлуатації мастильні матеріали зазнають значних змін під впливом окиснення та полімеризації [8]. Здебільшого це продукти неповного згоряння палива, реакцій окиснення, руйнування вуглеводнів, процесів полімеризації, конденсації й коагуляції вуглеводневих сполук, а також корозійні утворення. Кінцевими результатами цих процесів виступають сажа, нагар, асфальтосмолисті речовини, лакові відкладання, карбіди тощо.

За консистенцією забруднення поділяють на тверді та рідкі. Асфальтосмолисті відкладання займають проміжне положення, оскільки можуть мати як смолоподібну, так і твердоподібну структуру. Карбіди, у свою чергу, є продуктами глибоких перетворень паливно-мастильних матеріалів та характеризуються високою твердістю і значною поверхневою активністю.

Таблиця 1.1 – Класифікація та властивості поверхневих забруднень

Забруднення	Складальні одиниці деталей	Характеристика виробів	
		Максимальна товщина, мм.	Межа міцності при стиску МПа
Маслянно-грязьові	Картери кришки піддони	10	2....5
Масла й змащення	Корпусні деталі вали шатунів деталі системи змащення	5	1....2
Лакофарбові покриття	Деталі з пофарбованими поверхнями	0.1	30
Продукти корозії	Деталі кузова, кабіни, рами, корпусу	3	40
Накип	Блоки гізьзи головки й циліндрів	3	30
Асфальтосмолисті відкладання	Блоки циліндрів, колінчаті вали, шатуни	0.5	10
Нагар	Головки циліндрів, поршні, колектори	1	30

Ці відкладення відзначаються високою стійкістю та міцно утримуються на поверхні деталей. Лаки є продуктами окиснення тонких шарів паливно-мастильних матеріалів у зонах впливу підвищених температур на вуглеводневі масла та паливо. Опади формуються із суміші продуктів згоряння та фізико-хімічних перетворень палива й мастил, механічних домішок, продуктів зношування деталей і вологи. Вони на 40–80 % складаються з масел і смол, не розчиняються у мастильних рідинах і мають високу щільність. Здебільшого осідають та закріплюються на стінках картерів, масляних насосів і мастилопроводів.

Нагар є наслідком неповного згоряння палива. За своєю структурою може бути щільним, пухким або пластичним. Для нього характерна висока механічна міцність і значна адгезія до поверхні деталей.

Накип утворюється на елементах системи охолодження двигуна й перешкоджає нормальному теплообміну, що негативно впливає на роботу системи. Він формується із солей кальцію та магнію, розчинених у воді, які при нагріванні до 70–90 °C розкладаються та випадають в осад у вигляді карбонатів, сульфатів і силікатів.

Унаслідок взаємодії деталей автомобіля з навколишнім середовищем та робочими процесами відбувається їх забруднення й зношування. Це призводить до зниження потужності двигуна, ефективності фільтраційних систем, підвищення витрат палива та енергоресурсів, прискореного зносу у вузлах тертя, що суттєво зменшує надійність машини.

Отже, проведення якісних очисних операцій під час ремонту має вирішальне значення. Дослідження показують, що належна підготовка поверхонь у процесі відновлення деталей забезпечує збільшення ресурсу відремонтованих машин і підвищення продуктивності праці. Очищення здійснюється після розбирання машин, додатково перед окремими відновлювальними операціями (наприклад, нанесенням гальванічних покриттів), а також остаточно перед складанням.

Очищення необхідно виконувати до такого рівня, щоб залишкові нашарування не заважали подальшому відновленню та експлуатації деталей. Таким чином, мийка та очищення машин, вузлів і агрегатів є обов'язковим підготовчим етапом ремонту, що спрямований на:

- забезпечення високої якості ремонту, підвищення культури виробництва та дотримання санітарно-гігієнічних вимог;
- можливість проведення дефектоскопії, контролю геометричних параметрів і визначення фізико-механічних характеристик матеріалів;
- підготовку поверхонь до нанесення захисних покриттів;
- запобігання корозії деталей у процесі їх перебування в ремонті;

– досягнення необхідного рівня чистоти для виконання складальних операцій.

1.1.1. Експлуатаційні забруднення

Експлуатаційні забруднення охоплюють відкладення неорганічного походження та маслянисто-брудові утворення, які накопичуються на зовнішніх поверхнях деталей машин і агрегатів. Пил та бруд під час роботи техніки осідають як на сухих, так і на змащених поверхнях. Такі нашарування видаляються відносно легко. Натомість залишки мастильних матеріалів, що характерні для всіх елементів, які функціонують у масляному середовищі, є найбільш поширеним видом забруднень. Для їх усунення необхідне застосування спеціальних мийних засобів і відповідних технологічних умов.

Вуглецеві відкладення виникають у результаті термоокислювальних процесів, що відбуваються з мастильними матеріалами та паливом. Вони формуються на деталях двигунів внутрішнього згоряння та поділяються на: нагар, лакові плівки, осади й асфальтосмолисті речовини. До цієї групи також належать залишки бітуму й асфальтобетонної суміші, які потрапляють на зовнішні поверхні дорожньо-будівельних машин при їх взаємодії з цими матеріалами.

– Нагар утворюється внаслідок згоряння палива й масел. Незгорілі тверді частки прилипають до масляної плівки, поступово спікаючись у щільний шар, що осідає на стінках камер згоряння, днищах поршнів, клапанах, свічках запалювання та у випускних колекторах.

– Лакові плівки з'являються під дією високих температур на тонкі шари масла. Вони формуються на поршнях, шатунах, колінчастих валах та інших деталях.

– Осади складаються з продуктів окиснення палива й масел, пилу та дрібних частинок. Вони являють собою густу, липку масу, що накопичується в піддоні картера, масляних каналах і фільтрах.

– Асфальтосмолисті речовини утворюються в умовах високої температури та наявності кисню. Більшість із них має тверду структуру, входить

до складу осадів і може чинити абразивний вплив на поверхні деталей. Для їх видалення потрібні спеціальні реагенти та суворо визначені технологічні умови.

Накип формується на внутрішніх поверхнях елементів системи охолодження двигуна. Він виникає при осадженні солей кальцію й магнію під час нагрівання води до 70–85 °С. Через низьку теплопровідність навіть тонкий шар накипу суттєво погіршує теплообмін, спричиняє перегрів деталей шатунно-поршневої групи та циліндрів. Унаслідок цього зменшується потужність двигуна, підвищується витрата палива й мастильних матеріалів, зростає інтенсивність зношування елементів. Видалення накипу є складною й трудомісткою процедурою.

Корозія – це гідрат оксиду заліза, який виникає в результаті хімічного та електрохімічного руйнування металевих поверхонь. Вона поширюється як на деталі системи охолодження, так і на інші металеві елементи машин, що контактують із вологим та агресивним середовищем.

1.1.2. Технологічні забруднення

Технологічні забруднення на деталях і вузлах виникають під час проведення ремонтних робіт, складання чи обкатування агрегатів. До них належать залишки притирочних паст, абразивних матеріалів, шліфувальних кругів, металева стружка тощо. Такі відкладання потребують своєчасного й ретельного видалення, адже їх наявність може спричинити прискорене зношування тертьових поверхонь деталей.

Окрему групу становлять відкладання цементного розчину й бетону, що з'являються під час роботи машин із цими матеріалами або внаслідок неналежного технічного обслуговування. Процес їх видалення є відносно простим за технологією, проте доволі трудомістким. Недостатнє очищення деталей від таких нашарувань ускладнює приробляння тертьових поверхонь, що призводить до появи задирів, подряпин і ризок, які інтенсифікують первісне зношування деталей.

Технологічні забруднення характеризуються специфічними особливостями, які слід враховувати при виборі методів очищення. До твердих забруднень належать виробничий пил, дрібнодисперсні частинки, шлаки, окалина, стружка. Вони не мають міцного хімічного зв'язку з поверхнею й переважно утримуються завдяки масляній плівці, тому видаляються разом із нею. Винятком є стружка в каналах, окисні плівки та часточки абразиву, що можуть втискатися у металеву поверхню.

Для усунення таких відкладів необхідний інтенсивний гідродинамічний вплив або тривале кавітаційне (ультразвукове) очищення. Особливу увагу слід приділяти видаленню притирочних паст, оскільки вони містять як рідкі, так і тверді компоненти. Якщо усунути лише рідку фазу (наприклад, розчиненням), тверді частки висихають, ущільнюються й ускладнюють подальше емульгування та видалення, що істотно ускладнює процес очищення.

1.1.3. Класифікація забруднень по трудомісткості їх видалення

Класифікацію забруднень відповідно до ступеня складності їх видалення та щільності зчеплення з поверхнею [6, 7] представлено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Класифікація поверхневих відкладів за рівнем адгезії та складністю очищення

Слабозв'язані забруднення переважно складаються з рослинних решток,

перемішаних із частинками ґрунту та вологою. Їхнє утримання на поверхні машини зумовлене силами адгезії, що виникають унаслідок зміни вмісту води. Під час випаровування води з одного боку формуються тверді ділянки, а з іншого – проявляється дія сил поверхневого натягу між шаром бруду й поверхнею машини.

Середньозв'язані забруднення утворюються переважно у вигляді маслянисто-брудових відкладів, що виникають при осіданні дорожнього пилу на поверхні, покритій масляною плівкою. У деяких випадках додатково на такі поверхні потрапляють технологічні рідини, які просочуються в бруд і склеюють його частинки, утворюючи стійке покриття, малочутливе до зовнішніх впливів.

Сильнозв'язані забруднення являють собою продукти хімічної взаємодії робочих середовищ (добрив, отрутохімікатів) та агресивних факторів, включно з корозійними процесами, безпосередньо з матеріалом поверхні машини.

Аналіз розподілу забруднень на поверхнях сільськогосподарської техніки показав, що їхнє розташування залежить від виконуваних технологічних операцій, особливостей конструювання машини та дотримання культури виробництва.

За даними досліджень (рис. 1.3, 1.4), найбільшу площу поверхні займають слабозв'язані забруднення – близько 57 %, а також середньозв'язані – приблизно 33 %. Водночас трудомісткість їх видалення є відносно невеликою й становить відповідно 11 % і 18 %. Сильнозв'язані відклади охоплюють лише близько 10 % площі, однак через локалізацію у важкодоступних зонах вимагають найбільших витрат часу та зусиль, адже трудомісткість їх усунення сягає 71 %.

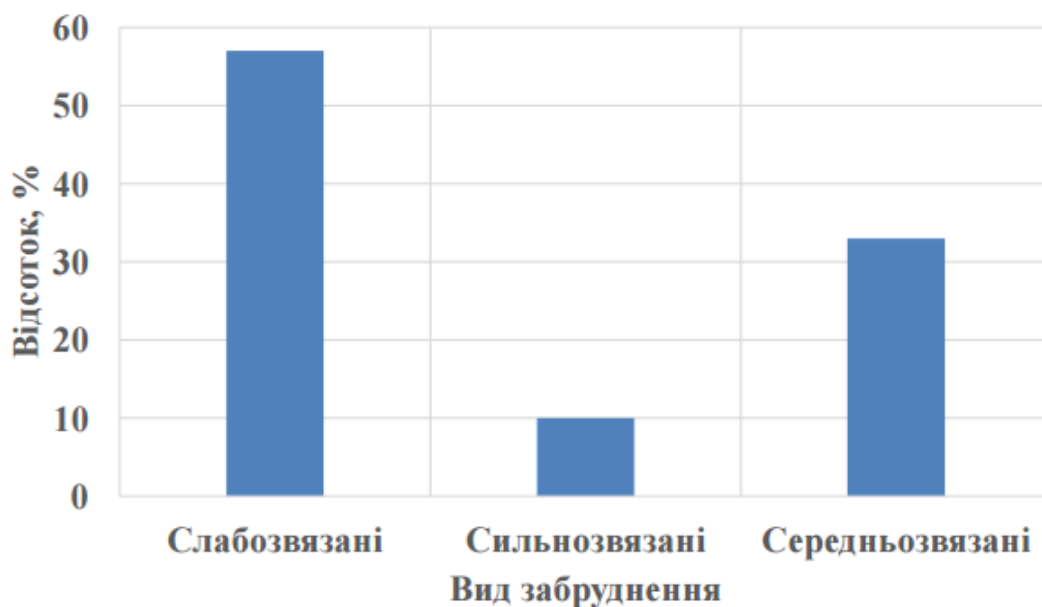


Рисунок 1.3 – Рівень трудових витрат на усунення забруднень

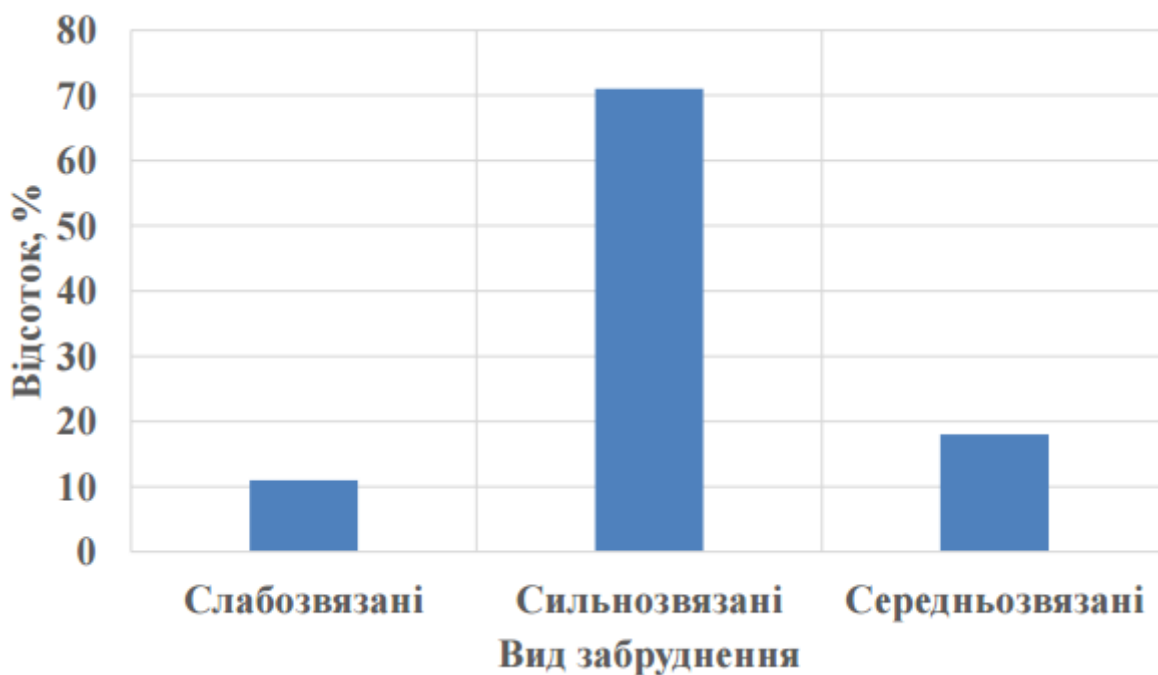


Рисунок 1.4 – Розподіл забруднень по поверхні

1.2. Аналіз способів і методів підготовки зовнішніх поверхонь техніки до фарбування

Комплекс профілактичних заходів, спрямованих на зменшення утворення забруднень, не може повністю усунути їх появу. У сільськогосподарських машинах та іншій техніці завжди трапляються забруднення різних типів, тому особливої актуальності набуває застосування ефективних методів очищення під

час підготовки обладнання до фарбування.

За характером основних параметрів, що визначають якість підготовки поверхонь машин, вузлів і деталей, існуючі методи очищення поділяють на механічні та фізико-хімічні [6, 7] (рис. 1.5). Ці підходи не є взаємовиключними, і на практиці вони часто поєднуються для досягнення кращого результату. Конкретні способи реалізації можуть значно відрізнятися й передбачати використання різних мийних речовин та обладнання. Найбільшого поширення набули методи, що поєднують механічну дію зі змиванням та розчиненням забруднень.

Механічні методи очищення [8] широко застосовуються для підготовки металевих поверхонь до фарбування. Вони призначені для видалення нагару, накипу, старих лакофарбових покриттів, оксидних плівок, продуктів корозії та окалини. До них належать як ручні прийоми (застосування шкребків, щіток, йоржів), так і машинні методи: обробка поверхонь кісточною крихтою, кварцовим або металевим піском (дробоструминна очистка), очищення за допомогою обертових щіток і шліфування абразивними матеріалами, нанесеними на стрічку чи шліфувальні кола.

