

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

МАРКУС В'ЯЧЕСЛАВ ІГОРОВИЧ

УДК 631.333

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування технології консервації машини для
внесення добрив**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

_____ В. І. Маркус

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Маркус В'ячеслав Ігорович. Обґрунтування технології консервації машини для внесення добрив. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

В магістерській роботі розроблено інгібовано-мазутна суміш, що містить мазут М100 (84%), Емульгін (6%) і уайт-спірит (10%). В умовах впливу розчинів азотоски і хлористого калію покриття даної суміші знижує корозійні втрати сталі 08кп в 12 і 65 разів відповідно. Корозійні втрати сталі 08кп за умов м. Житомира становлять 113 г/м² на рік, при захисті розробленою сумішшю втрати знижуються в 52 рази.

Розроблено та випробувано у виробничих умовах технологію консервації тукорозкидальних машин інгібованою мазутною сумішшю, що отримується із залученням топочного мазуту, уайт-спіриту та кубових амінів як інгібуюча присадка. Розроблено навісний агрегат УЛН-03 з компресором і автотракторним генератором для нагрівання та пневматичного нанесення інгібованого мазутної суміші на схильні до корозійного руйнування поверхні тукорозкидачів.

За результатами виробничих випробувань навісного агрегату при консервації інгібованою мазутною сумішшю самохідного розкидачу AMAZON ZA-M900 визначено витрати матеріальних та трудових ресурсів: час роботи – 1,5 год; витрати інгібованої мазутної суміші – 9,3 л/шт, витрата дизельного палива – 3,2 л/год. Сумішшю захищали нижні поверхні кузова, включаючи раму, підвіску, крила, задні двері та задній відсік автомобіля (під бункером). Встановлено параметри технічної продуктивності нанесення складу – 103-136 м²/год та нормативу витрати – 0,14 кг/м². Використання розробленого агрегату УЛН-03 при консервації забезпечує якісний захист важкодоступних частин техніки.

Ключові слова: суміш, інгібітор, мазут, зберігання, корозія, тукорозкидач.

ANNOTATION

Markus Vyacheslav Igorovich. Substantiation of the technology of conservation of the machine for application of fertilizers.. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

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

In the master's thesis developed inhibited-fuel oil mixture containing fuel oil M100 (84%), Emulgin (6%) and white spirit (10%). Under the influence of solutions of azophos and potassium chloride coating of this mixture reduces the corrosion losses of steel 08kp 12 and 65 times, respectively. Corrosion losses of steel 08kp in the conditions of Zhytomyr make 113 g / m² a year, at protection by the developed mix losses are reduced in 52 times.

The technology of preservation of fertilizer spreaders with inhibited fuel oil mixture, obtained with the involvement of fuel oil, white spirit and VAT amines as an inhibitory additive, was developed and tested in production conditions. The hinged unit ULN-03 with the compressor and the autotractor generator for heating and pneumatic drawing of the inhibited fuel oil mix on a surface of fertilizer spreaders subject to corrosion destruction is developed.

According to the results of production tests of the mounted unit during preservation by the inhibited fuel oil mixture of the self-propelled spreader AMAZON ZA-M900, the costs of material and labor resources were determined: operating time – 1.5 hours; consumption of inhibited fuel oil mixture – 9.3 l/pc, diesel fuel consumption – 3.2 l / h. The mixture protected the lower surfaces of the body, including the frame, suspension, fenders, rear doors and rear compartment of the car (under the hopper). The parameters of technical productivity of the composition – 103-136 m²/h and the consumption rate – 0.14 kg/m². The use of the developed unit ULN-03 during conservation provides high-quality protection of hard-to-reach parts of equipment.

Key words: mixture, inhibitor, fuel oil, storage, corrosion, fertilizer spreader.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. По даним Міністерства аграрної політики та продовольства України, вік машинно-тракторного парку досягає 13-18 років, при нормативному терміні експлуатації 8-10 років. Експлуатація гранично зношеної техніки веде до значної перевитрати паливно-мастильних матеріалів, проведення багаторазових ремонтно-відновлювальних робіт. Тому витрати на підтримку техніки у працездатному стані високі і становлять 12-15% у собівартості продукції, тоді як у зарубіжній практиці вони не перевищують 4-6%.

У першу чергу, це відноситься до розкидачів мінеральних добрив, що зазнають широкий спектр корозійно-механічних впливів. У плані зниження витрат на ремонт важливе значення набуває аспект підвищення рівня протикорозійного захисту тукорозкидальних машин при їх консервації, як один із резервів забезпечення довговічності. Проте, традиційно вживані при консервації бензино-бітумні суміші мають низьку стійкість до впливу корозійно-активних компонентів добрив та кліматичних факторів.

Введення в бітумні склади інгібіторів корозії та атмосферостійких добавок підвищує їх захисні властивості, але суттєво ускладнює та здорожує технологію виробництва, роблячи її недоступною для сільгосп підприємств.

Відсутні науково-обґрунтовані розробки мобільних технічних засобів, необхідних для нанесення в'язких захисних складів за умов відкритого зберігання машин. Через низький рівень механізації технологічних процесів консервації, висока частка ручної праці при незадовільній якості покриттів, що наносяться.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності технології консервації тукорозкидальних машин шляхом розробки інгібовано-мазутної суміші та створення навісного агрегату для нагрівання та нанесення в'язких сумішей при знижених температурах.

Відповідно до цього сформульовані завдання дослідження:

1. Обґрунтувати рецептуру інгібовано-мазутної суміші, оцінити її захисні та змочуючі властивості, визначити теплофізичні та реологічні характеристики.

2. Експериментально визначити раціональні параметри напірного пристрою для енергоекономного нагріву інгібованої мазутної суміші при її нанесенні в умовах знижених температур.

4. Розробити та випробувати у виробничих умовах технологію консервації тукорозкидальних машин з використанням інгібованої мазутної суміші та навісного агрегату для його нагрівання та нанесення.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси, які визначають протикорозійний захист, режими нагрівання і нанесення інгібованої мазутної суміші при консервації тукорозкидальних машин.

Предмет дослідження – закономірності зміни протикорозійних і технологічних властивостей інгібованої мазутної суміші, параметрів і режимів роботи навісного агрегату для її нанесення.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження виконувались на основі стандартних та загальноприйнятих методів, а також розроблених приватних методик, що враховують специфіку даної роботи. При цьому використовувалися сертифіковані прилади для проведення лінійних, вагових, електротехнічних, реологічних, температурних, теплофізичних вимірювань, а також спеціально виготовлені лабораторні стенди для дослідження інтенсивності нагрівання складу та гідравлічних опорів у магістралі навісного агрегату.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л. **Марку В. І.** Аналіз корозійних властивостей добрив
Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 169-171

2. Куликівський В.Л. **Марку В. І.** Вплив абразивного зношування на атмосферну корозію робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 77-79

3. Куликівський В. Л. Климчук А.А., Сливинський В. О., Сринська М. В., Дембіцький Н. В., **Марку В. І.** Методика визначення розподілу тиску на поверхні робочих органів плугів. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 174-177.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена технологія консервації тукорозкидальних машин, що реалізується за допомогою навісного агрегату та доступних інгібовано-мазутної суміші, рекомендується до використання при консерваційних роботах у польових умовах.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 4 таблиці і 19 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

У комплексі заходів щодо впровадження інтенсивних агротехнологій велике значення має підвищення родючості ґрунтів за рахунок внесення добрив та хімічних меліорантів за допомогою спеціальної сільськогосподарської техніки [3]. У сучасних реаліях вирощування практично будь-яких культур неможливо уявити без застосування мінеральних добрив (туків). Залежно від рівня хімізації землеробства частка елементів живлення добрив у врожаї країн Західної Європи становить 60-75%, у США – 50%, в Україні – близько 30%. Частка добрив у процесі обробітку тієї чи іншої культури постійно зростає [4]. Водночас, через різні причини, ефективність застосування добрив в Україні досить низька. Так, окупність 1 кг NPK у господарствах становить 4-6 кг зерном, тоді як оптимальним вважається співвідношення 10-12 кг зерна на 1 кг NPK.

