

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

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Будзинський Іван Васильович**

**УДК 631.354**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

208 “Агроінженерія”

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

\_\_\_\_\_ **Будзинський І.В.**

**Керівник роботи**

Грабар І.Г.

д.т.н., професор

**Житомир – 2023**

## АНОТАЦІЯ

**Будзинський Іван Васильович. Удосконалення технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано вибір системи лакофарбових покриттів для фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів. Застосування системи «епоксидний ґрунт (ЕП-057) – акрилова емаль (АК-1301)» дозволяє отримувати, порівняно з іншими випробуваними системами, покриття з меншим коефіцієнтом тертя ковзання із зернорослинною масою (в 1,3 - 2,5 рази); з більшою адгезійною міцністю (в 1,7 – 2,8 рази); з більшою міцністю до стирання (1,5 – 2,4 рази).

Встановлено, що збільшення товщини зовнішнього шару (емалі) по відношенню до товщини первинного шару (ґрунту) за рівної загальної товщини всього лакофарбового покриття призводить до підвищення тривалості роботи при терті та зниженні інтенсивності зношування покриття в цілому.

Запропоновано технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жниварок зернозбиральних комбайнів, що передбачає формування на ділянках, схильних до інтенсивного зношування, лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю за рахунок додавання в емаль до 34% пластифікатора від загального обсягу; поетапного додавання в емаль розріджувача (перед нанесенням другого та наступних шарів) до 60% від обсягу емалі, що залишилася після нанесення першого шару.

*Ключові слова: технічне обслуговування, жатка, фарбування, зношування, ремонт.*

## ANNOTATION

*Budzynskyi Ivan Vasilyevich. Improvement of maintenance of grain harvesters. – Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The qualification work substantiates the choice of a paint and varnish coating system for painting the working surfaces of combine harvester headers. The use of the system "epoxy primer (EII-057) - acrylic enamel (AK-1301)" allows obtaining, in comparison with other tested systems, coatings with a lower coefficient of sliding friction with the grain mass (1.3 - 2.5 times); with higher adhesive strength (1.7 - 2.8 times); with higher abrasion resistance (1.5 - 2.4 times).

It has been established that an increase in the thickness of the outer layer (enamel) relative to the thickness of the primary layer (primer) with an equal total thickness of the entire paintwork leads to an increase in the duration of friction operation and a decrease in the intensity of wear of the coating as a whole.

A technological process for repair painting of the working surfaces of combine harvester headers is proposed, which involves the formation of a paintwork coating with increased wear resistance in areas subject to intensive wear by adding up to 34% of the plasticizer to the enamel by volume; gradual addition of a thinner to the enamel (before applying the second and subsequent layers) up to 60% of the enamel volume remaining after applying the first layer.

*Keywords: maintenance, header, painting, wear, repair.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СПОСОБИ ЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	8
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОРОСЛИННОЇ МАСИ ШНЕКОМ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА.....	20
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФАРБУВАННЯ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	36
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Через корозійне руйнування металу, втрати його щорічно становлять до 12% від загального металофонду України (1,6 млрд. т). Одну з основних частин металофонду (до 150 млн. т) становить сільськогосподарська галузь. Термін служби техніки й устаткування в сільському господарстві в 2,5-3 рази коротший, ніж у промисловості та транспорті, що пов'язано зі специфічними особливостями її експлуатації та зберігання.

Значна частина втрат металу в сільському господарстві припадає на комбайновий парк, щорічні втрати внаслідок корозії становлять понад 3000 т. Найінтенсивніше піддаються руйнуванню робочі органи комбайнів - жатки, що контактують із ґрунтом і рослинною масою. У жаток зернозбиральних комбайнів першочергово піддаються корозії їхні робочі поверхні - поверхні днища і шнека, якими переміщується зернозбиральна маса.