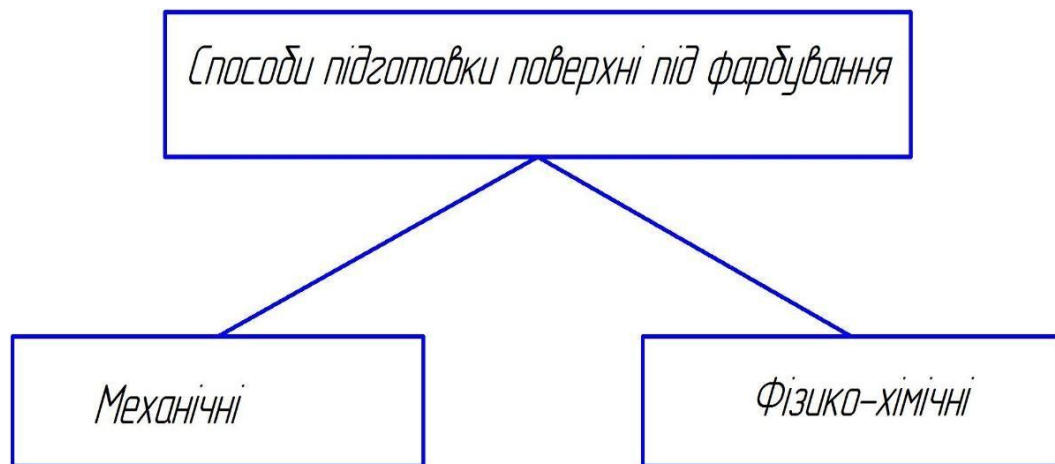


Рисунок 1.5 – Способи обробки поверхонь перед лакофарбовим покриттям

Комплекс заходів, спрямованих на попередження забруднень, не може повністю виключити їх появу. У сільськогосподарській техніці й іншому обладнанні зустрічаються відклади різного походження, тому особливого значення набуває використання ефективних методів очищення під час підготовки

машин до фарбування.

За своїм характером способи підготовки поверхонь, що забезпечують якість фарбування, поділяють на механічні та фізико-хімічні [6, 7] (рис. 1.5). Ці методи не є взаємовиключними і досить часто застосовуються у комплексі. Варіанти їх практичного виконання можуть суттєво відрізнятися залежно від використаних засобів та обладнання. Найчастіше механічний вплив поєднують зі змиванням або розчиненням забруднень.

Механічні методи очищення [8] застосовуються при підготовці металевих поверхонь до фарбування. Вони дозволяють видаляти нагар, накип, окалину, продукти корозії, старі лакофарбові покриття. Серед них можна виокремити ручні способи (шкребки, щітки, йоржі) та механізовані – обробку абразивними матеріалами (кварцовим піском, металевим дробом), очищення обертовими щітками та шліфуванням із використанням абразивних стрічок або кіл.

До переваг механічних методів належать: формування необхідної шорсткості поверхні, що підвищує адгезію лакофарбового покриття, а також відсутність на поверхні солей, які в інших випадках потребують додаткового промивання. Найбільшого поширення набули струминні методи очищення, які поділяються на сухі та водні.

- Піскоструминне очищення здійснюється обробкою поверхонь кварцовим або металевим піском із розміром часток до 0,8 мм. Воно вважається найефективнішим способом видалення корозії, створюючи при цьому рівномірну шорсткість поверхні, що забезпечує кращу адгезію фарбових матеріалів.

- Дробеструминне очищення використовується для видалення старих лакофарбових покриттів і накипу, особливо на зовнішніх поверхнях гільз двигунів. Абразив подається під тиском 5–6 атм, що ефективно очищує поверхні, проте не рекомендовано для деталей із кольорових металів, оскільки частки чорного металу можуть сприяти електрохімічній корозії.

- Очищення кісточковою крихтою є м'якшим методом, що не пошкоджує поверхні кольорових металів та сплавів. Використовуються подрібнені оболонки фруктових кісточок, які є побічним продуктом харчової

промисловості.

– Дробеметне очищення вважається найбільш продуктивним та економічним. Абразивний матеріал подається на поверхню відцентровою силою турбінного колеса.

Попри ефективність, ці методи мають і недоліки: високу вартість, малу продуктивність при ручному використанні, потребу в сортуванні абразиву, значний знос обладнання, а також утворення великої кількості пилу, що потребує захисту органів дихання й зору персоналу. З цієї причини піскоструминні технології заборонені для застосування на відкритих майданчиках [9].

При використанні водних середовищ ефект очищення досягається за рахунок нормальних і дотичних напружень, що руйнують адгезію забруднень до поверхні машини. Найкращих результатів досягають за умови рівномірного розподілу крапель води, реагентів та абразиву у зоні контакту. Висока рівномірність забезпечує стабільну якість очищення [10]. До таких методів належать гідроабразивне очищення та струминне очищення з використанням гідравлічного удару.

Гідроабразивне очищення застосовують для видалення нагару, корозії, старих фарб і лаків. Для цього використовується суміш води з абразивом (кварцовим піском, окисом алюмінію, частинками сухого льоду, карбїду бору чи кремнію). Потік подається під тиском до 10 атм за допомогою стисненого повітря. Недоліки цього способу – низький ККД установок, висока енергоємність, можливість утворення пробок у трубопроводах при перевищенні концентрації абразиву.

Фізико-хімічні методи очищення передбачають дію на поверхню активних середовищ: лужних і кислотних розчинів, органічних розчинників, емульсійних препаратів. Їх використовують у струминних мийних машинах чи у ваннах. Основна проблема полягає у залишкових забрудненнях органічного походження (жирові плівки, полірувальні склади, консерваційні мастила, піт, солі), які значно знижують адгезію покриття.

Для усунення таких відкладів застосовують знежирення: лужними

розчинами (МЛ-51, МЛ-52, МС-6, Лабомид-101 тощо), органічними розчинниками (бензин, уайт-спірит), кислотними розчинами, високотемпературною парою, багатокомпонентними препаратами. Оптимальний режим – температура 70–90 °С і тривалість 5–20 хв. Ці засоби є безпечними щодо пожежо- та вибухонебезпеки, але відзначаються високою вартістю й значними енергозатратами.

Останнім часом значного поширення набуло струминне знежирення, яке забезпечує високу якість за рахунок постійного підведення свіжого розчину й дії струменя. Використання невеликих кількостей ПАР у цьому випадку є ефективнішим, ніж високі концентрації у стаціонарних ваннах.

Попри різноманіття методів очищення і знежирення, багато з них мають суттєві недоліки – застосування токсичних і небезпечних речовин, високу енерго- та матеріаломісткість, негативний вплив на довкілля. Це обумовлює необхідність пошуку нових, більш екологічних та економічних технологій, що позбавлені зазначених вад і забезпечують якісну підготовку поверхонь до фарбування.

1.3. Аналіз конструкцій струминного устаткування застосовуваного для підготовки поверхонь машин до фарбування

Як уже зазначалося у підрозділі 1.2, під час ручного очищення та при використанні механізованого інструменту застосовують різні допоміжні засоби: щітки, дрилі, пневматичні молотки та інші пристрої [6, 7].

Для виконання **піскоструминного очищення** (рис. 1.6) використовують спеціальний пістолет, до розпилювального вузла якого підведено два шланги: один з'єднаний із магістраллю стисненого повітря, інший занурений у ємність з абразивним матеріалом. Потік стисненого повітря, поданий через перший шланг, створює розрідження, завдяки чому абразив засмоктується з бункера й у вигляді струменя розпилюється на поверхню, що очищається.



Рисунок 1.6 – Піскоструминне очищення

Для гідроабразивного очищення застосовуються пістолети конструктивно подібні до піскоструминних. Різниця полягає в тому, що замість сухого піску в бункер завантажують спеціальну гідроабразивну суміш, яка під дією ежекції подається на поверхню виробу. Швидкість руху частинок при цьому нижча, ніж у піскоструминному методі, що зумовлює меншу продуктивність установок.

У піскоструминних системах використовуються сопла різних конструкцій і з різних матеріалів. Найчастіше робоча частина виконується з чавуну або сталі, проте їхнім недоліком є швидкий знос прохідного отвору. Більш довговічними вважаються сопла з мінералокерамічними вставками, які можуть працювати безвідмовно протягом 40 – 60 годин.

Для реалізації піскоструминного та дробеструминного очищення застосовуються як стаціонарні, так і пересувні установки. Стаціонарні установки зазвичай складаються з подаючого апарата для дробу або піску, камери очищення, механізмів підведення виробу під «струмінь» абразиву, системи очищення дробу від сторонніх домішок та пристрою його повторного використання.

Пересувні установки монтуються на візку й передбачають нерухоме положення виробу під час обробки.

Обидва типи установок – стаціонарні та мобільні – можуть працювати за

принципом усмоктування або нагнітання абразивного середовища (рис. 1.7).

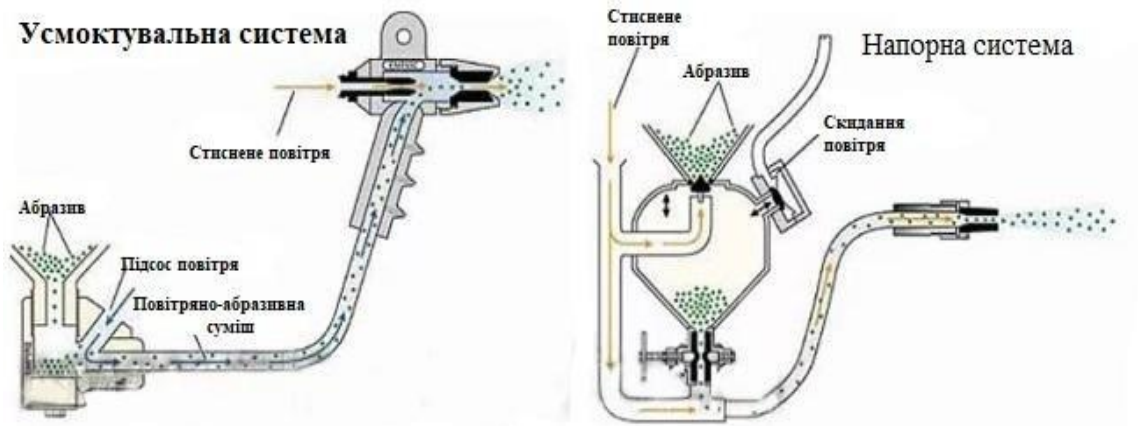


Рисунок 1.7 – Різновиди піскоструминних установок

а – усмоктувальна, б – напорна

Напірна установка. Напірний піскоструминний апарат відзначається простою конструкцією. Основним його елементом є ємність із абразивом. Під дією стисненого повітря (розглядається саме такий варіант):

- абразив у накопичувальному бункері перемішується й подається в приймальну камеру в рівномірно-дисперсному стані;
- сформована суміш захоплюється потоком повітря й через вихідний шланг надходить у пістолет.

Простота схеми забезпечує високу надійність і довговічність роботи обладнання, а також значну продуктивність у поєднанні з можливістю застосування широкого спектра абразивних матеріалів.

Усмоктувальна установка. В установках цього типу подача абразивної суміші відбувається завдяки створенню зони зниженого тиску в забірній області. Принцип дії такий:

- стиснене повітря безпосередньо надходить у пістолет;
- завдяки конструкції розпилювача реалізується ефект Бернуллі, що створює в забірній трубці розрідження;
- абразивна суміш із ємності засмоктується в забірну трубку, далі у вихідний шланг і подається в пістолет.

В апаратах усмоктувального типу (рис. 1.8) струмінь повітря з магістралі,

потрапляючи в змішувальну камеру, утворює розрідження в патрубку. Завдяки ефекту ежекції сюди засмоктується атмосферне повітря, яке транспортує абразивний матеріал із бункера в змішувач. У змішувачі абразив підхоплюється основним потоком повітря та спрямовується в сопло, після чого у вигляді струменя подається на поверхню деталі.



Рисунок 1.7 – Абразивно-струминна установка з усмоктувальним принципом дії

В апаратах нагнітального типу (рис. 1.8) абразивний матеріал із завантажувального бункера через клапан подається в ємність, що перебуває під тиском. Далі дріб під дією стисненого повітря, яке надходить із магістралі по шлангу, переміщується в змішувальну камеру.

Отримана суміш повітря з абразивом транспортується шлангом до сопла й у вигляді спрямованого струменя подається безпосередньо на поверхню, що очищується.



Рисунок 1.8 – Абразивно-струминна установка нагнітального типу з сопловою насадкою

Дробеметне очищення здійснюється в апаратах прохідного або замкненого типу. Принцип роботи полягає в тому, що абразивний матеріал із завантажувальної вирви подається на лопатки розподільного колеса, яке обертається зі швидкістю 2000–3000 об/хв між двома кришками. Далі дріб під дією відцентрової сили викидається через вікно розподільної трубки на лопатки робочого колеса й у вигляді віялоподібного потоку спрямовується на поверхню. Такий механізм забезпечує високу продуктивність процесу очищення.

Основним недоліком більшості дробеметних установок є недостатня зносостійкість лопатей, що вимагає їх частих замін і призводить до підвищення вартості експлуатації обладнання.

Одним із сучасних різновидів абразивно-струминної обробки є застосування гранульованого сухого льоду. Така установка була запропонована Тельновим Н.Ф. і Єрмаком Ю.Г. для очищення поверхонь за допомогою струменя вуглекислоти у твердій фазі.

Процес видалення забруднень гранульованим CO_2 за своєю фізико-хімічною дією відрізняється від традиційних методів із використанням піску, дробу чи кісточкової крихти. Сухий лід має відносно низьку твердість і під час контакту з поверхнею не пошкоджує її. При ударі гранули сублімують, не залишаючи слідів. Водночас частки льоду охолоджують забруднення до температури близько $-194,5^\circ\text{C}$, переводячи його у крихкий стан. Виникаючі термічні напруги перевищують міцність покриття, що призводить до його руйнування.

Крім того, вуглекислота виступає ефективним емульгатором. Проникаючи в товщу забруднення й випаровуючись під дією тепла, вона в комбінації з ударним ефектом гранул забезпечує якісне очищення деталей.

Принцип роботи установки із сухим льодом (рис. 1.9) полягає в наступному: гранули вуглекислоти завантажуються у бункер дробарки, де подрібнюються до необхідного розміру залежно від діаметра отворів решіт. Далі вони надходять у камеру змішування ежекційного апарата й, підхоплені потоком стисненого повітря, з великою швидкістю викидаються через сопло. При ударі об поверхню частки льоду миттєво сублімують, руйнуючи й видаляючи забруднення.

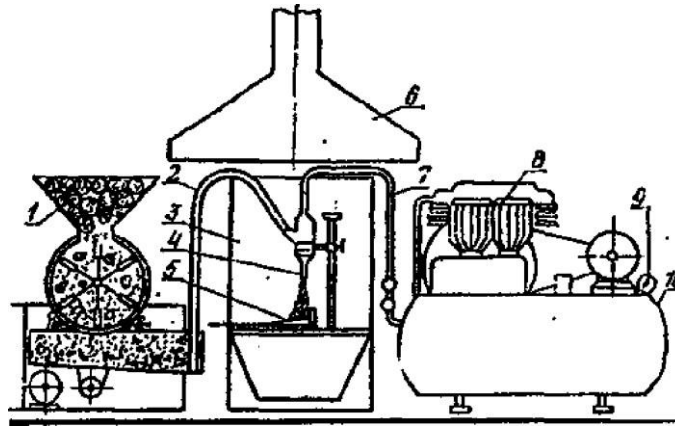


Рисунок 1.9 – Апарат для очищення поверхонь гранульованим сухим льодом

1 – дробарка; 2 – шланг для сухого льоду; 3 – камера; 4 – пневмопістолет; 5 – деталь, що очищається; 6 – витяжний зонт; 7 – лінія подачі стисненого повітря; 8 – компресор; 9 – манометр; 10 – ресивер.

Недоліком цього способу є більша енергоємність установки пов'язана з більшими витратами енергії на підготовку гранул потрібного розміру.

Струминна мийка характеризується великою витратою миючої рідини, що є її основним недоліком. Тому в ремонтному виробництві окрім струминних установок використовують стаціонарні мийні машини.

Найбільше поширення одержали такі установки, як установка моделі М- 205 виробництва СНД або імпорتنний аналог типу MAGIDO L90 (рис. 1.10) [11].