Аналіз виробничого процесу хімізації агропромислового комплексу виявив існування трьох етапів: на першому – використовують комплекс машин та обладнання для підготовки та приготування добрив; на другому – для їх транспортування, обробки та зберігання; на третьому – проводять внесення добрив перед посівом, під час посіву та під час вегетації рослин. Залежно від характеру розміщення добрив у ґрунті: поверхнево та внутрішньо-ґрунтово [5].

Розрізняють машини для внесення добрив: причіпні, самохідні, підвісні тукорозкидачі; машини для внутрішньогрунтового внесення. Залежно від використовуваного типу добрив: розкидачі рідких, твердих мінеральних і органічних добрив [6, 7].

У цілому нині технологічний процес внесення добрив складається з наступного. Завантажені в кузов (бункер) машини добрива переміщуються живильником і через пристрій, що дозує, по туконапрямячам надходять на пристрої, що розподіляють їх по ширині захоплення. Розрізняють дискові, роторні, пневматичні або штангові типи розкидаючих пристроїв. За способом

керування заслінками розкидачі бувають електронними, механічними та гідравлічними. Закладення всередину ґрунту після внесення здійснюється культиваторами, боронами і плугами.

Для внутрішньогрунтового внесення добрив використовують спеціалізовані, комбіновані та універсальні машини. Причому вони можуть бути навісними, напівнавісними та причіпними. За допомогою глибокорозпушувачів КПГ-2,2 та ГУК-4 вносять добрива «екраном» одночасно з плоскою різницею обробіткою ґрунту. Універсальна машина МПК-4 за один прохід забезпечує культивування, розпушування, локальне (стрічкове) внесення добрив та вирівнювання поверхні поля.

Зернотукові комбіновані сівалки СЗК-3,6 здійснюють локальне внесення добрив при посіві зернових та зернобобових культур та їх сумішей.

Зернотукові сівалки СЗ-3,6, СЗУ-3,6, агрегати посівні АУП-18.05 дозволяють проводити рядковий посів зернових та зернобобових культур з одночасним внесенням гранульованих добрив. Машини вносять насіння та добрива таким чином, щоб вони не стикалися у ґрунті. Картоплесадильні машини СКС-4, СКМ-3, СКМ-6, СН-4Б вносять добрива одночасно з посадковим матеріалом, для чого обладнані апаратами АТ-2А і АТД-2.

Культиватори – рослинопідживлювачі КРН-4,2, КРН-5,6, КРН-8,4, КОР-4,2, культиватор-огортач КОН-2,8ПМ і культиватор-гребнеутворювач КГФ-2,8 з туковисіваючими апаратами використовуються для міжрядної підживлення просапних культур твердими та рідкими мінеральними добривами.

Якщо проаналізувати конструктивне виконання машин для внесення добрив, можна помітити, що вони включають: ємність (бункер тощо.) для добрив; живильний пристрій для прийому добрив з ємності (живильний пристрій, дозатор); розкидаючий робочий орган, що приймає добрива від живильного пристрою та розсіювальні апарати, що виконують функції розкидання добрив по поверхні ґрунту або направляють його в ґрунт.

Як будь-яка сільськогосподарська техніка, техніка для внесення мінеральних добрив працює сезонно і піддається дії атмосферної корозії як у період експлуатації, так і в період тимчасового невикористання. Корозійні руйнування стимулюються мінеральними добривами чи їх розчинами при одночасному впливі вологи. Перелічені вище елементи та пристрої, безпосередньо контактують з мінеральними добривами, вимагають особливої уваги при консервації під час підготовки до тривалого зберігання.

При експлуатації та зберіганні у неробочий період тукорозкидальних машин відбувається руйнування робочих поверхонь металу під впливом атмосферної корозії. Сільськогосподарські підприємства зазвичай використовують комбінований спосіб зберігання техніки в неробочий період. Дорогу самохідну техніку, за можливості розміщують у ангарах. Начіпні та причіпні сільськогосподарські агрегати часто залишають на відкритих майданчиках (рис. 1.1). Непоодинокі випадки, коли техніка на таких майданчиках зберігається, частково покрита слідами мінеральних добрив, що стимулює корозійний процес.

Корозійні руйнування викликають до 33% відмов машин [8], на 40-55% знижують міцність вуглецевих сталей і сірого чавуну, в 2-4 рази збільшують знос спряжених деталей. На усунення збитків від корозії щорічно витрачається до 30 % загальних витрат, що витрачаються на відновлення працездатності машин та агрегатів [9, 10, 11].



Рис. 1.1. Зберігання посівного агрегату АУП-18.05 на відкритому майданчику

При неправильному зберіганні робочі органи сільськогосподарських машин окислюються і покриваються ржавчиною під впливом атмосферних факторів. Корозія бункерів, дозуючих пристроїв, тарілок та дисків розкидачів, висівного апарату в цілому, катушок або заслінок, тукопроводів може викликати відмови тукорозкидальних машин у напружений період польових робіт. Корозія тонколистового бункера для зберігання туків порушує герметизацію, що призводить до втрат мінеральних добрив.

Величезні економічні та екологічні збитки, завдані атмосферою корозією, роблять її об'єктом постійних наукових досліджень.

Атмосферна корозія є електрохімічним процесом, який відбувається в результаті розчинення металу в електролітах і окислення киснем. Електролітом є атмосферна волога, в плівці якої є розчинені гази, солі, кислоти лугу, компоненти мінеральних добрив. При попаданні атмосферної вологи на поверхні робочих органів машин починається руйнація металевої структури. Головна умова протікання корозійного процесу – контакт металу з водою та киснем (рис. 1.2). Ступінь зволоженості робочих органів машин впливає на швидкість і механізм протікання атмосферної корозії. Збільшення швидкості корозії відбувається коли значення відносної вологості поверхні металу перевищує встановлені критичні норми. Для сталей марок Ст3, 20,45 відносна критична вологість становить 70 % [1].