Під час контакту із зернозбиральною масою захисне лакофарбове покриття робочих поверхонь жаток зношується менш ніж за один сезон, згодом, під час зберігання й експлуатації, поверхні можуть взаємодіяти з такими чинниками, як вологе повітря, дощі, вітроснігові навантаження, сонячна радіація, перепади температури навколишнього повітря, залишки зернозбиральної маси, яку потрібно зібрати, та ін., що значно прискорює процеси корозії.

Одним із найефективніших способів захисту сільськогосподарської техніки від корозії для умов експлуатації та зберігання є лакофарбові покриття.

Для відновлення лакофарбових покриттів застосовують технологічні процеси ремонтного фарбування, які мають свої особливості, що виникають унаслідок того, що на металевих поверхнях, які підлягають фарбуванню, є вогнища корозії, залишки старого лакофарбового покриття тощо. Водночас відремонтоване лакофарбове покриття не повинно поступатися за своїми

властивостями лакофарбовому покриттю, яке отримують у заводських умовах, під час виробництва комбайнів. Варто зазначити, що за правильного вибору лакофарбових матеріалів і суворого дотримання технологічного процесу фарбування жниварок зернозбиральних комбайнів одержуване лакофарбове покриття повинно забезпечувати захисні властивості протягом двох років за умови дотримання вимог експлуатації.

Стратегією машинно-технологічної модернізації сільського господарства України передбачено введення нових технологічних процесів та устаткування для технічного обслуговування, ремонту машин і устаткування агропромислових товаровиробників.

У зв'язку з цим удосконалення технологічного процесу ремонтного фарбування жниварок зернозбиральних комбайнів для отримання зносостійкого лакофарбового покриття на їхніх робочих поверхнях є важливим і актуальним завданням сучасного ремонтного виробництва.

Завданням представленої роботи є отримання зносостійкого лакофарбового покриття на робочих поверхнях жниварок зернозбиральних комбайнів для його використання при ТО. Виконання поставленого завдання має суттєве значення в галузі технічного обслуговування сільськогосподарських машин.

**Мета роботи** – підвищення зносостійкості лакофарбового покриття жаток зернозбиральних комбайнів за рахунок удосконалення технологічного процесу ремонтного фарбування.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі

**завдання:**

- Дослідити закономірності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.
- Розробити технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

**Об'єкт дослідження:** процес зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

**Предмет дослідження:** закономірності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Грабар І. Г., Будзинський І. В. Удосконалення процесу фарбування жатки зернозбирального комбайну під час проведення технічного обслуговування. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 30-36.

2. Грабар І.Г., Будзинський І.В., Вишнівський В.В. Особливості транспортування зернорослинної маси шнеком жатки зернозбирального комбайна. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична значимість полягає в розробці технологічного процесу ремонтного фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, який дає змогу підвищити зносостійкість лакофарбового покриття.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 52 сторінки комп'ютерного тексту, містить 17 рисунків та 3 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### СПОСОБИ ЗАХИСТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Для запобігання виникненню корозії сільськогосподарської техніки та для збереження її ресурсу і працездатності необхідним є надійний захист металевих поверхонь від зовнішніх факторів як на період проведення робіт, так і під час зберігання. Тому протикорозійний захист сільськогосподарської техніки під час обслуговування та ремонту має важливе значення. Особливо це стосується захисту вітчизняних машин, які в плані протикорозійного захисту поступаються зарубіжній техніці з об'єктивних причин: конструкційні рішення, технологія виготовлення, матеріали, що застосовуються, тощо.

На заводі-виробнику на деталі та елементи сільськогосподарських машин наносять лакофарбові покриття, які мають захисні та декоративні властивості. У період експлуатації та зберігання ці покриття зношуються під дією різних чинників.

Так, захисні покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів повинні протистояти безлічі чинників, таких як дощ, вітроснігові навантаження, сонячна радіація, добові та сезонні коливання температури, механічні навантаження та ін. При зношуванні покриття, для запобігання корозії, необхідно в ремонтних умовах його відновлювати або створювати нове.