Найбільше поширення одержали такі установки, як установка моделі М- 205 виробництва СНД або імпорتنний аналог типу MAGIDO L90 (рис. 1.10) [11].



Рисунок 1.10 – Мийна установка MAGIDO L90

Таблиця 1.4 – Основні технічні параметри обладнання

Показник	Значення показника
Привод	пневматичний
Тип	стаціонарний з маятниковим рухом платформи
Ємність, л	150
Габаритні розміри установки, мм	3150×2300×2020
Габаритні розміри мийної камери, мм	1570×1100×1200
Об'єм розчину в мийній ванні мЗ	1,5
Маса, кг	950

Дана установка призначена для мийки великогабаритних деталей масою до 500 кг (зокрема блоків циліндрів двигунів ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, ЯМЗ-240, КамАЗ-740, ГАЗ тощо), а також дрібних елементів, які розміщуються в спеціальному кошику. Очищення здійснюється у водяних розчинах технічних або синтетичних мийних засобів при температурі до 80 °С. Обладнання може експлуатуватися лише в приміщеннях, де температура повітря не опускається нижче +5 °С.

У більшості конструкцій мийних камер передбачено наявність поворотного стола з вантажопідйомністю до 1200 кг та частотою обертання близько 1,5 об/хв. Камери обладнані брендспойтами, які подають нагрітий мийний розчин під тиском у вигляді струменя безпосередньо на поверхню деталей, що очищаються. Тривалість обробки варіюється від 2 до 14 хв і визначається видом, концентрацією та температурою мийної рідини.

Мийка зануренням є найпростішим способом очищення вузлів і деталей, що підлягають ремонту. Принцип дії полягає у змочуванні й розчиненні шару забруднень на поверхні виробів. Для цього застосовуються органічні розчинники, їх суміші з емульгаторами, а також лужні та синтетичні мийні засоби [12].

1.4. Характеристика очисних засобів

Різноманіття методів очищення поверхонь машин, складальних вузлів і деталей під час підготовки їх до фарбування дозволяє використовувати широкий спектр мийних засобів, що чинять фізико-хімічний вплив на забруднення. Узагальнена класифікація таких способів подана на рис. 1.11.

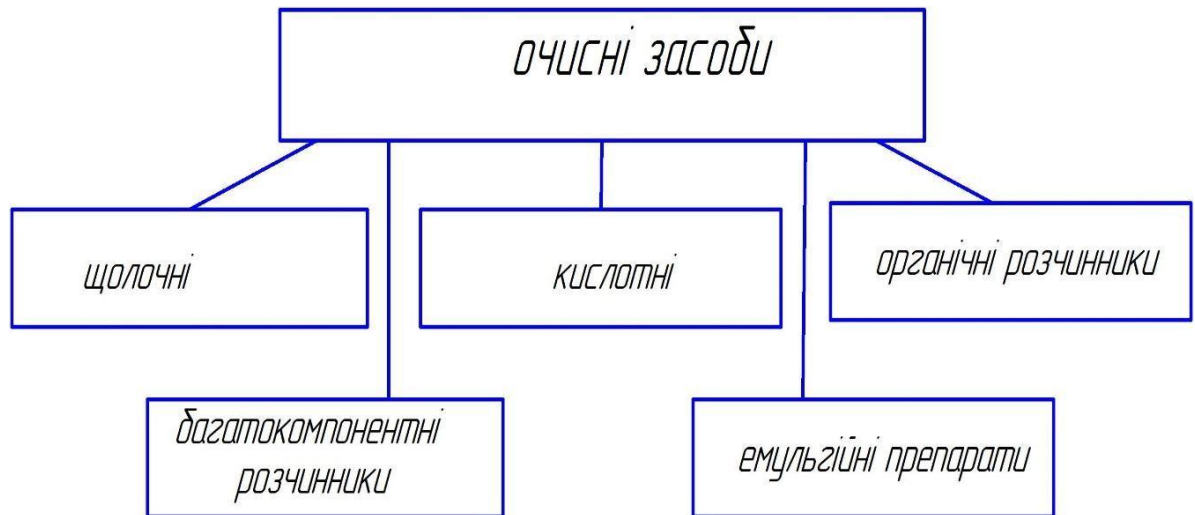


Рисунок 1.11 – Типологія засобів для очищення

Аналіз проведених досліджень показав, що механічні методи очищення поверхонь із використанням абразивних матеріалів (піску, дробу, кісточнової крихти) мають суттєві обмеження. До основних недоліків відносяться швидкий знос обладнання, деформація оброблюваних деталей та недостатньо висока якість очищення поверхонь від забруднень. Натомість серед фізико-хімічних методів найбільш економічним, менш матеріалоємним і відносно безпечним визначено струминний метод. Поєднання механічної та фізико-хімічної дії в єдиному технологічному процесі дозволяє досягти необхідної якості поверхні для подальшого фарбування.

У ремонтному виробництві для очищення машин застосовуються три основні групи мийних засобів (реагентів):

1. Синтетичні мийні засоби (СМЗ).
2. Органічні розчинники (ОР) та розчинно-емульгуючі склади (РЕЗ).
3. Кислотні розчинники (КР).

Найширше застосування отримали саме синтетичні мийні засоби, що являють собою багатокомпонентні суміші. До їх складу входять лужні електроліти (карбонати, силікати, фосфати натрію) та поверхнево-активні речовини (ПАР). Завдяки адсорбції на межі розділу фаз ПАР знижують поверхневий натяг і визначають основні технологічні властивості водних розчинів.

Механізм дії СМЗ полягає у видаленні як рідких, так і твердих забруднень із

поверхонь деталей та переведенні їх у мийний розчин у вигляді емульсій чи дисперсій.

СМЗ випускаються у вигляді сипучих гігроскопічних порошків білого або світло-жовтого кольору. Вони є нетоксичними, негорючими, пожежобезпечними і добре розчиняються у воді. Розчини придатні для очищення деталей як із чорних, так і з кольорових металів і сплавів.

Режими застосування розчинів СМЗ:

- робоча концентрація: 10–20 г/л;
- робоча температура: 70–90 °С;
- тривалість очищення: 10–20 хв.

Вузли та деталі, які підлягають нетривалому зберіганню (до 10–15 діб), не потребують додаткового антикорозійного покриття після мийки, оскільки захисну функцію забезпечують силікати, що входять до складу СМЗ.

У вітчизняній та пострадянській практиці найбільшого поширення набули засоби серій МС та Лабомід. Зокрема:

- МС-6, МС-18, Лабомід-101, Лабомід-102, Темп-100, Темп-101А – для струминних мийних машин;
- Лабомід-203, МС-8, МС-15 – для установок занурювального типу.

Склад найбільш уживаних на сьогодні синтетичних мийних засобів наведений у таблиці 1.5 [13].

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сучасних синтетичних мийних засобів, % мас. [14]

Компоненти мийних засобів	Марка мийних засобів									
	МС-6	МС-8	МС-15	МС-17	Лабомід-101	Лабомід-203	МЛ-51	МЛ-52	Темп-100	Темп-100А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тринатрійфосфат $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	–	–	–	–	–	–	34,5	30	20	20

Кальцинована сода Na_2CO_3	40	38	44- 42	40	50	50	44	50	40,5	40,5
Метасилікат натрію	29	29	28	28	16,5	10	—	—	20	20
Синтанол ДС-10	6	—	—	—	3,5	8	—	—	1,5	1,5
Триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	25	25	22	26	30	30	—	—	15	15
Карбамід	—	—	—	—	—	—	—	—	2,5	2,0
Алкісульфати	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—
Синтамід-5	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
Нітрит натрію	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3
Гексаметилен діамін	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2
Синтамід-510	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—
Оксифос-б	—	—	6-8	—	—	—	—	—	—	—

Засіб «Темп-100» застосовується для очищення різних типів забруднень під час технічного обслуговування й ремонту тракторів, автомобілів, сільськогосподарських машин, їхніх агрегатів та окремих деталей. Він ефективно видаляє масляні та асфальтосмолисті відкладення, залишки СОЖ, продукти окислення, сажисто-вуглецеві нашарування, а також атмосферні й експлуатаційні забруднення. Засіб використовується у струминних мийних установках для знежирення деталей і вузлів, а також очищення сталевих, чавунних, алюмінієвих, нікельованих, лакофарбових, гумових та пластмасових поверхонь перед складанням, нанесенням лакофарбових, гальванічних чи інших покриттів. Крім того, він придатний для розконсервації чорних і кольорових металів.

Основні властивості засобу «Темп-100»:

- придатний для обробки чорних і кольорових металів та їхніх сплавів;
- особливо ефективний для очищення алюмінієвих поверхонь;
- характеризується низьким піноутворенням;
- забезпечує антикорозійний захист у період міжопераційного

зберігання;

- має добру деемульгуючу здатність;
- є нетоксичним, пожежобезпечним і біологічно розкладається.

Синтетичний мийний засіб «Темп» випускається в трьох модифікаціях: Темп-100Д марка А, Темп-100Д марка Б та Темп-200Д. Останній варіант містить підвищену кількість УПАВ-ШИ, що забезпечує вищий рівень очищення особливо забруднених поверхонь.

Виходячи з наведеного аналізу, можна зробити висновок, що для вдосконалення технології підготовки сільськогосподарської техніки до фарбування перспективним є використання пристроїв, які реалізують енергію гідравлічного удару рідини з можливістю регулювання її тиску, а також застосування двофазних сумішей, що формуються у спеціальних універсальних соплових системах.

1.5 Постановка проблеми й завдання дослідження

На основі вивчення літературних джерел і результатів попередніх досліджень встановлено, що при наявності різних типів жирутворючих забруднень, які можна поділити на сім основних груп (рослинні залишки, технологічні відкладення, маслянисто-брудові нашарування, залишки пестицидів, продукти корозії, старі лакофарбові покриття, жирові плівки з різним ступенем міцності), ключовим чинником ефективності є правильний добір методу та способу знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки в процесі підготовки до фарбування.

Залежно від щільності, усі жирові забруднення можна умовно розділити на три групи: слабозв'язані ($P \sim 3\text{--}10$ МПа), середньозв'язані ($P \sim 10\text{--}25$ МПа) і сильнозв'язані ($P \sim 25\text{--}60$ МПа). Вони розподіляються по поверхні нерівномірно: близько 60% займають слабозв'язані, 30% — середні та лише 10% — сильнозв'язані. Однак трудомісткість їх видалення істотно різниться й становить відповідно 10%, 20% і 40%. Це вимагає забезпечення максимально повного очищення при мінімальних витратах праці й енергії, що можливо лише при виборі оптимального технологічного процесу.

Аналіз існуючих методів підготовки поверхонь до фарбування показав, що застосування хімічних реагентів у вигляді розчинів (органічних, лужних, кислотних), а також різних мийних засобів суттєво підвищує енергетичні й трудові витрати, створює небезпечні умови для працівників і підвищує екологічні ризики при потраплянні відходів у навколишнє середовище. Тому актуальною є проблема зменшення обсягів використання реагентів або повної відмови від них завдяки посиленню механічного впливу струменя на забруднення.

Для ефективного видалення рослинних залишків, маслянисто-брудових відкладень, старих фарбових покриттів, продуктів корозії, технологічних забруднень, залишків отрутохімікатів і жирових плівок доцільно застосовувати енергію гідравлічного удару струменя рідини. Особливу перспективу має використання двофазних сумішей, що формуються у соплах, де тверда фаза представлена гранулами сухого льоду. Цей спосіб поєднує інтенсивний механічний і фізико-хімічний вплив та вимагає подальших досліджень.

Видалення жирових нашарувань із зовнішніх поверхонь сільськогосподарської техніки під час підготовки до фарбування можна забезпечити завдяки застосуванню компактних установок із соплами з регульованими вихідними каналами, що формують високонапірні струмені.

Поставлені завдання дослідження включають:

- розробку теоретичних основ проектування сопла установки та вивчення впливу струменя на забруднені поверхні;
- визначення оптимальної потужності установки;
- обґрунтування параметрів і режимів роботи сопла для максимальної ефективності гранульованого потоку та створення конструктивно-технологічної схеми пристрою;
- розробку технології підготовки машин до фарбування з використанням додаткової енергії сухого льоду;
- визначення ефективності застосування технології очищення та установки для знежирення поверхонь за допомогою гранульованої вуглекислоти;
- проведення заходів із охорони праці;

- здійснення техніко-економічної оцінки запропонованої технології.

2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Принципова схема експериментального стенда - установки для очищення й знежирення техніки при підготовці її до фарбування

Для знежирення зовнішніх поверхонь техніки перед фарбуванням запропоновано принципову схему установки.

Щоб виконати експериментальні дослідження, необхідно створити стенд, який дає змогу регулювати параметри через конструкцію робочого органа та забезпечувати підтримання й зміну режимів у межах, що впливають на якість знежирення.

Склад експериментального стенда:

- щит живлення – 5;
- насос високого тиску – 2;
- ємність із водою – 12;
- камера знежирення – 11 із установленим соплом 6, яке має кількісне та якісне регулювання потоку.

Електроживлення і гідравлічна схема. Стенд під'єднується до мережі 220 В через щит живлення 5 і пусковий пристрій 4 на електропривод 3, що приводить у дію насос високого тиску 2. Вода з ємності 12 через підвідну магістраль 18, насос 2 та напірну магістраль 17 подається до камери знежирення 11.

Формування водо-гранульованого струменя. Під тиском, створюваним насосом 2, у соплі 6 організується підсмоктування CO_2 з балона та насичення ним води у змішувальній камері сопла. Утворена водо-гранульована суміш спрямовується струменем на поверхню зразка 10, закріпленого в камері знежирення за допомогою притискних пластин. Відстань до зразка регулюється затискачами 7 і фіксується лінійкою 9.

Вимірювальне оснащення. Тиск дії струменя на поверхню визначається динамометром 14, установленим із тильного боку зразка в камері знежирення. Витрату води на виході із сопла контролюють витратоміром 13. Температуру

робочої рідини підтримують на рівні кімнатної (18–20 °С) і фіксують термометром.

Скидання та підживлення системи. Після відключення подачі до сопла скидання води здійснюється через пропускний клапан 16, що відкриває пропускну магістраль 15. Наповнення ємності 12 проводиться перемиканням того ж клапана 16 та під'єднанням усмоктувальної лінії до водогінної мережі: вода проходить через усмоктувальну магістраль, насос, напірну лінію, далі через пропускний клапан і пропускну магістраль повертається в ємність.

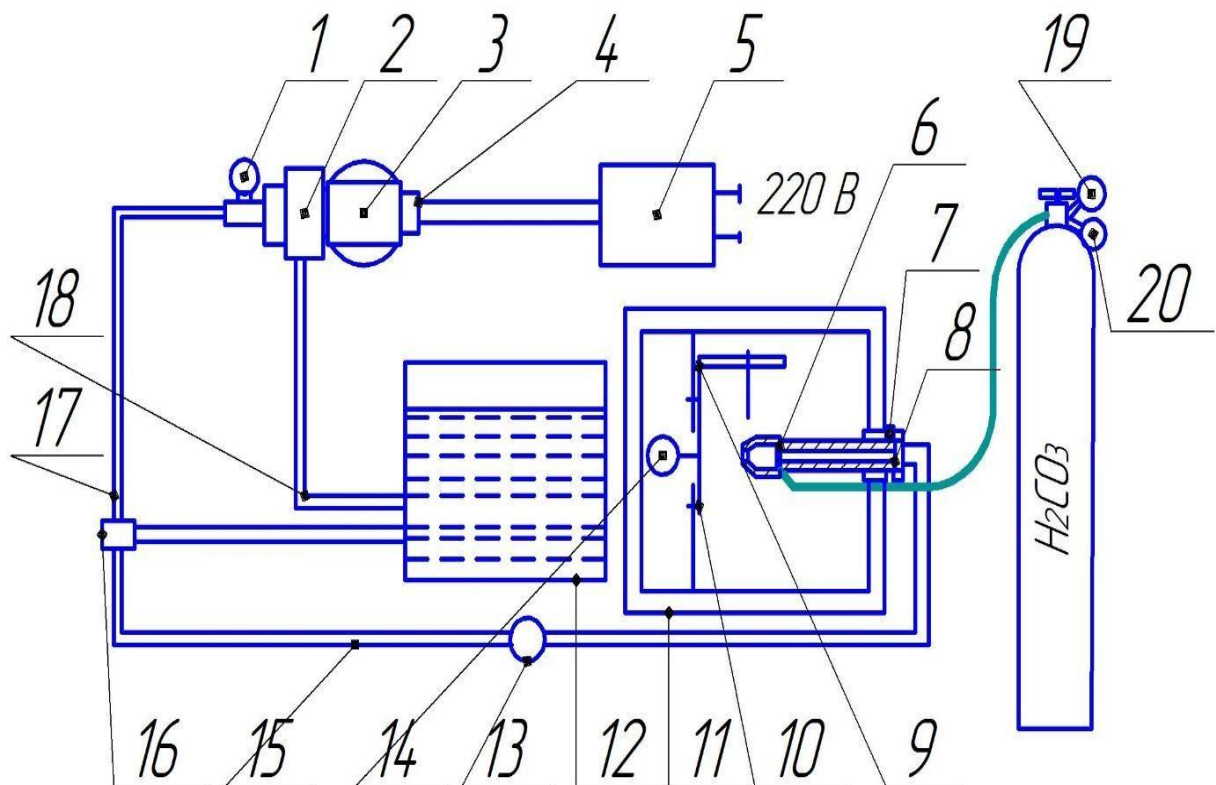


Рисунок 2.1 – Структурна схема стенда установки з очищення і знежирення під фарбування

1 – манометр, 2 – насос, 3 – електропривод, 4 – пусковий пристрій - електричний щиток, 6 – сопло, 7 – затискачі, 8 – перехідна трубка, 9 – лінійка, 10 – пластина, 11 – камера для знежирення, 12 – бак з миючою рідиною, 13 – витратомір, 14 – динамометр, 15 – пропускну магістраль, 16 – пропускний клапан, 17 – напірна магістраль, 18 – підвідна магістраль, 19 – манометр газовий, 20 – витратомір газовий.