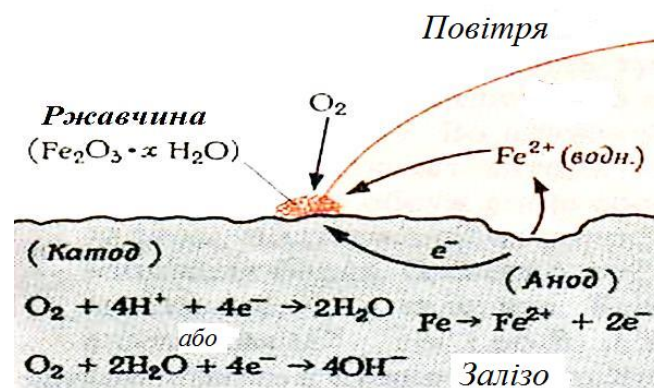


Рис.1.2. Схематичне зображення атмосферної корозії

Розрізняють три види атмосферної корозії: суха, волога та мокра. Якщо відносна вологість повітря становить $\leq 60\%$, протікає суха атмосферна корозія.

Механізм корозійної руйнації – хімічний. На поверхні утворюються захисні плівки, що гальмують процес корозії. Спочатку процес протікає швидко, утворюється тонка оксидна плівка, потім уповільнюється і встановлюється постійна невелика швидкість корозії.

Однак, у разі присутності в повітрі домішок газів, швидкість корозії може різко зрости, що нерідко призводить до потьмарення поверхні металу та значної втрати їм відбивних та декоративних властивостей.

Волога атмосферна корозія спостерігається за наявності на поверхні тонкої плівки вологи при відносній вологості повітря $\sim 60\ldots 70\%$.

Швидкість процесу залежить від відносної вологості, забрудненості атмосфери, слідів мінеральних добрив, що знаходяться на поверхні металу, гігроскопічності продуктів корозії. На поверхні металу тим часом утворюється дуже тонкий, невидимий неозброєним оком шар води чи розчину електроліту.

Мокра атмосферна корозія розвивається при впливі на поверхню опадів і конденсату води. 100% вологість повітря сприяє осіданню водних крапель, товщина водяного шару становить понад 1 мм. У цих умовах водяна пара конденсується на поверхні металу та утворює шар води.

Таким чином, на швидкість атмосферної корозії впливають властивості утворених продуктів корозії, зовнішні кліматичні чинники, різке коливання температури, агресивні домішки повітря, компоненти мінеральних добрив.

Наявність вологи в повітрі ще не призводить до значної корозії сталі.

Часто навіть при 99% відносної вологості повітря корозія може бути незначною і практично постійною (рис. 1.3).

Дослідження А.Е. Північного, Є.А. Пучина та ін [2] показали, що під дією атмосферної корозії змінюється втомна міцність металу. Ними встановлена залежність втомної міцності від способу зберігання машин (табл. 1.1).

У роботах Северньова М.М. встановлено, що корозійні втрати металу найбільш сильні на поверхні ґрунту (рис. 1.4).

Це пов'язано з тим, що наявна у ґрунті волога і водорозчинні солі, разом із киснем повітря стимулюють перебіг атмосферної корозії на металевих поверхнях, повернених до ґрунту.

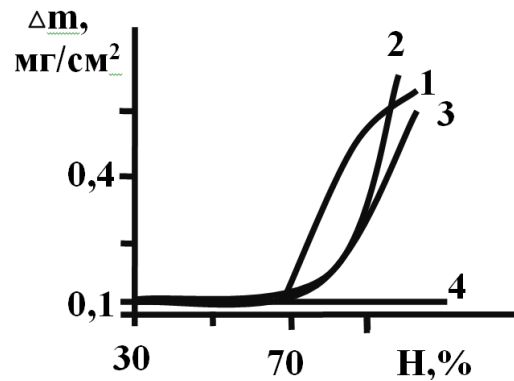


Рис. 1.3. Залежність корозії заліза (втрати маси Δm) від відносної вологості повітря (Н) (Худсону), що містить: 1 – 0,01 % SO₂; 2 – 0,01 % SO₂ та тверді частинки; 3 – тверді частинки; 4 – чистого

Таблиця 1.1 – Вплив способу зберігання на втомну міцність металу

Спосіб зберігання техніки	Втомна міцність, МПа		
	Ст3	Сталь 20	У8
В закритому приміщенні	32	22	35
Під навісом	22	20	16
На відкритому майданчику	20	18	17

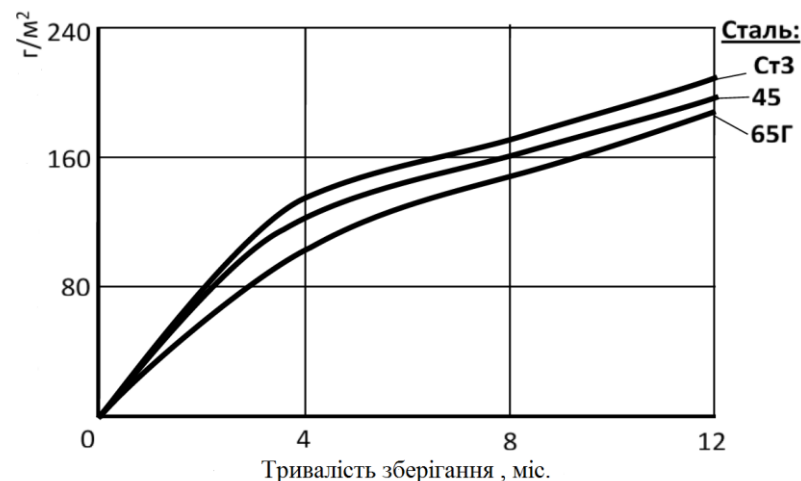


Рис. 1.4. Динаміка корозійних втрат сталей Ст3, 45 і 65Г на поверхні ґрунту в умовах відкритої атмосфери

Відповідно до річних атмосферних випробувань, корозійна стійкість сталі Ст3 на поверхні ґрунту приблизно на 9 % нижче, ніж 65Г. В роботі 24

експериментально встановлено, що осі, захисні кожухи, рами уражаються корозією на глибину 0,02-0,07 мм за рік, а робочі органи та опорні частини, що взаємодіють з ґрунтом, на глибину до 0,12-0,14 мм. Корозійні втрати сталей Ст3, 45 і 65Г над ґрунтом були на 13% нижче. Отримані результати підтверджують на неправильності зберігання робочих органів сільськогосподарських машин на поверхні ґрунту без спеціальних підкладок або підставок, як того вимагає ДСТУ.

У таблиці 1.2 наведено дані, що характеризують вплив корозійної активності мінеральних добрив на руйнування низьковуглецевої сталі у мінеральних добривах [4, 5, 7]. Мінеральні та органічні добрива, отрутохімікати є агресивними середовищами у сільськогосподарському виробництві, атмосферна корозія деталей сільськогосподарських машин може збільшитись у них до 10 разів і більше.

Зі збільшенням вологості мінеральних добрив підвищується корозійна агресивність через зростання ступеня їх дисоціації та швидкості електрохімічної корозії металу. Швидкість корозії металевих поверхонь може зменшитися за надмірного підвищення вологості через зменшення притоку кисню повітря до поверхні металу.