Відомо, що до основних способів захисту металевих поверхонь сільськогосподарської техніки належать: нанесення на поверхню різних мастильних консерваційних матеріалів, покриття легкоплавкими кольоровими металами, порошково-полімерні покриття, лакофарбові покриття.

Одним із найпоширеніших способів захисту сільськогосподарської техніки є нанесення на поверхню змащувальних консерваційних матеріалів, до яких належать: бензино-бітумні склади, консистентні мастила, відпрацьовані моторні оливи та ін.



Нині розробляють різні варіанти мастильних консерваційних матеріалів для захисту сільськогосподарської техніки від корозії з додаванням дрібнодисперсних компонентів, інгібіторів корозії, а також наноматеріалів. Модифікація мастильних консерваційних матеріалів різними добавками дає змогу значно підвищити захисні властивості одержуваних складів. Серед учених відомі розробки С.М. Гайдара, А.М. Кравченка, М.Б. Латишенка, А.І. Петрашева, В.Д. Прохоренкова та ін.

Захисні властивості мастильних консерваційних матеріалів полягають в утворенні на поверхні металу непроникного для зовнішніх факторів шару. Одержуваний шар не вступає в реакцію з металом і запобігає проникненню в нього рідких і газоподібних агресивних середовищ. Тривалість захисної дії залежить як від виду консерваційного матеріалу, так і від умов, у яких перебуває виріб, що захищається. Мастильні консерваційні матеріали широко використовуються для забезпечення тимчасового захисту сільськогосподарської техніки під час перевезення та постановки на зберігання, як в умовах відкритої атмосфери, так і в приміщеннях.

Порівняно з такими захисними покриттями, як лакофарбове, порошково-полімерне та покриття легкоплавкими кольоровими металами, мастильні консерваційні матеріали мають перевагу, пов'язану з простотою нанесення та видалення з поверхні, а також своєю дешевизною.

Головним недоліком мастильних консерваційних матеріалів є те, що вони неефективно захищають металеву поверхню в експлуатаційних умовах, під час впливу механічних навантажень захисний шар швидко видаляється з поверхні. Особливо малоефективний цей спосіб захисту в умовах експлуатації на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів, таких як поверхні днища і шнека, якими переміщується зернозбиральна маса.

Існує кілька методів створення покриття: зануренням у розплавлений метал, гальванічним способом, розпиленням металу, дифузійною металізацією і

плакуванням. Для здійснення вищеназваних способів застосовуються: хром, нікель, кадмій, цинк, мідь, алюміній, свинець тощо.

Перелічені методи захисту від корозії мають здебільшого промисловий характер, хоча деякі з них інколи використовуються на ремонтних підприємствах для покриття дрібних і середніх деталей.

Даний напрямок має розвиток у роботах А.В. Шемякіна, А.Є. Крупіна та ін., присвячених захисту сільськогосподарської техніки під час зберігання та експлуатації.

До основних переваг металевих покриттів можна віднести механічну міцність, довговічність, декоративність. Однак навіть найдешевше з металевих покриттів у кілька разів дорожче за фарбування. Покриття легкоплавкими кольоровими металами - значно більш витратний спосіб, що вимагає для його здійснення на ремонтних підприємствах наявності спеціального обладнання, саме тому він не знаходить широкого застосування.

У ремонтних умовах і стосовно поверхонь жаток практично здійсненним може бути метод розпилення металу. Однак такий метод має низку недоліків: велика витрата металу, пористість одержуваного покриття, низька адгезія покриття до металу і труднощі регулювання товщини шару покриття.

Під час ремонту сільськогосподарської техніки як антикорозійні покриття металевих поверхонь широкого застосування набули такі полімери, як поліетилен, поліаміди, епоксидні смоли. Нанесення цих полімерів у сільському господарстві здійснюється газополум'яним і вихровим напиленням (напилення в псевдокиплячому шарі). Метод вихрового напилення застосовний для невеликих і середніх деталей. Тому, якщо розглядати нанесення полімерів на робочі поверхні жаток зернозбиральних комбайнів, то раціональним є метод газополуменевого напилення.