Регулювання тиску води, що подається в напірну магістраль 15, здійснюється за допомогою спеціального регулятора з налаштовувальним

механізмом, розташованого безпосередньо на насосі високого тиску.

Величина тиску води контролюється за допомогою манометра 1. Тиск подачі вуглекислоти визначається газовим манометром 19, а витрату робочої рідини фіксують за допомогою витратоміра 20.

2.2. Методика розрахунку мийних струминних установок

2.2.1 Визначення витрати мийної рідини

Струминні мийні установки можуть бути оснащені однією або двома мийними рамками. У деяких конструкціях додатково передбачаються рамки для змочування й ополіскування або лише для ополіскування.

У допоміжних рамках тиск води зазвичай не перевищує 0,25...0,5 МПа, а витрата рідини є незначною. Водночас у основних мийних рамках тиск значно вищий, оскільки механізм видалення забруднень базується на механічному руйнуванні шару відкладень ударом рухомої рідини по поверхні.

Видалення забруднень відбувається лише тоді, коли величина гідродинамічного напору P_x , що виникає при зіткненні струменя з поверхнею, перевищує максимальну силу зчеплення між частинками забруднень F_M .

Отже, основна умова успішного видалення забруднень **формулюється за формулами 2.1 та 2.2.**

Обчислимо силу адгезії F (Н/м²) між окремими частинками за формулою 2.2.

D – діаметр частинок забруднень, м;

W – їх вологість.

Середній розмір часток забруднення становить: для легкових автомобілів – $10...30 \cdot 10^{-6}$ м, для вантажних машин і автобусів – $25...300 \cdot 10^{-6}$ м. Для практичних розрахунків приймається значення $D=20...80 \cdot 10^{-6}$ м.

Аналіз рівнянь (2.1) і (2.2) показує, що сила зчеплення може бути зменшена двома шляхами:

- шляхом підвищення вологості шару забруднень;
- за рахунок зменшення поверхневого натягу рідини.

Експериментальні спостереження процесу мийки свідчать, що при

постійному зволоженні автомобіля вологість WWW не перевищує 0,2 (20%), що відповідає граничній кількості води, здатної утримуватися у шарі забруднень.

Знизити поверхневий натяг σ можна за допомогою підігріву води або застосування синтетичних мийних засобів (СМЗ). Так, використання СМЗ «Прогрес» дозволяє зменшити поверхневий натяг до $\sigma=0,034$ Н/м.

Гідродинамічний напір P_x (Па) на відстані x від насадки визначається за формулою 2.3

де ρ – густина рідини у струмені, кг/м³;

V_x^2 – швидкість потоку при зіткненні з поверхнею, м/с;

α – кут падіння струменя на поверхню, град.

Швидкість потоку в точці на відстані x від насадки V_x (м/с) приймаємо рівною початковій швидкості струменя за формулою 2.4.

де ϕ – коефіцієнт швидкості, величина якого залежить від форми та профілю сопла (див. табл. 1.1);

P_n – тиск перед насадкою, Па.

Для розрахунків приймаємо $P_n=1,0 \cdot 10^6$ Па. Швидкість потоку на виході з насадки може змінюватися в межах 30...90 м/с.

Витрату рідини через насадку (тобто подачу насоса) Q , м³/с, визначають за формулою 2.5.

де f – коефіцієнт запасу витрати (для розрахунків приймається $f=1,2$);

d_n^2 – діаметр сопла насадки, м;

n – кількість насадок;

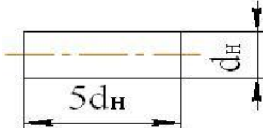
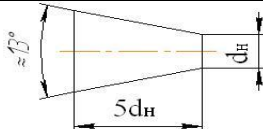
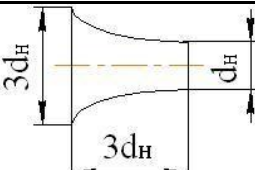
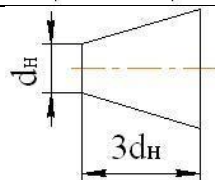
μ – коефіцієнт витрати.

Із формули (2.5) випливає, що раціональніше застосовувати насадки з меншим діаметром. Це пояснюється тим, що при незмінній витраті зменшення площі перерізу сопла у n разів призводить до відповідного зростання швидкості потоку V_x у n разів, тоді як гідродинамічний тиск P_x збільшується пропорційно n^2 .

На практиці діаметр насадок вибирають у межах $(2-6) \cdot 10^{-3}$ м. Менші розміри небажані через швидке засмічення каналу, а надто тонкий струмінь характеризується низькою стійкістю під час руху в повітрі та швидко

розпадається.

Таблиця 3.1 – Характеристика насадок

Тип насадки	Профіль сопла	Коефіцієнт витрати μ	Коефіцієнт швидкості ϕ
Циліндричний		0,82	0,82
Конічний		0,940	0,963
Коноїдальний		0,980	0,980
Конічний розбіжний		0,450	0,775

Найбільш ефективною формою насадок вважається коноїдальна, однак через технологічну складність їх виготовлення на практиці значно частіше застосовують конічні або циліндричні варіанти.

Кількість сопел у мийній рамці визначається довжиною периметра автомобіля, який підлягає очищенню, причому оптимальна відстань між сусідніми насадками приймається рівною 0,5 м.

2.2.2. Визначення необхідного напору насосної установки

Підбір насосного обладнання здійснюється з урахуванням його сумісної роботи з усією системою трубопроводів.

Необхідний напір насоса P , Па, для запроектованої установки визначається за залежністю 2.6.

де $\sum \Delta P$ – загальні втрати тиску в трубопровідній системі установки, Па;

P_c – статичний напір, Па;

P_n – тиск у насадці, що відповідає динамічному напору, Па.

Статичний напір визначається за формулою 2.7.

де $H_{\text{г}}$ – висота підйому робочої рідини, м;

g – прискорення вільного падіння, $g=9,8 \text{ м/с}^2$;

$\rho_{\text{н}}$ – густина рідини, кг/м^3 .

Висоту підйому робочої рідини визначаємо за формулою 2.8.

де $h_{\text{в}}$ – висота всмоктування, м;

$h_{\text{н}}$ – висота нагнітання, м.

Базова розрахункова схема наведена на рисунку 2.2.

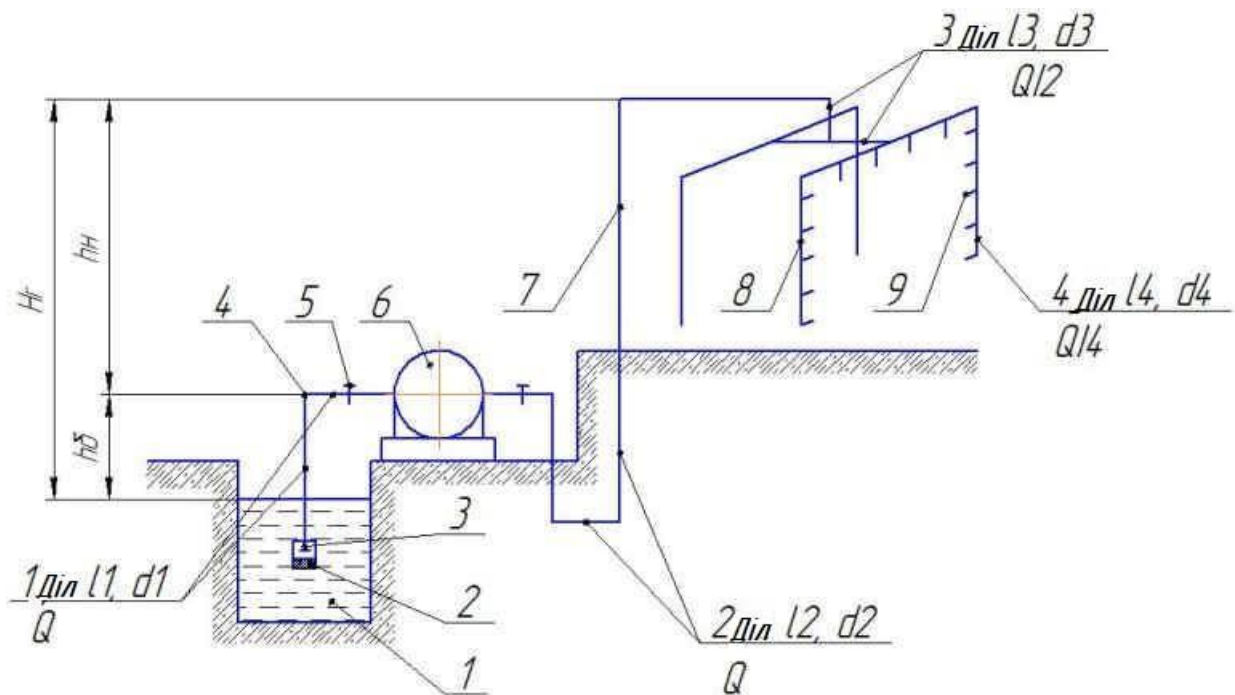


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема насосної установки

1 – приймальний колодязь; 2 – захисна сітка; 3 – зворотний (всмоктувальний) клапан; 4 – колінчастий відвід; 5 – засувка; 6 – насосний агрегат; 7 – система трубопроводів; 8 – мийна рамка; 9 – насадка-розпилювач.

Для кожної ділянки трубопроводу (l_1, l_2, l_3, l_4) гідравлічні втрати напору ΔP_i (Па) обчислюються окремо за відповідним рівнянням 2.9.

де $\sum E$ – загальна сума коефіцієнтів місцевих гідравлічних опорів на відрізку трубопроводу довжиною l при діаметрі труби d ;

λ – коефіцієнт гідравлічних втрат від тертя;

ρ – густина робочої рідини, кг/м^3 .

Для спрощення практичних розрахунків можна приймати такі орієнтовні

значення: для сітки $E=9,7$, для всмоктувального клапана – $7,0$, для засувки – $5,5$ для коліна – $2,0$.

Коефіцієнт опору вихідного отвору та насадки позначається як ΣE та визначається за формулою 2.10.

де φ – коефіцієнт швидкості (див. табл. 2.1).

Для сталевих водопровідних труб значення коефіцієнта гідравлічного тертя λ визначається залежно від числа Рейнольдса Re .

Останнє розраховується за формулою 2.11.

де V – швидкість потоку на відповідній ділянці трубопроводу (l_1, l_2, l_3, l_4) , м/с;

d – діаметр труби на цих ділянках (l_1, l_2, l_3, l_4) , м. Кінематична в'язкість води приймається $\nu \approx 10^{-6}$ м²/с. На кожній із ділянок трубопроводу (l_1, l_2, l_3, l_4) , швидкість рідини вважаємо однаковою та визначається за формулою 2.12.

де Q – витрата потоку на певній ділянці трубопроводу (l_1, l_2, l_3, l_4) , м³/с;

d – діаметр труби на відповідних ділянках (l_1, l_2, l_3, l_4) , м.

Якщо число Рейнольдса $Re < 2320$, то рух рідини вважається ламінарним, і коефіцієнт гідравлічних втрат на тертя λ обчислюється за спеціальним виразом 2.13.

При числі Рейнольдса $Re > 2320$ режим руху рідини переходить у турбулентний. У цьому випадку коефіцієнт гідравлічних втрат на тертя λ визначається за відповідним аналітичним виразом 2.14.

У разі послідовного з'єднання трубопроводів (наприклад, ділянок l_1 та l_2) загальні втрати напору ΔP_{Σ} визначаються як сума втрат тиску на кожній із ділянок окремо, за формулою 2.15.

де ΔP_{Σ} – загальні втрати напору в розгалуженій системі трубопроводів, Па;

ΔP_i – втрати напору на одній із послідовних ділянок трубопроводу, Па.

Для паралельного з'єднання однакових трубопроводів (наприклад, l_3 і l_4) або насадок сумарні втрати напору ΔP_{Σ} дорівнюють втратам тиску на окремій ділянці та визначається за формулою 2.16.

де ΔP_{Σ} – загальні втрати напору в розгалуженому трубопроводі, Па;

ΔP_i – втрати напору в одному з паралельних відгалужень, Па.

У випадку паралельного з'єднання ідентичних трубопроводів (наприклад, ділянок l_3 та l_4) сумарні втрати напору будуть відповідати втратам на одній окремій ділянці та визначається за формулою 2.17.

де Q_i – витрата рідини через один із паралельно з'єднаних трубопроводів, $\text{м}^3/\text{с}$;

i – число паралельних гілок.

Далі, використовуючи значення напору P та сумарної подачі Q , за каталогами [15, 16, 17] здійснюють підбір відповідної марки насоса.

2.2.3 Визначення потужності електродвигуна

Потужність, необхідна для приводу насоса N , Вт, обчислюється за формулою 2.18 [18].

де η_n – коефіцієнт корисної дії насоса, приймаємо $\eta_n=0,5$;

η_e – ККД приводу від електродвигуна, $\eta_e=0,95$;

Q – сумарна витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$;

P – напір, який створює насос, Па.

Щоб запобігти виникненню кавітаційних процесів, насос рекомендується розташовувати якомога нижче відносно рівня води у всмоктувальному колодязі.

2.3. Висновки

Створено схему експериментальної установки для очищення поверхонь сухим льодом. Конструкція передбачає можливість підключення балона з вуглекислотою та формування гранул льоду безпосередньо в самій установці.

Також розроблено методику розрахунку сопла струминної мийної установки із визначенням усіх необхідних параметрів, що забезпечують її ефективну роботу.

3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування напрямків удосконалення очисних операцій

У роботі запропоновано два основні напрями вдосконалення мийно-очисних операцій:

1. Використання як очисної технології кріобластингу (обробка льодом).
2. Застосування в установках оптимальних розчинів мийних речовин, що дозволить підвищити якість очищення та знежирення деталей у процесі підготовки до фарбування чи нанесення захисних покриттів.

Кріогенний бластинг є сучасним і екологічно безпечним методом очищення різноманітних поверхонь без шкоди для здоров'я людини та навколишнього середовища [4, 19].

Льодоструминне очищення подібне до піскоструминного чи дробеструминного, проте абразивним матеріалом тут виступають гранули льоду розміром 2...5 мм. Існують два способи їх одержання:

- дроблення брил льоду до необхідної фракції;
- розпилення води у спеціальній камері з рідким азотом.

Транспортування гранул на поверхню, що очищається, здійснюється за допомогою металевих машин.

Очищення сухим льодом відрізняється від льодоструминного тим, що гранули CO_2 при контакті з деталлю викликають її різке охолодження. За рахунок різниці коефіцієнтів термічного розширення матеріалу деталі та шару забруднень останні стають крихкими й руйнуються. Подальше їх видалення відбувається механічним способом.