Таблиця 1.2 – Корозійні втрати сталі Ст3 у мінеральних добривах

№	Робоче середовище	Корозійні втрати вуглецевої сталі Ст3	
		г/(м ² год)	мкм/рік
1	суперфосфат	350-380	35-40
2	аміачна селітра	380-400	38-50
3	нітрофоска	850-900	100-120
4	сульфат амонію	910-1100	125-145
5	мідний купорос	1900-2100	250-270

Тип мінеральних добрив впливає на характер корозійних вражень. У суперфосфаті, сечовині та аміачній селітрі корозія протікає більш рівномірно; у нітрофосці утворюються глибокі піттинги, що призводять до руйнування деталей при незначних корозійних втратах маси. Сталь 65Г у вологих добривах – аміачній селітрі, нітрофосці та сечовині має меншу корозійну стійкість, ніж сталь Ст3.

Через корозійне руйнування якісно змінюється поверхня деталей машин, з'являються тріщини і розриви металу в тонколистових металоконструкціях і зварних з'єднаннях, знижуються зносостійкість і міцність деталей, працездатність і ресурс машин, зростають затрати на ремонт та усунення відмов. При експонуванні в нітрофосці більшою схильністю до корозійних руйнувань, порівняно з основним металом, має зварний шов, особливо в зоні термічного впливу на відстані 6-8 мм від осі шва (в зоні відпустки металу).

Під дією атмосферної корозії протягом 12-ти місяців в умовах помірного клімату втомна міцність зварних з'єднань, виконаних ручним дуговим зварюванням знизилася на 45-47%, газовим зварюванням – на 28-40%, точковим контактним – на 52 %.

Різні дослідники стверджують, що високий рівень електрохімічної неоднорідності поверхні зварного з'єднання в умовах дії атмосферних опадів та високої вологості повітря є головною причиною збільшення швидкості корозії зварних швів.

До захисних речовин для консервації сільськогосподарської техніки на період тривалого зберігання пред'являються такі вимоги: надійний захист протягом року в умовах відкритого зберігання; технологічність для механізованого нанесення; відсутність подальшої розконсервації; безпека; доступність за вартістю; використання сировини із гарантованими обсягами поставок.

Згідно з проведеним аналізом, консерваційні матеріали розділені на 10 груп:

- консерваційні захисні мастила;
- консерваційні оливи;
- плівкоутворюючі нафтові склади;
- захисні водно-воскові склади;
- маслорозчинні інгібітори корозії та присадки;
- кубові залишки та відходи нафтохімії;

- відпрацьовані оливи, відходи та відстої сільгоспвиробництва;
- консерваційні речовини власного виробництва;
- антикорозійні мастики для автомобіля;
- речовини для прихованих порожнин автомобіля.

З перерахованих консерваційних матеріалів більш доступні для застосування у сільгоспвиробництві три групи: кубові залишки та відходи нафтохімії; відпрацьовані мінеральні оливи, відходи та відстої сільгоспвиробництва; консерваційні речовини власного виробництва.

Огляд інформації з консерваційних матеріалів показує, що практично не досліджено захисні склади на доступній та дешевій мазутній основі. Так як введення мазуту М100 до складу МЕБ-4 сприяє зростанню атмосферостійкості бітумного покриття, слід очікувати, що захисні властивості складів на мазутній основі можуть бути зрівнянні з захисними властивостями інгібованих бітумних складів. При цьому низький темп висихання мазутного покриття, що наноситься, може бути нівельований тривалістю періоду зберігання тукорозкидальних машин 7-9 міс.

Вибір захисних покриттів залежить від якості підготовки поверхні до консервації. Наявність забруднень у вигляді корозійних вражень і залишків мінеральних добрив впливає на якість консервації. Поверхні тукорозкидальних машин, які перебували в експлуатації, практично неможливо очистити від частинок добрив і корозійних поразок. Тому захисні покриття повинні гальмувати корозійні процеси під нанесеним покриттям. Для цього склади, що наносяться, повинні мати хорошу проникаючу здатність.

До складів з хорошими проникними властивостями відносяться рідкі консерваційні оливи. Проникнення рідких інгібованих масел до металу, що знаходиться під продуктами корозії або забрудненням, та утворення адсорбованих плівок сприяє нейтралізації дії агресивних речовин (волога, кисень, розчини туків). Склади, які при нанесенні на метал швидко висихають і

утворюють тверде покриття, не в змозі проникнути крізь пори продуктів корозії та ізолювати метал від агресивних речовин.

Тому при виборі захисних речовин для консервації тукорозкидачів важливо оперативно оцінити їх змочувальні властивості при нанесенні на чисті і прокородовані поверхні металу.

Висновки по розділу

Відсутність ефективних технологій консервації машин, доступних консерваційних речовин та технічних засобів загострює проблему зберігання тукорозкидальних машин, призводить до зниження їх надійності, напрацювання на відмову, терміну служби. В результаті сільгоспідприємства змушені витратити додаткові кошти на закупівлю запасних частин і ремонт техніки, що відмовила. Систему зберігання техніки в Україні доцільно вдосконалювати шляхом розробки технологій консервації, які забезпечують маловитратність технічних і трудових ресурсів, екологічну безпеку та економічну ефективність їх застосування.

В даний час для захисту техніки від атмосферної корозії доступними та ефективними є матеріали, які одержують з дешевих компонентів з додаванням інгібіторів корозії. Поверхні тукорозкидальних машин практично неможливо очистити від часток добрив та корозійних вражень. Тому захисні речовини повинні мати хорошу інгібуючу, змочуючу і проникаючу здатність, щоб гальмувати корозійні процеси під нанесеним покриттям. Огляд інформації з консерваційних матеріалів показує, що практично не досліджено захисні речовини на доступній та дешевій мазутній основі з додаванням інгібіторів корозії. Показано, що нанесення в'язких складів з підігрівом дозволяє підвищити товщину та захисні властивості консерваційного покриття, економити органічні розчинники (або моторне паливо).

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В умовах хімічних лабораторій проводилися прискорені корозійні дослідження мазутних складів, визначалися їх фізико-реологічні характеристики, змочувальні і просочуючі властивості, оцінювалися корозійні втрати металу.

В умовах лабораторії кафедри машиновикористання та сервісу технологічних систем поліського національного університету визначалися параметри напірного бака з цокольним відсіком і підігріваного шланга в процесі нагрівання в'язкого захисного складу, досліджувався гідравлічний опір магістралі подачі складу на розпилення. На кафедрі "Машиновикористання та сервісу технологічних систем " ПНУ визначалися теплофізичні характеристики інгібованого мазутного складу. Натурні випробування захисних покриттів на атмосферостійкість проводилися в умовах м. Житомира.

Експериментальний навісний агрегат для нанесення захисних складів був виготовлений у лабораторії кафедри «Машиновикористання та сервісу технологічних систем» із залученням фахівців ННЦ «ІМЕСГ». Приготування інгібованого мазутного складу здійснювалося на установці ОПУ-80 [6] в умовах сільгосп підприємства.

Виробничі дослідження елементів технології консервації тукорозкидальних машин, навісного агрегату для нанесення захисних складів проводилися на майданчиках зберігання техніки сільськогосподарських підприємств Житомирської області.