Технологію ремонтного фарбування сільськогосподарської техніки порошковими фарбами розглядає у своїй науковій роботі А.С. Бодров.

Переваги полімерних покриттів перед іншими способами захисту від корозії, зокрема перед лакофарбовими покриттями, в тому, що вони довговічніші, мають механічну та хімічну стійкість. Водночас полімерні покриття значно дорожчі за лакофарбові, вимагають наявності більш дорогого технологічного обладнання, більш трудомісткі при нанесенні і, як наслідок, потребують більше енерговитрат.

До теперішнього часу одним із найпоширеніших способів захисту сільськогосподарської техніки від корозії залишаються лакофарбові покриття. Це найдоступніший та найефективніший спосіб, який дає змогу захищати сільськогосподарську техніку як на період зберігання, так і в період експлуатації.

У даному випадку захист поверхні відбувається за рахунок утворення суцільної плівки, яка ізолює поверхню від зовнішніх факторів. Процес утворення покриття на поверхні полягає в нанесенні лакофарбових матеріалів на цю поверхню різними способами.

У роботах учених, пов'язаних із відновленням лакофарбових покриттів сільськогосподарської техніки, розв'язуються питання підвищення корозійної стійкості та довговічності лакофарбових покриттів за рахунок різної модифікації лакофарбових матеріалів. Найбільш відомими є роботи А. Абдуназарова, А.Л. Новікова, М.С. Медведєва, А.І. Петрашева, О.Н. Терновської та ін.

Порівнюючи лакофарбові покриття з іншими способами захисту, можна сказати, що цей спосіб вирізняється своєю дешевизною, простотою нанесення і надійністю. Отримання лакофарбових покриттів - менш трудомісткий процес, що вимагає менше технологічного обладнання, ніж металеві або порошково-полімерні покриття. Вартість лакофарбових покриттів значно нижча. Наприклад, найдешевше з металевих покриттів - цинкове - у кілька разів дорожче за фарбування.

Лакофарбові покриття - універсальний спосіб захисту. Покриття протистоїть різним факторам як під час зберігання, так і під час експлуатації

сіськогосподарської техніки, тому є надійнішим і довговічнішим, ніж мастильні консерваційні матеріали.

За рахунок простоти здійснення технологічного процесу фарбування, а також за рахунок своєї економічності нанесення лакофарбових покриттів залишається найбільш затребуваним на підприємствах з ремонту сільськогосподарської техніки.

У результаті можна зробити висновок, що лакофарбові покриття - найбільш прийнятний спосіб для захисту робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

Лакофарбові покриття отримують за допомогою нанесення на поверхню лакофарбових матеріалів, які являють собою багатокомпонентні склади, здатні при нанесенні тонким шаром на поверхню виробів висихати з утворенням плівки.

Більшість плівкоутворювальних речовин (природних і синтетичних), що застосовуються в лакофарбовій промисловості, являють собою високомолекулярні полімерні сполуки або ж перетворюються на них у процесі плівкоутворення.

Варто зазначити, що полімери класифікуються: за хімічним складом, за будовою макромолекул і за способом формування покриттів. Практично всі лакофарбові матеріали, що застосовуються, належать до лінійних полімерів (рис. 1.1).