Порівняльний аналіз методів очищення подано на рис. 3.1.

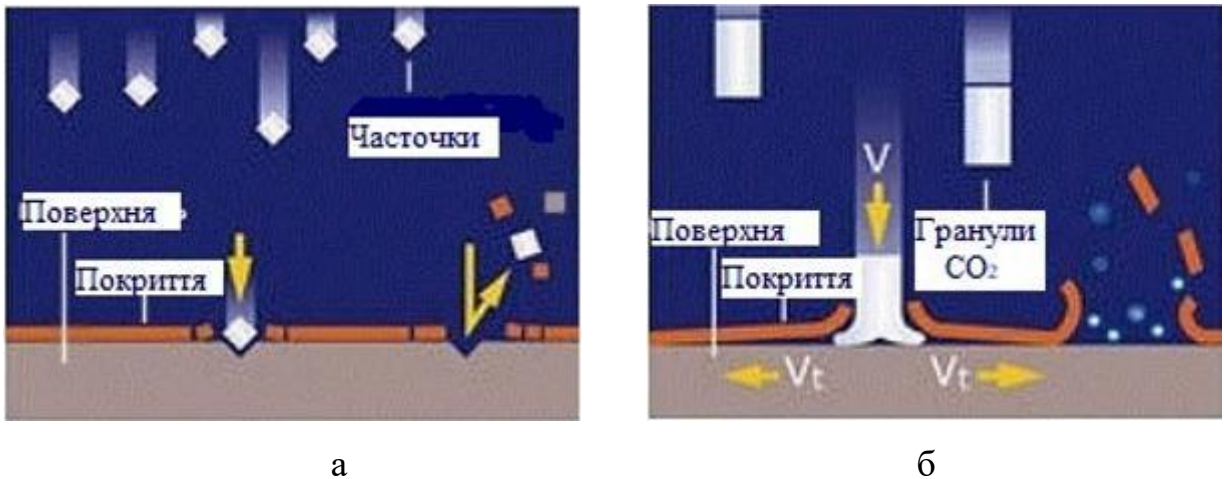


Рисунок 3.1 – Аналіз та зіставлення методів очищення

а – абразивна очистка, б – очищення льодом (криобластинг)

Із рисунка видно, що під час очищення абразивними матеріалами (рис. 3.1а) відбувається пошкодження поверхні: чим м'якший матеріал деталі, тим інтенсивнішим є її травмування.

При обробці льодом (рис. 3.2б) гранули з температурою -79°C ударяються об поверхню, проникають під шар забруднень, після чого різко збільшуються в об'ємі внаслідок сублімації, розширюючись до 700 разів. Це створює ефект локального «вибуху», що дозволяє ефективно відокремити та видалити бруд, не пошкоджуючи основу.

Принцип дії очищення сухим льодом показаний на рис. 3.2.

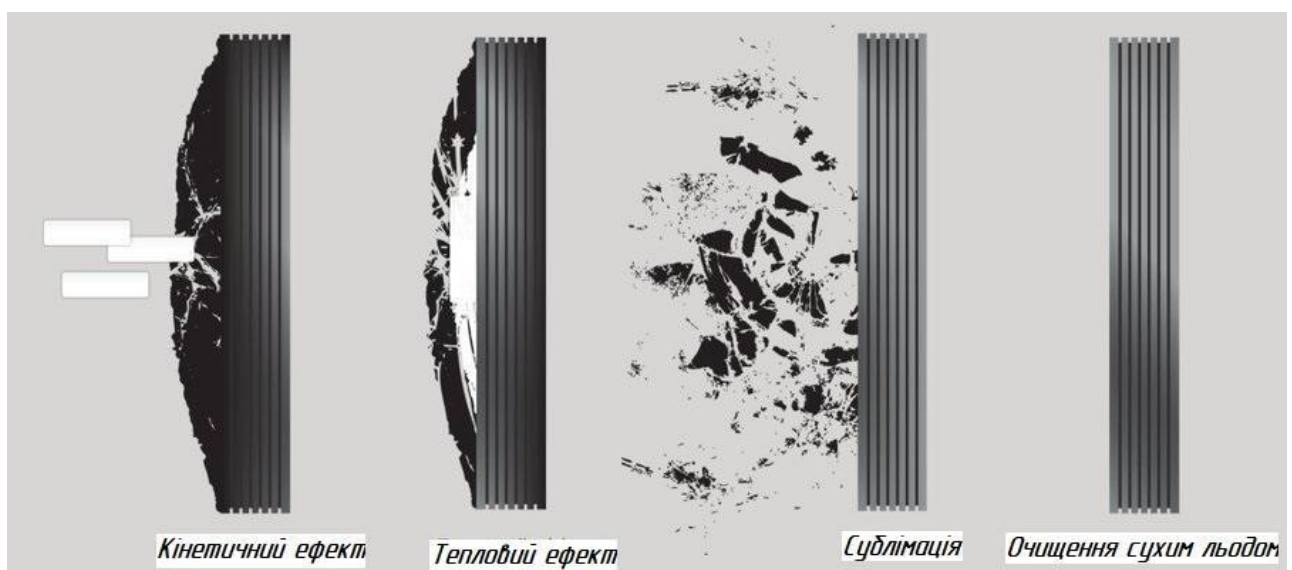


Рисунок 3.2 – Процес очищення поверхонь сухим льодом

Основні механізми очищення сухим льодом:

- Термічний ефект: різке охолодження поверхні до $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ робить шар забруднень крихким. Чим вища температура деталі до обробки, тим сильніше проявляється цей ефект.
- Механічна дія: гранули сухого льоду з великою швидкістю (понад 150 м/с) інтенсивно вдаряють по поверхні, руйнуючи структуру відкладень.
- Сублімаційний ефект: проникнувши в мікротріщини шару забруднень, гранули сублімують із різким розширенням об'єму (до 700 разів), що призводить до відшарування й відриву бруду від поверхні.

Переваги струминного очищення сухим льодом:

- Відсутність вологи: CO_2 переходить у газоподібний стан і розчиняється в атмосфері, виключаючи ризик корозії та скорочуючи простої обладнання.
- Дбайливий вплив на основу: завдяки низькій абразивності гранул поверхня не зазнає ерозії чи зносу.
- Можливість без демонтажу: очищення проводиться без розбирання вузлів та агрегатів, що суттєво скорочує час обслуговування.
- Екологічність: відсутність хімікатів, залишків абразивів і стічних вод робить метод безпечним для довкілля, економічно вигідним і технологічно зручним.

3.2. Обґрунтування об'єкта досліджень

Як об'єкти дослідження та джерела вихідної інформації були обрані серійні машини: трактор «Білорусь» МТЗ-80 і вантажні бортові автомобілі ГАЗ-3309 та ГАЗ-3307.

Вибір саме цих моделей обумовлений їх широким застосуванням у сільському господарстві. Вони мають велику кількість вузлів та агрегатів, типовими за конструкцією, технологією виготовлення та матеріалами для більшості мобільних і сільськогосподарських машин.

З урахуванням того, що обсяг зібраної у ході досліджень інформації про надійність колісних і гусеничних тракторів та автомобілів мав забезпечити отримання результатів із довірчою ймовірністю 0,9, коефіцієнтом варіації 0,1 та

відносною похибкою 0,1, для спостережень відбиралися не менше трьох одиниць кожної марки техніки (колісного трактора й автомобіля) для кожного досліджуваного варіанта очищення [20].

3.3. Методика лабораторних досліджень

Лабораторні дослідження були проведені з метою підтвердження теоретичних положень щодо можливості впливу енергії водо-гранульованого струменя на якість знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки при підготовці їх до фарбування, що досягається за допомогою спеціально розробленого сопла.

Основним завданням досліджень стало визначення оптимальних параметрів і режимів роботи експериментальної установки водо-гранульованого знежирення поверхонь техніки перед фарбуванням, а також розробка конструкції механізованого пристрою, здатного реалізувати цей метод.

Для практичної частини випробувань застосовувалася експериментальна установка (рис. 3.3), що використовується підприємством ТОВ «Чистий дім», яке спеціалізується на очищенні деталей, машин, побутових приладів та будівельних конструкцій із застосуванням технології сухого льоду.





Рисунок 3.3 – Експериментальна установка для знежирення та очищення зовнішніх поверхонь техніки при підготовці до фарбування

Зміна тиску та ступеня насичення води вуглекислотою відбувається безпосередньо в соплі — робочому органі установки. Для моделювання процесу було виготовлено спеціальне сопло за методикою [21], у якому здійснювалася заміна насадок з метою регулювання розміру гранул.

Конструктивно сопло складається з корпусу 1, в якому виконано наскрізний канал 2. Корпус утворений двома частинами — верхньою та нижньою. У нижній частині, що має форму усіченого конуса, під кутом до осі розташовано два пази 3, де знаходяться повзуни 4 з гвинтовою нарізкою на зовнішній поверхні. Вони з'єднані з регулювальним кільцем 5, яке має внутрішнє різьблення та зовнішні насічки для запобігання ковзанню при ручному обертанні. Верхня частина повзунів виконана у вигляді радіальних виступів 6.

Регулювальне кільце фіксується стопорним кільцем 7. До основи корпусу за допомогою болтів 8 прикріплюється втулка 9 з різьбленням на кінці, що дозволяє з'єднувати сопло з мийною установкою. Верхня частина корпусу з'єднана з нижньою за допомогою болтів 10 і виконана у вигляді циліндричної головки з внутрішнім конусним профілем. У її верхній частині передбачено отвір 11, а зовні головка обладнана різьбленням.

У порожнині головки розташована камера 12 з впускним отвором 13 на боковій поверхні та вісьмома випускними отворами 14, що виведені у кришку 15, закріплену болтами 16. У центрі кришки виконано отвір 17, який збігається з вершиною внутрішнього конуса. На різьблення головки нагвинчується змішувальна камера 18, виконана у вигляді циліндра з конусною верхівкою, у якій передбачено центральний отвір 19.

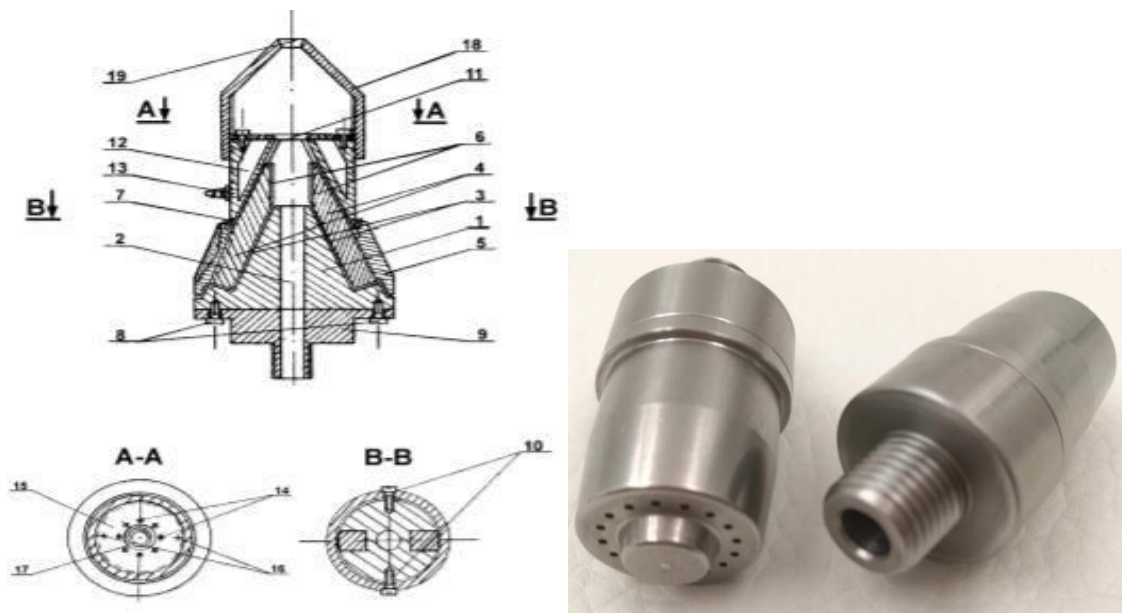


Рисунок 3.4. – Спеціалізоване універсальне сопло (корисна розробка № 25477)

1 – тіло корпусу; 2 – наскрізний канал; 3 - пази; 4 – повзуни; 5 – регульовальне кільце; 6 – радіальний отвір повзуна; 7 – стопорне кільце; 8 – болти кріплення втулки; 9 – втулка; 10 – болти кріплення нижньої й верхньої частин сопла; 11 – отвір; 12 – газова камера; 13 – впускний отвір газової камери; 14 – випускні отвори газової камери; 15 – кришка; 16 – болти кріплення кришки; 17 – центральний отвір кришки; 18 – змішувальна камера; 19 – центральний отвір змішувальної камери

Функціонування сопла відбувається таким чином: у початковій позиції повзуни 4 максимально розведені та знаходяться в нижньому положенні, при цьому змішувальна камера 18 загвинчена настільки, щоб забезпечувати найбільший її внутрішній об'єм.

Під час подачі рідини по каналу 2 вода потрапляє у порожнину між повзунами. При обертанні регульовального кільця 5, яке через гвинтове з'єднання

змінює положення повзунів, здійснюється регулювання тиску потоку: від максимального, що відповідає діаметру наскрізного каналу корпусу, до мінімального, який визначається розміром циліндричного отвору, утвореного зведеними повзунами.



Рисунок 3.5 – Елементи сопла

1 – набір кришок з отворами різного діаметра; 2 – ущільнювальне кільце; 3 – газовий штуцер; 4 – тіло сопла; 5 – змішувальна камера.

Далі рідина проходить крізь отвір у вершині конуса 11 та центральний отвір 17 кришки, після чого надходить у змішувальну камеру 18, де формується дрібнодисперсний (пилоподібний) струмінь.

Паралельно з водою вуглекислота через впускний канал 13 спрямовується в камеру 12, де частково розширюється та охолоджується, а потім через випускні отвори 14 у кришці 15 подається до змішувальної камери 18.

Усередині камери вуглекислота продовжує розширюватися, знижує температуру й змішується з потоком води, внаслідок чого формується зародження кристалів вуглекислоти. Інтенсивність цього процесу та розмір гранул регулюється шляхом зміни об'єму камери – для цього її переміщують по різьбі головки 11.

Сформована водо-вуглекислотна суміш у кристалізованому стані під дією потоку води викидається через вихідний отвір 20 на поверхню зразка.

Лабораторні випробування проводилися у приміщенні СТО на мініатюрній дослідній установці (рис. 3.7).