Протикорозійні властивості захисних сумішей залежать від інгредієнтів, які пригнічують (сповільнюють) електрохімічну корозію металу або підвищують атмосферостійкість покриттів. За результатами аналізу властивостей продуктів нафтохімії вибрано компоненти для розробки консерваційних складів на мазутній основі:

- Мазут М-100 – суміш вуглеводнів, нафтових смол, асфальтенів, карбенів, карбоїдів;
- Кубові аміни (присадка Емульгін) – термопластична речовина рожево-коричневого кольору, містить парафінові вуглеводні, первинні та вторинні аміни, що уповільнюють електрохімічну корозію сталі;
- Гарматне мастило ПВК (гарматне сало) – термопластична речовина світло-коричневого кольору, містить петролатум, оливу та інгібітори корозії;
- Присадка КО-СЖК – пластична речовина темно-коричневого кольору, що містить суміш монокарбонових жирних кислот і смолистих продуктів конденсації та полімеризації;
- Уайт-спірит – органічний розчинник із фракцій бензину з температурою кипіння 150 - 200 °С. Кількість уайт-спіриту впливає на технологічність нанесення покриття та його властивості.

На сталі 08кп досліджували захисні властивості покриттів з мазуту М100 та складів, що містять мазут М100 з однією з присадок (Емульгін, КО-СЖК, гарматне сало, відпрацьоване синтетичне масло Мобіл-1) у кількості 3, 5, 7 та 10%. Консерваційні склади одержували змішуванням компонентів при нагріванні до 80 °С. Покриття з цих складів оцінювали на стійкість до впливу рідких корозійно-активних середовищ: 3% розчину хлориду натрію та концентрованих розчинів мінеральних добрив.

Випробування проводили за стандартними методиками, викладеними в ДСТУ, тривалість випробувань – 15 діб. Концентровані розчини отримували шляхом змішування 4,5 кг дистильованої води (40-50 °С) з 1 кг гранульованих добрив: карбаміду ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), сульфату калію (K_2SO_4), хлориду калію (KCl), аміачної селітри (NH_4NO_3), суперфосфату.

Для випробувань у корозійно-активних середовищах пластини, покриті консерваційними складами, занурювали в розчини хлориду натрію і мінеральних добрив (рис. 3.1). Об'єм розчину становив 15 см^3 на 1 см^2 площі зразка. Після випробувань покриття з пластин видаляли розчинником, продукти корозії

видаляли протруюванням пластин у 10% розчині соляної кислоти з 10 г/л інгібітора ПКУ. Очищені від корозії пластини промивали водою, сушили спиртом та зважували на аналітичних вагах.



Рис. 2.1. Пластини з покриттями у розчинах мінеральних добрив

Важливою характеристикою захисного складу є його здатність гальмувати електрохімічну корозію в корозійно-активному середовищі. Кінетику електродних процесів на металі, покритому тонкими плівками захисних складів, досліджували за допомогою поляризаційних вимірів [2]. Для проведення вимірювань були використані:

- Робочі електроди зі сталі 08кп з площею робочої поверхні $0,5 \text{ см}^2$, армовані в оправлення із суміші епоксидної смоли ЕД-6 з поліетилен-поліаміном. Електроди полірували оксидом магнію та знежирювали ацетоном або спиртом.

- Триелектродна електрохімічна комірка (рис. 2.2), що містить основну ємність (в центрі) з робочим електродом, ємність (праворуч) з допоміжним платиновим електродом і ємність (ліворуч) з електродом порівняння – насиченим хлоридсрібним.



Рис. 2.2 Триелектродна електрохімічна комірка

Ємності з'єднанні відведеннями зі скляних трубок, в яких як роздільники використовуються скляні крани (електролітичні ключі). Вони потрібні для того, щоб розділити ємності робочого та допоміжних електродів, але при цьому забезпечити електричний контакт між ними. Основна ємність і ємність із платиновим електродом заповнені розчином NaCl, а ємність із хлоридсрібним електродом – розчином KCl.

Після занурення в розчин робочі електроди витримували 10-15 хв для встановлення квазістаціонарного потенціалу.

- Електрохімічний вимірювальний комплекс, що складається з аналізатора імпедансу SI 1255 і потенціостату SI 1287 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Вимірювальний комплекс фірми Solartron (Велика Британія)

Електрохімічні вимірювання проводили в потенціодинамічному режимі на потенціостаті SI 1287 зі швидкістю розгорнення потенціалу 0,66 мВ/с. Час виміру потенціалу корозії – не менше 15 хв. після включення електрохімічної комірки. Дані вимірювань з потенціостату SI 1287 поступали в комп'ютер, завантажений пакетом додатків і зберігалися в таблицях Excel.

На атмосферні випробування поставлені 2 партії по 12 пластин зі сталі 08кп розміром 120×60×3 мм, покриті інгібованим мазутним складом (84 % мазут M100 + 6 % Емульгін + 10 % уайт-спірит) та бензино-бітумним складом (6 35% бітум + 5% відпрацьована олива). Контрольна партія – без покриття.

Масу компонентів відміряли на електронних вагах ВК-3000 у відповідності з їх розкладом, компоненти завантажували в металеві кружки. Кухоль з компонентами для бензино-бітумного складу закривали кришкою і залишали набухати на 2 доби.

Потім компоненти бензинобітумного складу перемішували до повного розчинення шматків бітуму, фільтрували склад через сітку при переливі в лабораторну склянку. Компоненти інгібованого мазутного складу нагрівали до 80-90 °С, ретельно перемішували та фільтрували у гарячому вигляді.

У нагрітому вигляді (38-43 °С) інгібований мазутний склад наносили пензлем на партії пластин, заздалегідь зважених на аналітичних електронних вагах РС 224-С.82

Бензино-бітумний склад наносили пензлем за кімнатної температури. Покриті пластини вертикально підвішували у витяжній шафі на 5 діб для стікання надлишку складів. Потім на електронних вагах РС 224-3 зважували пластини, покриті складами.

Атмосферні випробування покриттів проводили за умов впливу кліматичних чинників передмістя м. Житомира. Для випробувань на атмосферостійкість покриті складами пластини розміщували на відкритому корозійному стенді (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Випробування захисних сумішей на атмосферостійкість

Знімання пластин з корозійного стенду здійснювали через 3, 6, 9, 12 міс., при кожному зніманні брали по 3 пластини з партії.

Покриття з пластин змивали розчинником (уайт-спіритом), продукти корозії видаляли протруюванням в 10% розчині соляної кислоти з 10 г/л інгібітора ПКУ. Очищені пластини промивали дистильованою водою, сушили спиртом і зважували на електронних аналітичних вагах РС 224-С.

Щільність (кг/м^3) захисних сумішей вимірювали за допомогою ареометрів АОН-1 відповідно до ДСТУ. Захисну суміш нагрівали до 80°C і заливали в циліндр. У циліндр з нагрітим складом опускали термопар цифрового термометра і ареометр АОН-1, шкала якого охоплювала діапазон зміни щільності складу. У міру охолодження складу фіксували його температуру та позначку щільності по меніску на шкалі ареометра.