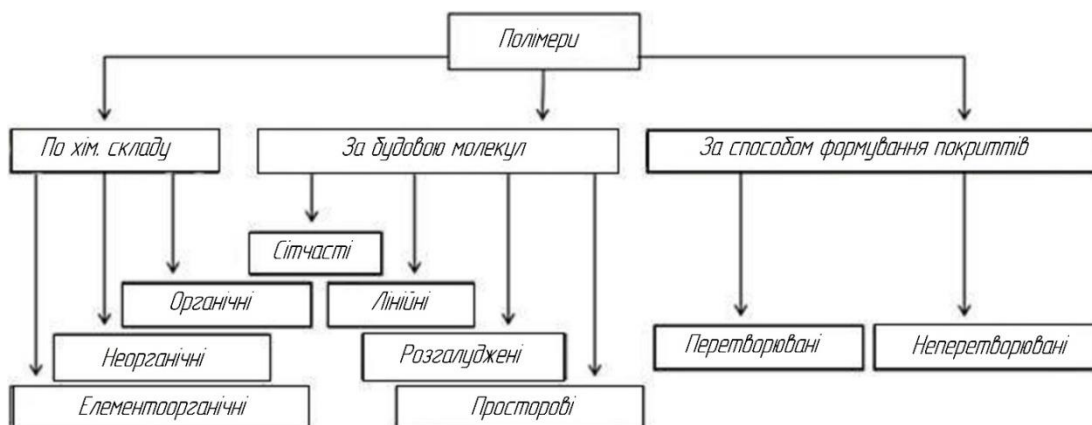


Рис. 1.1. Схема класифікації полімерів за основними ознаками

Відповідно до ГОСТ 9825 лакофарбові матеріали класифікуються за такими показниками:

- за хімічним складом смоли, ефіру, целюлози та олій як плівкоутворювачів і сполучних речовин для емалей, лаків, ґрунтовок, шпаклівок. Найпоширеніші лакофарбові матеріали для фарбування сільськогосподарської техніки залежно від хімічного складу поділяються на пентафталеві, алкідні, акрилові, нітроцелюлозні, гліфталеві, епоксидні, масляні;

- призначенням лакофарбового матеріалу стосовно умов експлуатації: атмосферостійкі, стійкі всередині приміщення, водостійкі, спеціальні, бензостійкі, хімоустійкі, термостійкі, електроізоляційні;

- призначенням лакофарбового матеріалу стосовно поверхні.

Для формування якісного лакофарбового покриття, що відповідає умовам експлуатації, необхідним є його пошарове нанесення, при цьому кожен шар (шпаклівки, ґрунти, емалі) виконує свою функцію. Одержуване на основі лакофарбових матеріалів багатошарове покриття називають системою лакофарбового покриття.

Шпаклівки застосовують у разі потреби, для вирівнювання поверхонь. Ґрунти наносять для формування адгезійної міцності покриття з металом. Вони також мають захисні властивості, зокрема перешкоджають проникненню вологи до металу. Емалі слугують для отримання зовнішнього шару лакофарбового покриття, формують захисні та фізико-механічні властивості одержуваного лакофарбового покриття.

Під час вибору лакофарбових матеріалів для фарбування сільськогосподарської техніки в умовах ремонтних підприємств необхідно враховувати здатність матеріалу забезпечувати надійний захист від різних факторів в умовах експлуатації та економічну доцільність застосування лакофарбового матеріалу.

Під час нанесення лакофарбових матеріалів на поверхні формується лакофарбове покриття. При цьому необхідні показники властивостей

лакофарбових покриттів досягаються шляхом вибору лакофарбових матеріалів, а також за рахунок зміни технологічних параметрів технології фарбування, що дає змогу створювати довговічне лакофарбове покриття для певних умов експлуатації (рис. 1.2).

У свою чергу, залежно від умов експлуатації одні з властивостей лакофарбових покриттів набувають першорядного значення, а інші стають менш важливими.