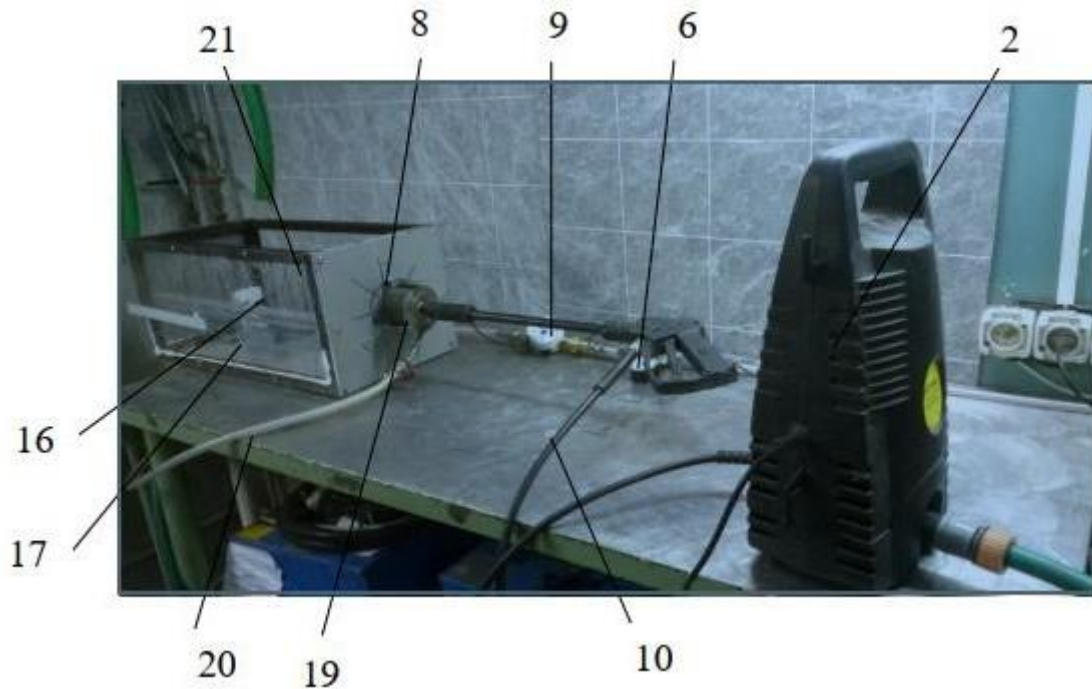


Рисунок 3.7 – Лабораторна установка

1 – манометр водяний, 2 – насос водяний, 3 – електродвигун, 4 – електрощит, 5 – насос повітряний, 6 – манометр повітряний, 7 – сопло, 8 – тримач, 9 – витратомір повітряний, 10 – напірна магістраль, 11 – запобіжний клапан, 12 – пропускна магістраль, 13 – витратомір води, 14 – ємність для води, 15 – динамометр, 16 – зразок, 17 – лінійка, 18 – мийна камера, 19 – повітряна камера, 20 – повітряна магістраль 2 – насоса високого тиску, 8 – тримач, 9 – витратомір повітряний, 20 – повітряна магістраль, 6 – манометр повітряний, 10 – напірна магістраль, 16 – зразок, 17 – лінійка, 18 – мийна камера й установленим у ній обертовим віяловим соплом 7, 19 – повітряна камера

У дослідженнях як зразки застосовувалися матеріали різної форми розміром до 0,04 м, виготовлені зі сталі марки Ст.3. Частина зразків мала захисне лакофарбове покриття згідно з вимогами ГОСТ 5282-82, інші – були без покриття. Під час проведення експериментів використовувалося сучасне вимірювальне обладнання та прилади, які пройшли державну перевірку та необхідну калібровку, що забезпечувало достовірність отриманих результатів.

3.4. Методика польових досліджень

Метою проведення польових випробувань було підтвердження результатів теоретичних та лабораторних досліджень, а також удосконаленої технології знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки перед фарбуванням.

Основні завдання польових експериментів полягали у:

- визначенні експлуатаційних характеристик розробленого механізованого засобу для знежирення поверхонь машин;
- відпрацюванні технології очищення із застосуванням енергії водо-гранульованого струменя.

Дослідження проводилися на машинних дворах господарств Дніпропетровської області. У ході експериментів випробовувалися два режими роботи установки:

- «м'який»,
- «жорсткий».

Як об'єкти для досліджень обрано колісний трактор МТЗ-80 та бортовий автомобіль ГАЗ-3309. Вибір саме цих моделей зумовлений їх широким застосуванням у сільському господарстві, а також тим, що під час експлуатації на їхніх поверхнях утворюються всі типи жирутворюючих забруднень, характеристику яких подано у таблиці 3.3.

Коротка характеристика режимів очищення наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.3 – Порівняльні характеристики режимів знежирення машин

Найменування параметра	Твердий	М'який
1. Тип суміші	вода + вуглекислота	вода + вуглекислота
2. Ступінь насичення води вуглекислотою	8,0	8,3
2. Відстань від сопла до поверхні, мм	42	77
3. Тиск подаваної суміші, МПа	8,0	8,6
4. Діаметр випускного отвору сопла, мм	6,7	7,2

Для отримання результатів із довірчою ймовірністю 0,9 при коефіцієнті варіації θ та відносній похибці ϵ , випробування проводилися на трьох зразках кожної марки сільськогосподарської техніки для кожного варіанта очищення [20].

Таблиця 3.3 – Особливості жирових і жиромістких забруднень зовнішніх поверхонь машин

№ п/п	Класифікація забруднень	Вид забруднення	Зв'язок між частками забруднень і поверхнею машин	Межа міцності при стиску, МПа	Умовний коефіцієнт міцності
1.	Рослинні залишки	Відкладання жирового походження (сонях, зерно-бобові культури в суміші з пилом і частками ґрунту)	Слабозв'язані	3-20	0,5
2.	Маслянисто-грязеві	Дорожній пил, бруд, маслянисті залишки	Сильнозв'язані	2-5	0,3
3.	Технологічні забруднення	Залишки протиральних паст, мастильних матеріалів, продукти зношування	Середньозв'язані	3-20	0,5

4.	Залишки отрутохімікатів	Мінерально-органічний комплекс (дорожній бруд, масло в суміші із залишками отрутохімікатів)	Сильнозв'язані	2-5	0,5
5.	Жирові плівки	Органічні: антикорозійні змащення й масла до складу яких входять (мінеральні масла, вазелін, нафтовий віск, парафіни, жирні кислоти.	Сильнозв'язані	2-5	0,5

Для дослідження впливу режимів знежирення на якість підготовки поверхні транспортних і сільськогосподарських машин до фарбування, а також для визначення експлуатаційних показників установки, у ході польових випробувань реєструвалися такі параметри:

- обсяг споживаної води;
- витрата вуглекислоти;
- тривалість процесу знежирення;
- витрати електроенергії;
- відстань до поверхні, що очищається;
- якість обробленої поверхні.

Початок і завершення кожного технологічного циклу знежирення машин фіксували секундоміром. За цей інтервал визначали витрату води за допомогою водоміра УВК-32, обсяг використаної вуглекислоти – витратоміром Р-40, а

кількість спожитої електроенергії – приладом ДП-100.

Оцінка ефективності знежирення здійснювалася на контрольних ділянках поверхні з визначеною площею, що відрізнялися за формою, типом захисного покриття та видом забруднень. Додатково враховували шорсткість металевих поверхонь без покриття, яка становила Ra 12,5.

3.5. Методика господарських досліджень

Господарські випробування були проведені з метою підтвердження результатів лабораторних та польових досліджень і перевірки експлуатаційних параметрів запропонованої установки для знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки перед фарбуванням безпосередньо у виробничих умовах.

До завдань цих досліджень входило:

- розроблення комплексу заходів для покращення умов знежирення сільськогосподарських машин різних марок під час їх підготовки до фарбування;
- збір та аналіз статистичної інформації щодо витрат на проведення знежирювальних робіт;
- визначення якісних характеристик очищених поверхонь для кожної з обраних машин;
- порівняння тривалості та ефективності технологічного циклу знежирення при застосуванні різних установок і нової системи водо-гранульованої очистки.

Випробування виконувалися на машинних дворах господарств Дніпропетровської області. Об'єктами дослідження стали колісний трактор МТЗ-80 та вантажні автомобілі ГАЗ-3307 і ГАЗ-3309.

У процесі експерименту аналізувалися такі методи та засоби механізації очищення зовнішніх поверхонь техніки:

- ручне знежирення дрантям із використанням органічного розчинника (уайт-спіриту);
- очищення струменями низького тиску із застосуванням традиційного обладнання;

– очищення струменями високого тиску за допомогою розробленої конструкції установки.

Стислу характеристику зазначених методів і технічних засобів механізації процесу знежирення наведено в таблиці 3.4.

Для оцінки ефективності кожного методу у ході господарських випробувань фіксувалися та аналізувалися такі показники:

- трудомісткість виконання операцій (люд./год.);
- споживання електроенергії (кВт·год);
- витрата води на одну машину (м³);
- витрата вуглекислоти на одну машину (м³);
- питомі витрати (грн/м²);
- якість обробленої поверхні (мг/см²).

Таблиця 3.4 – Узагальнена характеристика способів і засобів механізації процесу знежирення під час підготовки машин до фарбування.

№ п/п	Найменування способу	Марка машини	Технічні показники			температура розчину	Миючий розчин	
			Потужність привода насоса, кВт	Робочий тиск, МПа	Подача розчину (води), л/хв		марка	доза (г/л)
I.	Ручне знежирення дрантям	-	-	-	-	18° С	уайтспірит	

2.	Знежирювання струменями низького тиску із застосуванням устаткування	Huter W105-GS	1,5	2,0	23,0	80 С	ЄС-Промоль-супер	15
3.	Знежирення струменями високого тиску із застосуванням звичайного встаткування	Karcher K-3	3,2	15	12,8	85° С	ЄС-Промоль-супер	15

4.	Знежирення струменями високого тиску із застосуванням розробленої конструкції встаткування	УВГ	1,5	7	7,3	18°C	не застосовується
----	--	-----	-----	---	-----	------	-------------------

Примітка: Марка установки для знежирення поверхонь с/г

Під час виконання знежирювальних робіт на поверхнях сільськогосподарських машин різними методами та засобами механізації дотримувалися певних умов. Монітор (пістолет) оператор тримає однією рукою, одночасно підтримуючи шланг (низького або високого тиску) іншою. Переміщення здійснюється рівномірно, паралельно поверхні, по всій довжині проходу.

Відстань від сопла до поверхні встановлюється:

- для «жорсткого» режиму – 0,035...0,040 м,
- для «м'якого» режиму – 0,075...0,080 м.

Оптимальна швидкість переміщення монітора становить 0,25–0,6 м/с. Факел струменя орієнтується перпендикулярно до поверхні. Рух здійснюється корпусом і рукою, але не лише кистю. Очищення проводиться виключно горизонтальними або вертикальними смугами; хвилеподібні, коливальні чи петлеподібні рухи забороняються. Вмикання та вимикання пістолета допускається лише під час його руху («на ходу»).

При розрахунку трудомісткості знежирення в рамках підготовки поверхонь до фарбування враховувалися підготовчо-завершальний, допоміжний, основний та додатковий час, що визначається залежністю [6, 22].

де T_n – технічна норма часу;

T_o – основний час;

T_v – допоміжний час;

$T_{доп}$ – додатковий час;

$T_{п.з.}$ – підготовчо-завершальний час.

Основний час відводився на безпосереднє знежирення поверхонь сільськогосподарських машин до досягнення необхідних показників якості. Допоміжний час включав операції, що забезпечували умови для виконання основних робіт. Додатковий час призначався для організаційно-технічного обслуговування робочого місця, а також відпочинку й фізіологічних потреб працівника. Підготовчо-завершальний час використовувався на дії, пов'язані з початком та завершенням усієї операції.

У процесі знежирення при підготовці до фарбування вибраних сільськогосподарських машин у виробничих умовах, з урахуванням трудомісткості, визначалися окремі технологічні операції. Виконання цих операцій повинно було відбуватися в однаковій послідовності за єдиною технологічною схемою.

Витрати електроенергії фіксували за допомогою приладу ДП-100. Витрати води й вуглекислоти визначали аналогічно до методики, використаної у польових випробуваннях. Якість очищення перевірялася на спеціально визначених еталонних ділянках поверхні машин. Для оцінки використовувався метод контролю, описаний у підрозділі 3.4.

Зібрані дані та результати спостережень підлягали статистичній та математичній обробці. Для більшої наочності аналіз проводився із застосуванням графічних методів – побудови полігонів і гістограм розподілу.

Таблиця 3.5 – Карта параметрів режимів знежирення автомобіля ГАЗ-3309 у процесі його підготовки до фарбування

Номер і місце Знежирення ГАЗ-3309	Режим знежирення	Час знежирення, хв.	Номер і місце знежирення ГАЗ-3309	Режим знежирення	Час знежирення, хв.
1	2	3	4	5	6
1. Блок двигуна	"жорсткий"	1,2	1. Диски передніх коліс	"м'який"	0,45
2. Кабіна	"м'який"	1,3	12. Верх крил задніх	"м'який"	0,46
3. Облицювання двигуна	"м'який"	1,1	13. Низ крил задніх	"м'який"	0,42
4. Муфта зчеплення	"жорсткий"	0,7	14. Диски задніх коліс	"м'який"	0,58
5. Передня вісь	"жорсткий"	0,71	15. Піддон двигуна	"жорсткий"	0,95
6. Напіврама	"жорсткий"	0,71	16. Низ муфти зчеплення	"жорсткий"	0,48

7. Задній міст	"жорсткий"	0,2	17. Низ коробки Передач	"жорсткий"	0,45
8. Механізм підві- ски	"жорсткий"	~ 0,56	18. Низ заднього Мосту	"жорсткий"	0,48
9. Причіпний при- стрій	"жорсткий"	0,5	Усього:		12,0
10. Крила передні	"м'який"	0,35			

"жорсткий" режим очищення ($P = 8Д$ Мпа; $4 = 6,7$ мм; $Kц = 8,7$; $8 = 42$ мм)
 "м'який" режим очищення ($P = 8,6$ Мпа; $4 - 7,2$ мм; $Kв = 8,2$; $8 = 11$ мм)' Приклад
 очищення наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Приклад очищення поверхонь льодовим струменем



а



б

Рисунок 3.9 – Трактор Т – 150 К

а - до фарбування, б - після фарбування

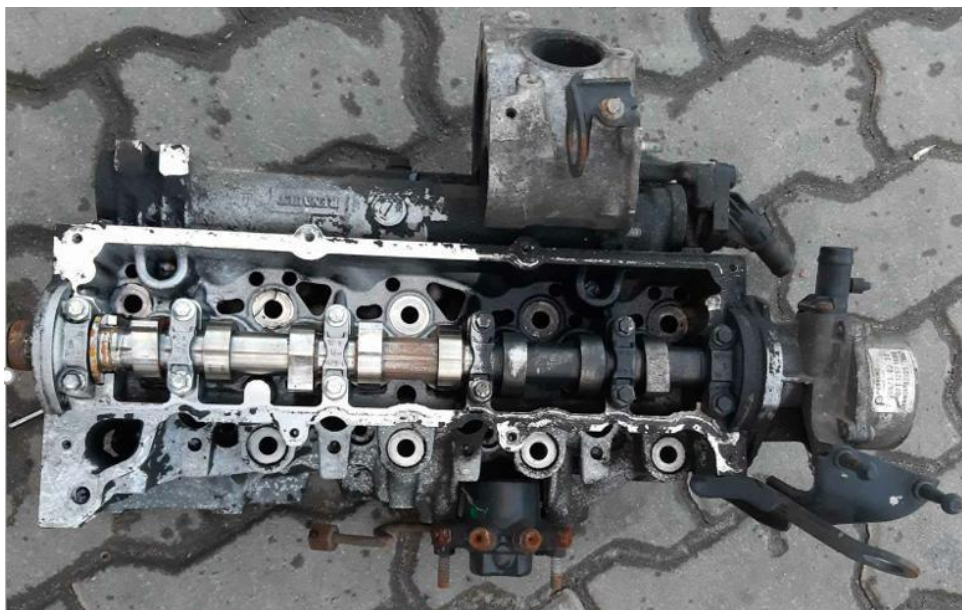


Рисунок 3.10 – Зразок очищення блоку циліндрів методом кріобластингу

Аналіз показників, отриманих у ході порівняльних випробувань різних об'єктів дослідження, дав змогу зробити такі висновки:

Серед існуючих методів та способів знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки під час її підготовки до фарбування, найкращі результати за показником трудомісткості були зафіксовані при застосуванні експериментальної установки. Її використання забезпечило рівень трудомісткості,

близький до показників установки Karcher K-3, і водночас на 40–100% нижчий порівняно з іншими методами, при збереженні необхідної якості обробки поверхні. Такий ефект пояснюється підвищеною трудомісткістю допоміжних операцій при інших способах, що включають підготовку обладнання до роботи, виготовлення та підігрів поверхнево-активних речовин тощо.

3.6. Результати експериментальних випробувань

Аналіз результатів очищення еталонних зразків за допомогою струминних установок показав, що рівень якості безпосередньо визначається тривалістю впливу (рис. 3.11).