Об'ємну теплоємність ($\text{Дж/дм}^3\cdot^\circ\text{C}$) та динамічну в'язкість ($\text{Па}\cdot\text{с}$) захисної суміші визначали на автоматизованій вимірювальній установці, розробленій на кафедрі «Машиновикористання та сервісу технологічних систем» Поліського національного університету. Конструкція вимірювальної установки представлена рис. 2.5.

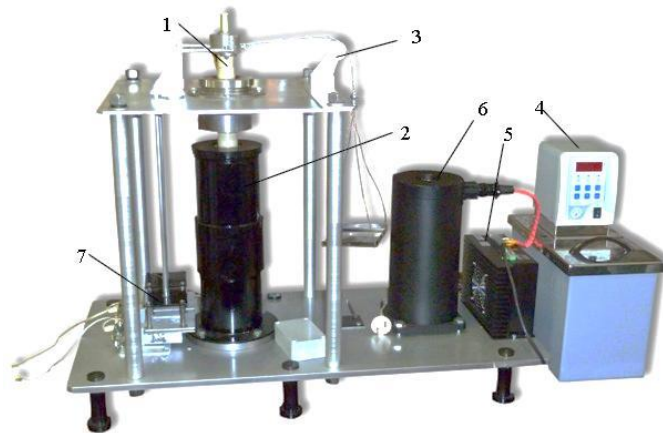


Рис. 2.5. Установка для теплофізичних вимірювань: 1 – внутрішній циліндр, 2 – теплообмінник, 3 – пристрій для калібрування тензодатчиків; 4 – термостат LT-208; 5 – блок управління; 6 – кроковий двигун; 7 – тензодатчики

Управління процесом проведення експерименту та обробка даних, отриманих за допомогою вимірювальної установки, реалізовано на базі персонального комп'ютера, згідно з програмою розробленою в середовищі LabView.

Дослідження параметрів процесу нагрівання захисного складу в напірному резервуарі проводилися на стенді з використанням вузлів експериментального агрегату навісного УЛН-03 (рис. 2.6).

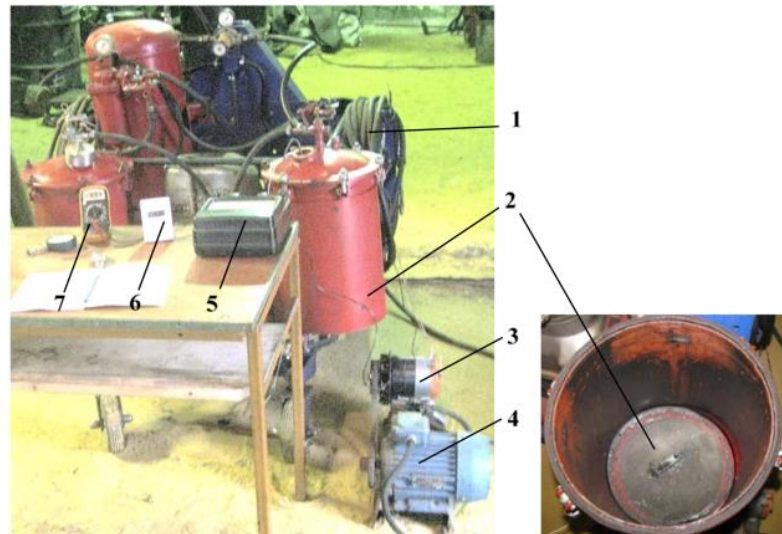


Рис. 2.6. Стенд для дослідження процесу нагрівання захисної суміші у напірному резервуарі навісного агрегату УЛН-03: 1 – шланг, що обігрівається, для подачі складу на розпилення; 2 – напірний резервуар із цокольним відсіком; 3 – генератор Г 1000В; 4 – електродвигун для приводу генератора; 5 – вольтметр постійного струму; 6 – цифровий термометр; 7 – мультиметр МААС (вимірювання сили струму, електричного опору).

Висновки по розділу

В другому розділі магістерської роботи розроблено методика та приведено обладнання для проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Покриття з інгібованої мазутної суміші було піддано річним випробуванням на атмосферостійкість. При цьому пластини з покриттями розміщувалися на стенді просто неба. Покриття на пластинах висихали та ставали твердими через 1,5-2 місяці випробувань. У табл. 3.1 представлені значення корозійних втрат сталі 08кп при захисті покриттями, що містять інгібований мазутний та бензино-бітумний склади.

Таблиця 3.1 – Результати випробувань атмосферостійкості покриттів

№ п/п	Склад покриття	Товщина покриття, мкм	Корозійні втрати сталі 08кп, г/м			
			3 мес.	6 мес.	9 мес.	12 мес.
1	Контроль (без покриття)	-	72	93	106	113
2	Інгібована мазутна суміш (84% мазут + 6% Емульгін + 10% уайт-спірит)	68	0	0,38	0,84	2,14
3	Бензино-бітумна суміш	46	0,8	3,1	5,9	7,0

На рис. 3.1 показано динаміку зміни корозійних втрат пластин сталі 08кп, випробуваних без покриття, а також захищених покриттями з інгібованої мазутної суміші та бензино-бітумної суміші.

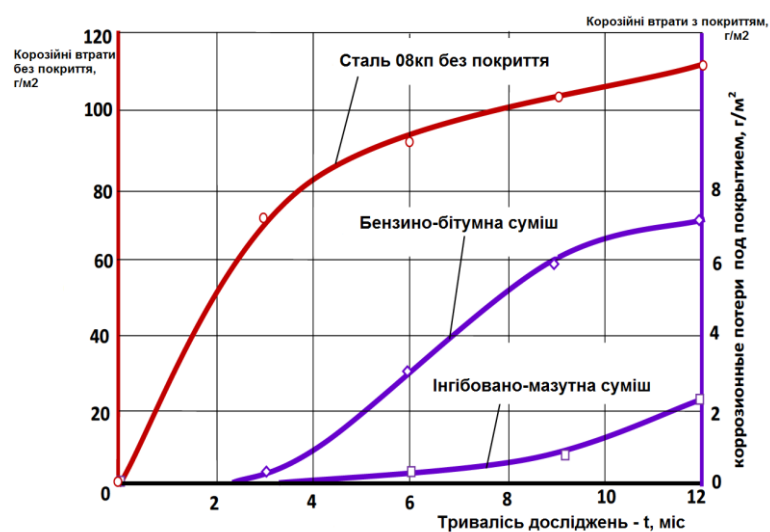


Рис. 3.1. Динаміка зміни корозійних втрат сталі 08кп без захисту та при захисті консерваційними сумішами в умовах відкритої атмосфери

Річні втрати незахищеної сталі 08кп в умовах м. Житомира становили 113 г/м², що на 8,7% відрізняється від прогнозованих втрат металу. При захисті бензино-бітумною сумішшю річні втрати металу знижуються у 16 разів, а при захисті інгібовано-мазотною сумішшю – у 52 рази.

Дослідження підтвердило більш високу атмосферостійкість інгібовано-мазотної сумішів порівнянні з бензино-бітумною. За результатами проведених випробувань ця захисна суміш рекомендується застосовувати при консервації сільськогосподарської техніки на період тривалого зберігання – до 1 року.

Дослідження корозійних вражень машин для внесення мінеральних добрив проводились в умовах ТОВ «Райз-Полісся» Коростенського району, Житомирської області. Заходи щодо встановлення техніки на короткочасне зберігання строком від 10 днів до 2-х місяців, як вимагає ДСТУ в підприємстві не проводяться. Після закінчення польових робіт та виведення сільськогосподарських машин з поля, їх робочі поверхні очищають та миють.



Рис. 3.2. Польові майданчики з технікою ТОВ «Райз-Полісся» Коростенського району, Житомирської області

Після миття частинки ґрунту та мінеральних добрив залишаються на поверхнях кузова та робочих органів . В очікуванні консервації ці поверхні піддаються впливу атмосферних факторів, які посилюють активність залишків мінеральних добрив (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Корозійні руйнування на тукорозкидачах

Як видно з рис. 3.3, дно бункера, виготовлене з нержавіючої сталі і не кородує. У той же час стінки бункерів з часом кородують і руйнуються, знижуючи ресурс машини.

При розробці та виготовленні навісного агрегату УЛН-03 для нанесення в'язких захисних сумішей враховано науково-обґрунтовані параметри напірного резервуара та підігрівачого шлангу подачі суміші на розпилення.

Загальний вигляд навісного агрегату УЛН-03 показаний на рис. 3.4. До складу агрегату включені такі основні вузли: замок автозчеплення СА-1, рама на 4-х колесах, конічний редуктор з карданом, компресор У43102, ресивер, генератор Г 1000В, резервуар з підігрівом для в'язкої суміші з цокольним відсіком і краном, резервуар рідкої протикорозійної суміші, шланг подачі повітря і шланг з підігрівом для подачі суміші до пістолета-розпилювача, повітряний шланг з обдувним пістолетом, електричний пульт управління нагріванням (рис. 3.5).



Рис. 3.4. Експериментальний агрегат УЛН-03 для нанесення в'язких захисних сумішей

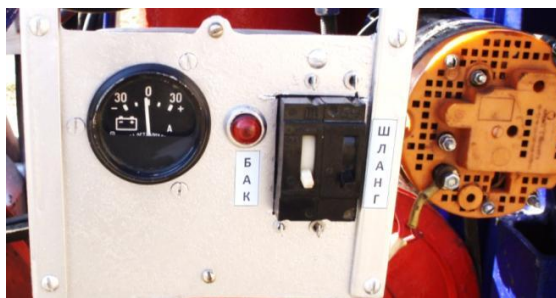


Рис. 3.5. Генератор та електричний пульт керування нагріванням суміші
Цокольний відсік всередині підігрівача чого резервуара відділений двома сітками. Під дном резервуара в корпусі, заповненому периклазом і мідною насічкою, розміщені два низьковольтні нагрівальні елементи.

Завдяки запропонованій конструкції нагрівача досягнуто рівномірного розподілу теплоти від оболонок нагрівальних елементів (ОНЕ) через поверхню дна резервуара до захисної суміші. Монтаж ОНЕ під резервуаром забезпечує нанесення нагрітого складу без технологічних збоїв, поліпшення умов обслуговування контактних з'єднань ОНЕ, а також очищення дна резервуара від залишків суміші.

Всередину шлангу з підігрівом для подачі складу, вставлена електрична спіраль зі сталевого дроту, всередині шланга подачі повітря – мідний провід. Один кінець спіралі з'єднаний з металевим корпусом пістолета-розпилювача і через гнучкий мідний провід – з масою агрегату. Другий кінець спіралі через вузол виведення приєднаний до вимикача на пульті управління і через амперметр – до клеми «плюс» генератора.

Вузол виведення спіралі зі шланга виконаний у вигляді сталевого трійника, порожнині якого співвісно зі шлангом подачі суміші розміщений з'єднувальний дріт з діелектричним покриттям. При цьому відкрита ділянка дроту з'єднана з кінцем спіралі всередині шланга, а ділянка з діелектричним покриттям розташована в порожнині трійника, охоплена герметизуючим ущільненням і підведена до автоматичного вимикача на пульті.

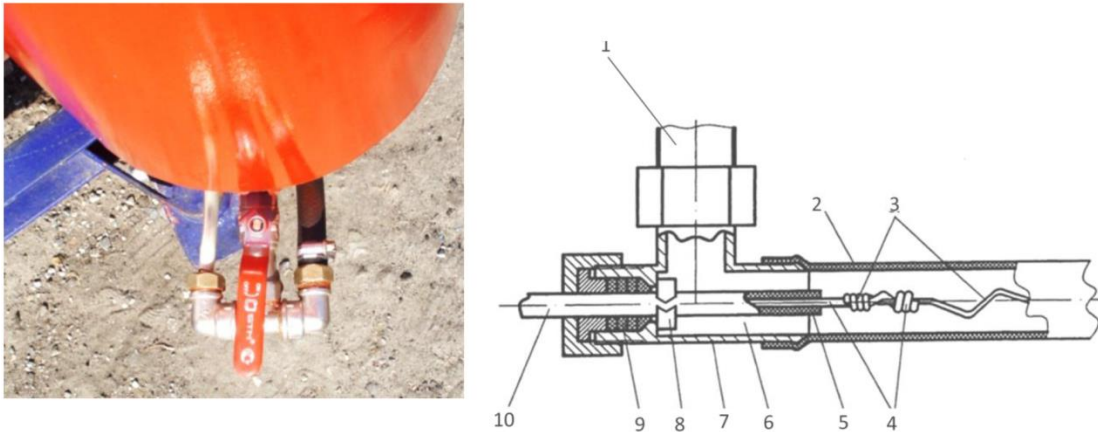


Рисунок 3.6. Вузол виведення електричної спіралі зі шлангу з підігрівом: 1 – зливний патрубок; 2 – шланг; 3 – другий кінець нагрівальної спіралі; 4 – відкрита ділянка дроту; 5 – діелектричне покриття дроту; 6 – порожнина трійника 7; 8 – упор; 9 – ущільнення; 10 – з'єднувальний провід

Пневмосистема агрегату включає компресор У43104, ресивер на 50 л, водо-оливовідділювач, пневморедуктор, розподільні повітряні крани, манометри для контролю тиску повітря в ресивері та в резервуарах з сумішами, впускно-випускні повітряні крани на кришках резервуарів.

Для роботи на майданчиках зберігання агрегат УЛН-03 навішують на трактор типу Білорус-80 за допомогою автозчипки (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Навісний агрегат УЛН-03 із трактором Беларус-80.