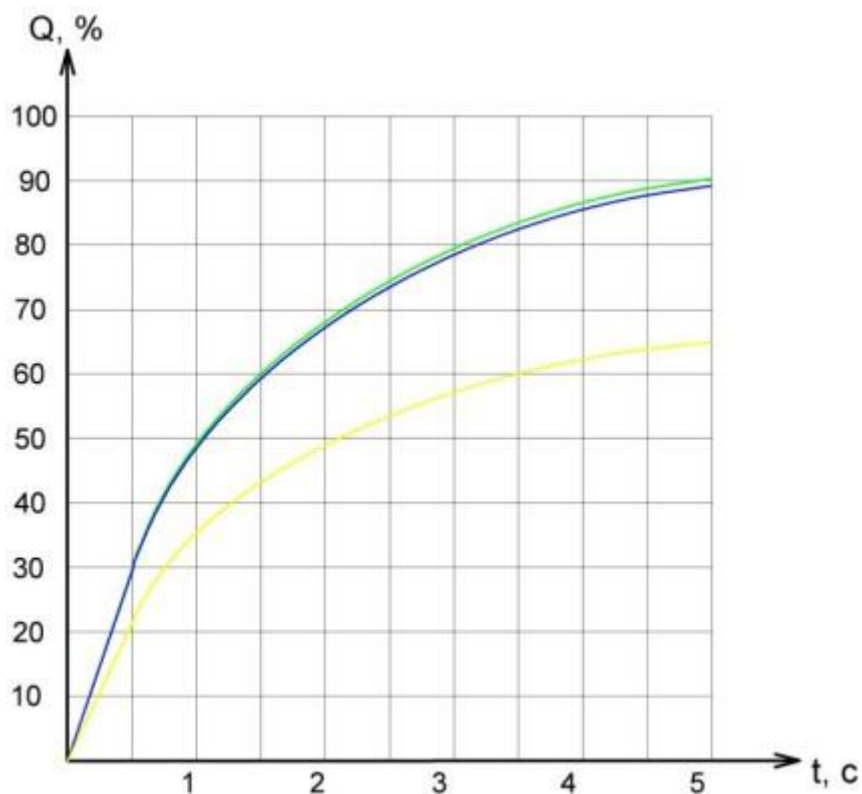


Рисунок 3.11 – Графік залежності ступені очищення від часу

- експериментальна установка
- установка високого тиску «KARCHER K3»
- установка низького тиску «Huter W105-GS»

На початковій стадії процесу спостерігається найвища інтенсивність очищення, яка з часом поступово знижується. Тому для досягнення оптимальних експлуатаційних характеристик установок тривалість обробки повинна бути обмеженою. Найкращі результати продемонстрували установки «KARCHER K3»

та експериментальна модель, які забезпечили максимальне очищення за мінімальних витрат часу. Необхідна якість очищення еталонних зразків досягалася вже через 5 секунд роботи.

Найнижчі показники продемонструвала установка низького тиску «Huter W105-GS», яка за аналогічний проміжок часу забезпечувала рівень очищення не більше 65%.

Слід підкреслити, що ефективність очищення техніки визначається не лише техніко-експлуатаційними параметрами обладнання, а й технологією організації процесу. Результати досліджень впливу технології очищення на трудомісткість та якість робіт наведено на рис. 3.12.

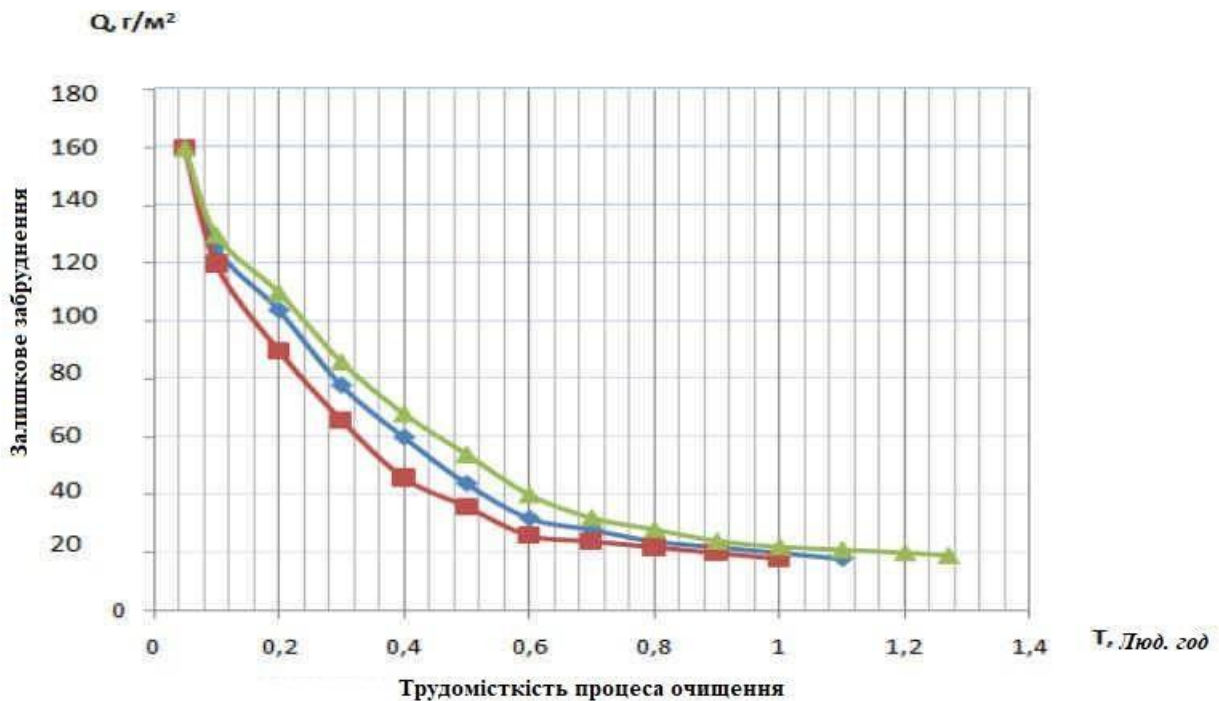


Рисунок 3.12 – Графік впливу очищення на трудомісткість і якість робіт

- – Експериментальна установка
- – установка високого тиску «KARCHER K3»
- – установка низького тиску «Huter W105-GS»

Аналіз співвідношення якості очищення та трудових витрат показав, що найбільші затрати праці спостерігаються при використанні установок низького тиску – «Huter W105-GS» та «KARCHER K3». Застосування ж експериментальної установки дало можливість суттєво підвищити ефективність очищення машин від забруднень.

Для досягнення допустимого рівня чистоти поверхні (залишкове забруднення не більше 1 г/м^2) трудомісткість процесу становила:

- для експериментальної установки — 1,03 люд.-год.,
- для «KARCHER K3» — 1,11 люд.-год.,
- для «Huter W105-GS» — 1,15 люд.-год.

Окрім цього, було досліджено залежність кількості частинок льоду від швидкості їхнього руху та відстані сопла до поверхні, що підлягала очищенню.

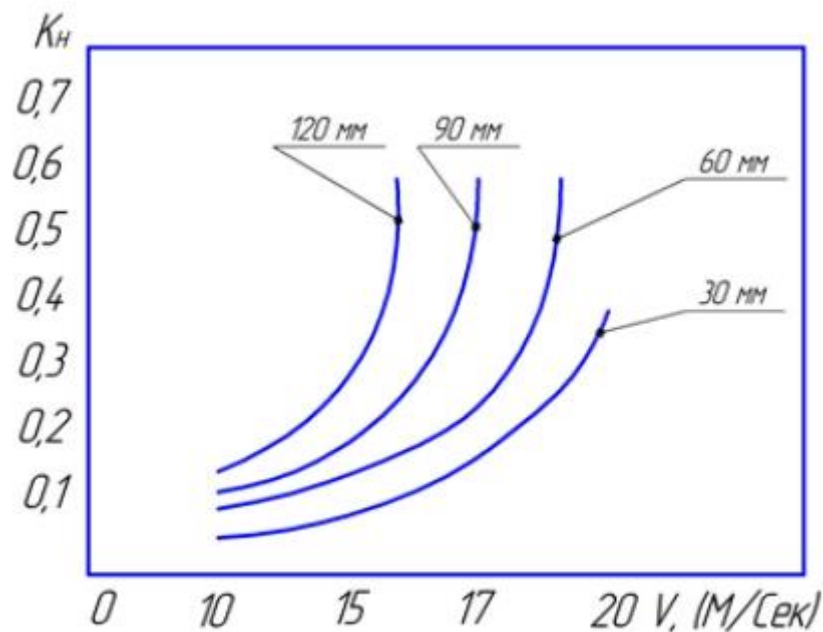


Рисунок 3.13 – Залежність кількості агрегатів льоду на поверхні деталі від швидкості їх польоту

Було визначено, що зі зростанням швидкості руху частинок льоду рівномірність їх розподілу на поверхні деталі погіршується. Для досягнення більш однорідного покриття необхідно зменшувати відстань від сопла до об'єкта очищення або знижувати швидкість польоту льодових гранул.

Висновок

Встановлено, що найбільш перспективним методом очищення та знежирення поверхонь є кріобластинг або обробка сухим льодом.

Для підтвердження ефективності цього підходу було розроблено методику проведення промислових і лабораторних випробувань із використанням модифікованого сопла, яке забезпечує утворення льодових гранул.

Порівняльний аналіз техніко-експлуатаційних характеристик різних способів і засобів очищення показав, що обробка обертовим струменем є найбільш економічним варіантом мийки, оскільки поєднує високу продуктивність та безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

Використання експериментальної установки для очищення сільськогосподарських машин дозволило істотно підвищити ефективність процесу. Для досягнення нормативної якості очищення (залишкове забруднення не більше 1 г/м^2) трудомісткість становила лише 1,03 люд.-год., витрати електроенергії – $2,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, а споживання води – $0,4 \text{ м}^3$.

Запровадження нового методу мийки дало змогу помітно скоротити час виконання операції: наприклад, для вантажного автомобіля КамАЗ тривалість процесу становила 37,2 хвилини.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві

Дослідження проводилось на базі приватного підприємства у співпраці з кафедрою надійності та ремонту машин Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Організація виробничої діяльності підприємства здійснюється відповідно до вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про охорону праці» [23].

Забезпечення належного стану охорони праці покладається безпосередньо на власника підприємства.

Для створення безпечних умов роботи на підприємстві впроваджено та діють внутрішні положення і нормативні документи, розроблені згідно з НПАОП 0.00-6.03-93 [24].

Структурна організація підприємства представлена на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Структура підприємства

На підприємстві впроваджена система обов'язкового медичного контролю стану водіїв перед виїздом транспортних засобів на лінію відповідно до вимог [25].

Працівники забезпечуються спеціальним одягом та індивідуальними засобами захисту згідно з діючими нормативами [26].

4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на мийній дільниці

На підприємстві функціонує мийна дільниця, де виконуються роботи з очищення транспортних засобів, їх агрегатів і окремих деталей, а також здійснюється підготовка елементів перед фарбуванням.

У процесі миття, очищення та знежирення виникає низка небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких:

- рухомий транспорт та інше обладнання, у тому числі частини технологічних механізмів і предмети, що можуть падати;
- руйнування підйомних пристроїв для транспорту;
- розташування робочих місць поблизу перепадів висоти від 1,3 м без наявності захисних огорожень;
- надмірна загазованість повітря робочої зони;
- несприятливі температурні умови (перегрів або охолодження повітря);
- підвищений рівень шуму та вібрації;
- висока вологість середовища;
- накопичення статичної електрики;
- вплив токсичних і подразнюючих хімічних речовин, що можуть проникати в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкіру чи слизові оболонки;
- надмірні фізичні навантаження.

Проведений аналіз умов праці на мийній дільниці показав наявність низки порушень вимог безпеки. Зокрема, виявлено підвищену вологість, що сприяє руйнуванню стін і появі грибкових відкладень на поверхнях, що не мають належного захисту. Причиною цього є несправність системи вентиляції. Також встановлено недостатню ефективність роботи обладнання для очищення стічних вод після проведення мийних операцій.

4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів

Для забезпечення належної роботи системи вентиляції у приміщенні мийної дільниці необхідно привести її у відповідність до вимог [27, 28]. На даний час у майстерні передбачений примусовий відсос повітря, проте приплив організований природним шляхом. Для усунення виявлених недоліків доцільно обладнати дільницю примусовою припливною системою та відрегулювати роботу наявної вентиляції. У зимовий період потрібно налагодити функціонування опалювальної системи, що дозволить знизити вологість у приміщенні та запобігти руйнуванню стін від впливу води.

Крім того, необхідно виконати розрахунок і впровадити систему очищення стічних вод.

4.3.1. Розрахунок очисних споруд. Розрахунок пісколовушки

При проектуванні очисних споруд і системи оборотного водопостачання основним параметром приймається витрата води на миття одного автомобіля та кількість транспортних засобів, що щоденно проходять мийку.

Максимальна годинна витрата стічних вод від миття автомобілів визначається за формулою 4.1 [29, 30].

де $q_{уд}$ – середня норма витрати води на миття одного автомобіля, $м^3$;

$Q_{и}$ – найбільша кількість транспортних засобів, які можуть бути вимиті протягом однієї години, год.

Найбільшу кількість транспортних засобів розраховуємо так:

$$Q_{и} = 0,1 \cdot 42 = 4,2 \text{ м}^3/\text{г.}$$

У пісколовушці з відстійним резервуаром, призначеним для накопичення осаду, розрахункова швидкість руху стічних вод приймається рівною $V_{п} = 0,15$ м/с.

Відповідно, площа живого перерізу потоку визначається за формулою 4.2.

де q_c – секундний об'ємний витік стічних вод, $м^3/\text{с}$;

$V_{п}$ – швидкість руху водного потоку, м/с.

Площу живого перерізу потоку розраховуємо так:

$$F_{\text{ж.п.}} = 0,00117/0,15 = 0,008 \text{ м}^2.$$

Ширину пісколовушки приймають рівною $B = 0,3$ м, при такому значенні довжина споруди L визначається за формулою 4.3.

де K – коефіцієнт, значення якого приймається рівним 1,3;

H_p – розрахункова глибина проточного шару пісколовушки, м;

U_o – гідравлічна крупність завислих часток (переважно піску), мм/с, приймається 18 мм/с;

$V_{\text{п}}$ – швидкість руху водного потоку, м/с.

Розрахункова глибина проточного шару пісколовушки визначається за формулою 4.4 та розраховується так:

$$H_p = 0,008/0,3 = 0,026 \text{ м};$$

Довжина споруди визначається таким чином:

$$L = 1,3 \cdot 1000 \cdot 0,026 \cdot 0,15/18 = 0,28 \text{ м}.$$

Загальна глибина пісколовушки визначається як сума розрахункової глибини проточного шару та додаткових конструктивних запасів, необхідних для нормальної роботи споруди, за формулою 4.5.

де $H_{\text{пер}}$ – висота від підлоги до рівня води в пісколовушці; ця величина є змінною і залежить від відстані споруди від мийної канави та відмітки підвідного лотка трубопроводу; у розрахунках приймається $H_{\text{пер}} = 0,1$ м;

H_p – розрахункова глибина проточного шару пісколовушки, м;

$H_{\text{ос}}$ – глибина відстійної частини пісколовушки, прийнята рівною 0,1 м.

$$H_{\text{об}} = 0,1 + 0,28 + 0,1 = 0,48 \text{ м}.$$

У даному випадку розрахункова глибина пісколовушки становить 0,5 м.

Об'єм резервуара-накопичувача для стічних вод визначають, виходячи з умови їх перебування у ньому протягом 15 хвилин (0,25 год), розраховується за формулою 4.6.

де t – тривалість перебування стічних вод у приймальному резервуарі, год.

$$V_{\text{пр}} = 4,2 \cdot 0,25 = 1,05 \text{ м}^3.$$

У якості очисного резервуара-накопичувача стічних вод приймається ємність об'ємом 1,5 м³.

4.3.1. Розроблення карти небезпечних зон та вимог безпечної експлуатації установки для обробки деталей сухим льодом

Для забезпечення безпеки під час проведення досліджень пропонується скласти карту небезпечних зон та визначити основні вимоги щодо безпечної роботи з установкою. Відповідні положення наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Карта небезпечних зон та основні вимоги безпечної експлуатації установки

№ п/п	Небезпечна зона	Небезпечний фактор	Вимоги безпечної роботи
1	Електробладнання (електрощиток)	Ураження електричним струмом	1. Забороняється обслуговувати електрощиток якщо він увімкнений в мережу; 2. Не допускати потрапляння рідини в отвори для охолодження. 3. Установка повинна бути заземлена.
2	Насосна станція	Ураження електричним струмом та робочою рідиною	1. Забороняється обслуговувати електродвигун якщо він увімкнений в мережу; 2. Не допускати потрапляння оливи або рідини в отвори для охолодження. 3. Забороняється експлуатація станції без робочої рідини.
3	Гідравлічні шланги	Ураження робочою рідиною	1. Пред початком роботи перевірити надійність кріплення шлангів та трубопроводів.