ТОВ «Райз-Полісся» Коростенського району, Житомирської області на робочих органах розкидачів мінеральних добрив проведено виробничі випробовування інгібованого мазутного складу. Найбільш схильні до корозії робочі органи тукорозкидачів показані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Робочі органи тукорозкидачів, що піддаються корозії

№	Машини	Робочі органи
1	Розкидачі мінеральних добрив, зернотукові сівалки	Бункер, висіваючі котушки, рама, вальці, подаючі тарілки, стрічковий транспортер
2	Оприскувачі	Бункер, дозатори і деталі, які взаємодіють з отрутохімікатами

Дослідження проводилися на навісному розкидувачі, конструкція якого мала осередки корозійних руйнувань (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Осередки корозії на розкидачі мінеральних добрив

При підготовці до зберігання розкидача, його бункер та робочі диски з осередками корозії, що пошкодили 80 % площі поверхні, були покриті інгібованим мазутним складом один шар (рис. 3.9, а).



Рис. 3.9. Результати консервації розкидача мазутним складом

Огляд стану консерваційного покриття на розкидачі, проведений після 7 міс. зберігання, підтвердив його хорошу якість (рисунк 3.9, б). Покриття було сухим, без слідів корозійної руйнації.

За даними виробничих випробувань, норматив витрати інгібованого мазутної суміші при одношаровому нанесенні на горизонтальну площу склав $A_k=150\text{мл/м}^2$ ($0,14\text{ кг/м}^2$). При цьому технічна продуктивність нанесення захисного покриття пневматичним пістолетом-розпилювачем, оснащеним розпилювальною головкою, склала $F_{\text{п}} = 136\text{ м}^2/\text{год}$, а насадкою для обробки важкодоступних місць – $103\text{ м}^2/\text{год}$.

В результаті виробничих випробувань розробленої технології консервації самохідного розкидача мінеральних добрив AMAZONE ZA-M900 виявлено необхідність проведення передексплуатаційної протикорозійної обробки облицювання, рами, кузова, підвіски та металевих елементів ходової частини базового автомобіля.

Технологічні можливості створеного агрегату УЛН-03 дозволяють використовувати його для нанесення будь-яких антикорозійних мастик та ґрунт-емалей. Проведення передексплуатаційної протикорозійної обробки не виключає використання розробленого інгібованого мазутного складу при консервації поверхонь розкидачів, захисні покриття яких руйнуються в процесі експлуатації та поточного ремонту.

Висновки по розділу

Хороша атмосферостійкість топкового мазуту М100 послужила основою для його використання в якості основного компонента при розробці рецептури захисного складу для консервації розкидачів мінеральних добрив. Інгибування мазуту присадкою Емульгін (6%) покращило захисні властивості мазуту М100, забезпечивши зниження швидкості корозії металу до 4-х разів.

Розроблено та випробувано у виробничих умовах технологію консервації тукорозкидальних машин інгибованою мазутною сумішшю, що отримується із залученням топочного мазуту, уайт-спіриту та кубових амінів як інгибуюча присадка. Розроблено навісний агрегат УЛН-03 з компресором і автотракторним генератором для нагрівання та пневматичного нанесення інгибованого мазутної суміші на схильні до корозійного руйнування поверхні тукорозкидачів.

За результатами виробничих випробувань навісного агрегату при консервації інгибованим мазутною сумішшю самохідного розкидачу AMAZONE ZA-M900 визначено витрати матеріальних та трудових ресурсів: час роботи – 1,5 год; витрати інгибованої мазутної суміші – 9,3 л/шт, витрата дизельного палива – 3,2 л/год. Сумішшю захищали нижні поверхні кузова, включаючи раму, підвіску, крила, задні двері та задній відсік автомобіля (під бункером). Встановлено параметри технічної продуктивності нанесення складу – 103-136 м²/год та нормативу витрати – 0,14 кг/м². Використання розробленого агрегату УЛН-03 при консервації забезпечує якісний захист важкодоступних частин техніки.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз результатів досліджень корозійних руйнувань тукорозкидальних машин підтверджує, що якісний захист шляхом нанесення консерваційних покриттів сприяє збереженню ресурсу машин та зниженню до 6 % витрат на ремонт. Для ефективної консервації тукорозкидачів необхідний атмосферостійка суміш і мобільний технічний засіб для його нанесення в умовах зниженої температури.

2. Розроблено інгібовано-мазутна суміш (ІМС), що містить мазут М100 (84%), Емульгін (6%) і уайт-спірит (10%). В умовах впливу розчинів азофоски і хлористого калію покриття з ІМС знижує корозійні втрати сталі 08кп в 12 і 65 разів відповідно. Корозійні втрати сталі 08кп за умов м. Житомира становлять 113 г/м² на рік, при захисті ІМС втрати знижуються в 52 рази.

3. Розроблено та випробувано у виробничих умовах технологію консервації тукорозкидальних машин інгібованою мазутною сумішшю, що отримується із залученням топочного мазуту, уайт-спіриту та кубових амінів як інгібуюча присадка. Розроблено навісний агрегат УЛН-03 з компресором і автотракторним генератором для нагрівання та пневматичного нанесення інгібованого мазутної суміші на схильні до корозійного руйнування поверхні тукорозкидачів.

4. За результатами виробничих випробувань навісного агрегату при консервації інгібованим мазутною сумішшю самохідного розкидачу AMAZONE ZA-M900 визначено витрати матеріальних та трудових ресурсів: час роботи – 1,5 год; витрати інгібованої мазутної суміші – 9,3 л/шт, витрата дизельного палива – 3,2 л/год. Сумішшю захищали нижні поверхні кузова, включаючи раму, підвіску, крила, задні двері та задній відсік автомобіля (під бункером). Встановлено параметри технічної продуктивності нанесення складу – 103-136 м²/год та нормативу витрати – 0,14 кг/м². Використання розробленого агрегату УЛН-03 при консервації забезпечує якісний захист важкодоступних частин техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. Москва : Металлургия, 1969. 159с.
2. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва : Наука, 1976. 279с.
3. Тищенко С.С., Дубровін В.О., Теслюк В.В., Волянський М.С. Сільськогосподарські машини. Теорія і розрахунок робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту. Київ: НУБіП України; ЦП Компрінт, 2015. 158 с.
4. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Іщенко В. В. Сільськогосподарські машини. Київ: НУБіП України; Агроосвіта, 2015. 678 с.
5. Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. Сільськогосподарські і меліоративні машини. Київ : ІПТО НАПН України, 2015. 291 с.
6. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Харків : Мачулін, 2016. 244 с.
7. Романченко Н. М. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2016. 188 с.
8. Игнатъев Р.А., Михайлова А.А. Защита техники от коррозии, старения и биоповреждений. Москва : Россельхозиздат, 1987. 346 с
9. Большанина С.Б. Корозія металів та захист від неї. СумДУ, 2012. 54 с.
10. Костенко І.А., Челябієва В.М. Корозія та захист металів від корозії. Чернігів: ЧНТУ, 2014. 50 с.
11. Михайлова А. А., Игнатъев Р. А. Противокоррозионная защита сельскохозяйственной техники. Москва : Россельхозиздат, 1981. 256 с

12. Килимник А.Б., Гладышева И.В. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2008. 80 с.

13. Aliofkhaeaei M. Developments in Corrosion Protection. AvE4EvA, 2014. 698 p.

14. Нестеренко С.В. Захист від корозії. Конспект лекцій. Харків : ХНАМГ, 2012. 123 с.