4	Бак з рідиною	Ураження кінцівок та очей робочою рідиною	1. Забороняється вскривати бак при працюючій установці. 2. Постійно контролювати рівень рідини і не допускати потрапляння повітря.
5	Агрегат чи деталь що знежирюється	Травмування кінцівок	1. При встановленні агрегатів використовувати підємно – транспортні механізми. 2. Агрегати надійно кріпити до установочних плит установки.
6	Розпилювач	Ураження робочою рідиною. Травмування внаслідок викиду шлангів. обмороження кінцівок	1. Забороняється включати стенд при закритому дроселі. 2. Дросель необхідно повільно закривати навантажуючи стенд. 3. У разі виникнення витoku вуглекислоти припинити роботу та усунути виток. 4. Працювати в спеціальних суко-них рукавицях. 5. Працювати в захисних окулярах.
7	Система подачі вуглекислоти (балон)	Травмування внаслідок викиду шлангів	1. Перед початком роботи перевірити надійність кріплення. 2. У разі виникнення витoku вуглекислоти припинити роботу та усунути виток. 3. Контролювати тиск балону та витрату газу.

4.4. Правила безпечного виконання робіт при очищенні машин, агрегатів та деталей

Під час миття автомобілів, їх агрегатів і деталей необхідно суворо дотримуватися наступних вимог:

- миття слід здійснювати виключно у спеціально обладнаних місцях;
- при використанні механізованих установок робоче місце оператора повинно бути розташоване в кабіні з водонепроникним захистом;
- пост ручної (шлангової) мийки має знаходитися у зоні, відокремленій від струмонесучих елементів і обладнання, що перебуває під напругою;
- на ділянках мийки електропроводка, освітлювальні прилади та електродвигуни повинні мати герметичне виконання;
- керування мийними агрегатами здійснюється за допомогою низьковольтної напруги (не більше 42 В).

Водночас допускається застосування напруги 220 В для живлення магнітних пускачів і кнопок керування мийним обладнанням, але лише за умов:

- наявності механічного й електричного блокування пускачів при відкриванні дверей шаф;
- виконання гідроізоляції пускових пристроїв та електропроводки;
- обов'язкового заземлення або занулення корпусів, кабін та апаратури.

При очищенні автомобільних агрегатів і деталей необхідно:

- забезпечувати концентрацію лужних розчинів не вище 2–5%;
- після обробки лужним розчином виконувати обов'язкове промивання гарячою водою;
- агрегати та деталі масою понад 15 кг (для жінок – понад 10 кг) подавати на мийний пост і завантажувати у мийну установку тільки механізованим способом.

Мийні ванни, у яких застосовуються гас чи інші передбачені технологією мийні засоби, після завершення роботи мають бути закриті кришками.

Забороняється:

- користуватися відкритим вогнем у приміщеннях, де проводиться

миття деталей із застосуванням горючих рідин;

- використовувати бензин для протирання автомобілів та їх деталей.

Додатково, сходи, трапи та проходи у зоні мийки повинні мати поверхню з протиковзким покриттям.

4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації

У разі виникнення аварії чи ситуації, що може призвести до аварійної події або нещасного випадку, необхідно негайно зупинити виконання робіт, відключити обладнання від електромережі, попередити колег про небезпеку та, за можливості, вжити заходів для усунення наслідків. Про подію слід повідомити керівника робіт і надалі діяти відповідно до його вказівок.

Працівник, який став свідком пожежі, обриву електропроводів, пошкодження водопроводу, паропроводу чи газопроводу, а також нещасного випадку або виявив потерпілого, зобов'язаний негайно привернути увагу оточення голосовим сигналом.

У випадку пожежі або загоряння потрібно терміново зателефонувати до пожежної служби за номером 101, знеструмити обладнання у небезпечній зоні та приступити до гасіння вогню за допомогою первинних засобів пожежогасіння. Паралельно слід повідомити про подію керівника робіт, а при його відсутності – адміністрацію підприємства.

При травмуванні або раптовому погіршенні стану здоров'я потерпілому необхідно надати долікарську допомогу. Про нещасний випадок потрібно поінформувати керівника робіт і звернутися до медичної установи.

До моменту проведення розслідування важливо зберегти обстановку на робочому місці у тому вигляді, в якому вона була на час події, якщо це не становить загрози життю чи здоров'ю працівників і не може спричинити подальшу аварію.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Запровадження в установку високого тиску спеціально розробленого сопла для водо-гранульованого знежирення сільськогосподарської техніки під час її підготовки до фарбування дає можливість оптимально використовувати робочі параметри обладнання, обирати раціональні режими функціонування та підвищувати якість виконання технологічного процесу в умовах господарств Дніпропетровської області.

Завдяки цьому вдалося зменшити витрати на підготовчі операції при фарбуванні машин різних марок у господарствах. Вихідні дані, що характеризують економічну ефективність використання як двох варіантів установок, так і нової конструкції сопла, наведені в таблиці 5.1.

Як базовий варіант у дослідженні застосовувалася установка високого тиску Karcher K3.

Річний економічний ефект на одну машину обчислювався за формулою 5.1[30].

Де Z_6 , Z_n – річні експлуатаційні витрати відповідно для базової та нової установки при знежиренні поверхонь трактора під час його підготовки до фарбування, грн.;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_6 , K_n – обсяг капіталовкладень при використанні базової та нової установки відповідно.

Після проведених перетворень розрахункову формулу можна подати у вигляді формули 5.2.

де Π_6 , Π_n – питомі експлуатаційні витрати відповідно для базової та нової установки;

Φ_p – річний фонд часу роботи установок.

Додаткові капіталовкладення, виражені як $E \cdot (K_6 - K_n)$, необхідні для підвищення ефективності застосування обладнання, визначаються через різницю експлуатаційних витрат базового та удосконаленого варіантів установки, розраховуються за формулою 5.3.

Відповідно до наведених перетворень, формула (5.1), що використовується для визначення річної економічної ефективності, набуває вигляду формули 5.4.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для обчислення економічної ефективності застосування очисних установок під час підготовки поверхонь машин

№ п/п	Найменування показників	Установки	
		Karcher K3	Вуглекислотна установка з модернізованим соплом
1	Балансова вартість, грн	7200	3600
2	Вартість сопла, грн	-	500-600
3	Кількість працівників, чол..	1	1
4	Годинна ставка робітника, грн..	85,2	85,2
5	Річний фонд часу машини, год.	450	450
6	Продуктивність установки, м ² /год.	30	30
7	Нарахування на соц.. страх, %	3,6	3,6
8	Витрата води, л/хв..	12,8	5,8
9	Витрата вуглекислоти, л/хв..	-	0,4
10	Вартість 1 м ³ води, грн..	14,9	14,9
11	Вартість 1 м ³ вуглекислоти, грн..	-	37,5
12	Вартість 1 кВт*год. електроенергії,	3,26	3,26

	грн..		
13	Витрата мийних розчинів, кг/м ³	1,5	-
14	Вартість 1 кг мийних засобів, грн	68	-
15	Вартість скиду 1 м ³ стічних вод, грн..	10,4	10,4
16	Площа, зайнята машиною, м ²	0,84	0,72

Витрати на оплату води розраховуються за формулою 5.5. Проведемо відповідні розрахунки:

$$B_{\text{води}}^{\text{баз}} = 12,8 \cdot 450 \cdot 14,9 = 85824 \text{ грн}$$

$$B_{\text{води}}^{\text{пр}} = 5,8 \cdot 450 \cdot 14,9 = 38889 \text{ грн}$$

$Q_{\text{води}}$ – обсяг споживання води, м³/год;

$\Phi_{\text{р.м.}}$ – річний фонд часу роботи машини, год;

T_c – тариф на водопостачання, грн/м³.

Витрати на вуглекислоту розраховуються за формулою 5.6. Проводимо розрахунок:

$$B_{\text{CO}_2} = 0,4 \cdot 450 \cdot 37,5 = 6750 \text{ грн}$$

Де Q_{CO_2} – витрата вуглекислоти, м³/год.

Витрати на мийні засоби розраховуються за формулою 5.7. Проведемо відповідні розрахунки:

$$B_{\text{м.з.}} = 1,5 \cdot 346,5 \cdot 68,0 = 35343 \text{ грн}$$

Де $Q_{\text{мз}}$ – витрата мийних засобів, кг/м³;

$Q_{\text{води}}$ – обсяг води, необхідний для річного обсягу робіт тривалістю 450 год, м³;

Π – ціна мийного засобу, грн/кг.

Витрати на скидання стічних вод розраховується за формулою 5.8. Проведемо відповідний розрахунок:

$$B_{\text{скид.води}}^{\text{баз}} = 12,8 \cdot 450 \cdot 10,4 = 59904 \text{ грн}$$

$$V_{\text{скид.води}}^{\text{пр}} = 5,8 \cdot 450 \cdot 10,4 = 27144 \text{ грн}$$

Витрати на споживану електроенергію розраховується за формулою 5.9. Проводимо відповідний розрахунок:

$$V_{\text{ел.ен.}}^{\text{баз}} = 3,0 \cdot 450 \cdot 3,26 = 4401 \text{ грн}$$

$$V_{\text{ел.ен.}}^{\text{пр}} = 2,5 \cdot 450 \cdot 3,26 = 3668 \text{ грн}$$

Витрати на заробітну плату робітникам розраховуємо за формулою 5.10. Проводимо розрахунок:

Заробітна плата без нарахувань проводиться за формулою 5.11, а розрахунок виглядає так:

$$З = 1 \cdot 85,2 \cdot 450,0 = 38340 \text{ грн}$$

Заробітна плата з нарахуваннями визначається за формулою 5.12, а розрахунок виглядає так:

$$З_{\text{н}} = 38340 \cdot 0,3719 = 14258 \text{ грн}$$

Тоді заробітна плата складе:

$$ЗП = 38340 + 14258 = 52598 \text{ грн}$$

Витрата загальна складе розраховують за формулою 5.13, а розрахунок має вигляд:

$$З_{\text{заг}}^{\text{баз}} = 85824 + 35343 + 59904 + 4401 + 52598 = 238070 \text{ грн}$$

$$З_{\text{заг}}^{\text{пр}} = 38889 + 6750 + 27144 + 3668 + 52598 = 129049 \text{ грн}$$

Відтак, за формулою (5.1) величина економічного ефекту визначається так:

$$E_p = (238070 + 0,15 \cdot 7600,0) - (129049 + 0,15 \cdot 4200,0) = 109531 \text{ грн}$$

Результати виконаних розрахунків наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності функціонування установки

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
1	2	3
Вид робіт	Підготовка поверхні	Підготовка поверхні
Річний фонд часу роботи установки, год	450	450
Продуктивність установки, м ² /год	30	30
Кількість основних робітників, чол..	1	1
Балансова вартість установки, грн..	7200,0	4100,0
Експлуатаційні витрати всього, грн..	238070	129049
- заробітна плата з нарахуваннями, грн..	52598	52598
- вартість води, грн..	85824	38889
- вартість електроенергії, грн.	4401	3668
- вартість витратних матеріалів, грн..		
миючі засоби	35343	-
вуглекислота	-	6750
- витрати на стічні води, грн..	59904	27144
Економічний ефект від впровадження, грн.	-	109531

Отже, на основі виконаних розрахунків можна дійти висновку, що використання конструкції експериментальної установки є економічно виправданим та доцільним.

ВИСНОВОК

На основі аналізу наукових джерел та результатів попередніх досліджень встановлено, що визначальним чинником при класифікації зовнішніх жировмісних забруднень, які умовно розділено на сім груп (рослинні залишки, технологічні нашарування, маслянисто-брудові відкладення, залишки отрутохімikatів, продукти корозії, старі лакофарбові покриття та жирові плівки різної міцності), є вибір раціонального методу знежирення поверхонь сільськогосподарської техніки під час підготовки до фарбування.

Видалення подібних забруднень із зовнішніх поверхонь сільськогосподарських та інших мобільних машин може бути забезпечене використанням малогабаритних установок із соплами, що мають плавно регульовані вихідні канали та формують високонапірний струмінь.

Усі види жирових відкладень за щільністю умовно поділяються на три категорії: слабкозв'язані ($P \approx 3\text{--}10$ МПа), середньозв'язані ($P \approx 10\text{--}25$ МПа) і сильнозв'язані ($P \approx 25\text{--}60$ МПа). При цьому їх поширення на поверхнях становить відповідно 60%, 30% і 10%. Трудомісткість очищення також варіює: для першої групи – близько 10%, для другої – 20%, для третьої – 40%.

Було розроблено схему експериментальної установки для очищення методом кріобластингу із застосуванням сухого льоду. Конструкція передбачає використання балона з вуглекислотою та можливість формування гранул льоду безпосередньо в установці. Крім того, розроблено методику розрахунку сопла струминної мийної установки з урахуванням усіх параметрів для ефективного застосування.

Доведено, що найбільш перспективним методом очищення і знежирення є саме обробка сухим льодом. Створено методику лабораторних та промислових випробувань із використанням модифікованого сопла для генерації льодових гранул.

Порівняльний аналіз техніко-експлуатаційних характеристик показав, що очищення обертовим струменем є найбільш економічним способом мийки, забезпечує високу продуктивність та безпечні умови роботи обслуговуючого

персоналу.

Використання експериментальної установки дозволило суттєво підвищити якість очищення від забруднень. Так, для досягнення допустимого рівня чистоти (залишкове забруднення 1 г/м^2) трудомісткість становила 1,03 люд.-год, витрата електроенергії – 2,3 кВт·год, води – 0,4 м³. При цьому загальний час мийної операції для автомобіля КамАЗ склав близько 37,2 хв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гапанчук А. М., Калганков Є. В. Технологія зберігання сільськогосподарських машин та шляхи її покращення. *Zbiór artykułów naukowych*. Warszawa : Diamond trading tour, 2017. С. 50–55.
2. Ключко М. О. Обґрунтування перспективних способів очистки машин і механізмів. Актуальні проблеми розвитку науки в контексті глобальних трансформацій інформаційного суспільства : матеріали конф. Київ, 2021. С. 86–90.
3. Дирда В. І., Мельянцов П. Т., Калганков Є. В. Ремонт машин та обладнання : підручник. Дніпро : Журфонд, 2015. 292 с.
4. Чигирик Н. Д., Чвала О. М. Перспективи впровадження кріобластингу у процесі ремонту ТРС. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 158, т. 2. С. 115–119.
5. Артем'єв Ю. М., Селіванов А. І. Теоретичні основи ремонту і надійності сільськогосподарської техніки. Харків : Фоліо, 2009. 328 с.
6. Ященко М. М. Проектування підприємств автомобільного сервісу : навч. посіб. Київ : НТУ, 2004. 172 с.
7. Афанасиков Ю. І. Проектування моєчно-очисного обладнання авторемонтних підприємств. Київ : Транспорт, 1987. 174 с.
8. Фадєєв І. В. Підвищення ефективності технологічного процесу мийки при ремонті автомобілів у сільському господарстві : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03. Рязань, 2019. 395 с.
9. Тельнов Н. Ф. Технологія очистки сільськогосподарських машин. Москва : Колос, 1983. 235 с.
10. Коробочка О. М., Шматко Д. З. Управління авторемонтним виробництвом : навч. посіб. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 210 с.
11. Eijpe M., Smith J. *Dry Ice Blasting Technology and Applications in Industrial Cleaning*. Cham : Springer, 2020. 214 p.
12. Kharisov R. R. *Surface Preparation Techniques for Industrial Coatings*.

Amsterdam : Elsevier, 2019. 410 p.

13. ASM International. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. ASM Handbook. Materials Park, OH : ASM International, 2017. 1080 p.

14. Wicks Z. W., Jones F. N., Pappas S. P. Organic Coatings: Science and Technology. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2014. 752 p.

15. Kutz M. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. 2nd ed. London : Academic Press, 2013. 760 p.

16. Klein K. Industrial Cleaning Technology: Principles, Techniques and Applications. Cambridge : Woodhead Publishing, 2018. 392 p.

17. Boretti A. Advances in Agricultural Machinery and Technologies. Boca Raton : CRC Press, 2021. 345 p.

18. The Society for Protective Coatings (SSPC). Surface Preparation Standards. Pittsburgh, PA : SSPC, 2015–2022.

19. International Institute of Refrigeration (IIR). CO₂ in Industrial Applications and Cryogenic Cleaning. Paris : IIR, 2018. 98 p.

20. WOMA GmbH. High-Pressure Water Jetting and Industrial Cleaning Systems : Technical Manual. Hamburg : WOMA, 2019. 164 p.