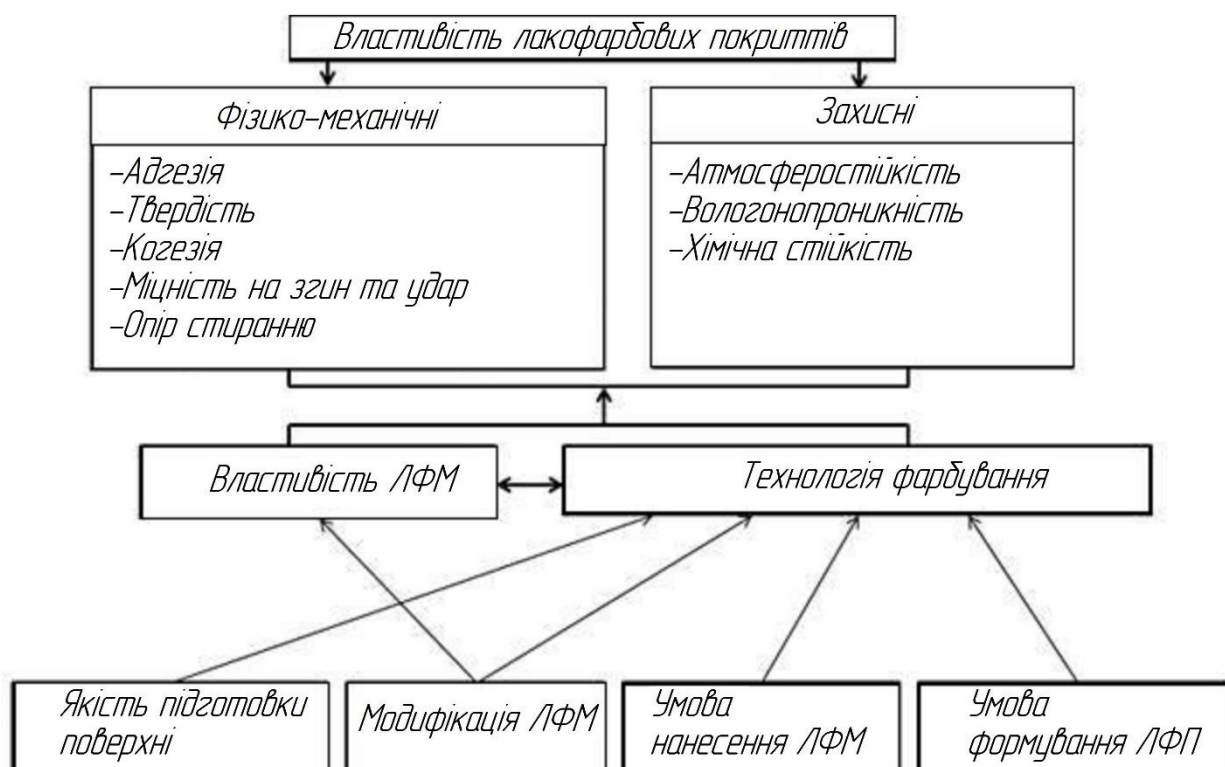


Рис. 1.2. Схема формування властивостей лакофарбових покриттів (ЛФП)

Таким чином, довговічність лакофарбових покриттів може змінюватися залежно від якості підготовки поверхні, умов нанесення лакофарбових матеріалів, умов формування лакофарбових покриттів тощо. Своєю чергою, довговічність лакофарбового покриття залежить від фізико-механічних і захисних властивостей. До фізико-механічних властивостей належать: адгезія, твердість, міцність під час вигину й удару, еластичність, когезія та опір стирання, до захисних - вологонепроникність, атмосферостійкість, хімічна стійкість.

Якість лакофарбового покриття значною мірою залежить від підготовки металевої поверхні безпосередньо перед нанесенням лакофарбового матеріалу. Від підготовки поверхні залежить адгезія майбутнього лакофарбового покриття з металом, а також захист металу від корозії.

Способи підготовки поверхні перед фарбуванням: механічний, хімічний, термічний. Здебільшого застосовують механічний і хімічний способи підготовки. Механічний спосіб може бути здійснений різними методами: обробка ручним і механізованим інструментом, гідроабразивна обробка, дробоструменевий метод, крацювання, шліфування тощо. Хімічний спосіб здійснюється травленням і знежиренням, застосуванням різних протикорозійних матеріалів тощо.

В умовах ремонтних підприємств процес підготовки поверхні, як правило, складається з таких операцій: видалення продуктів корозії і старого лакофарбового покриття, видалення забруднень, знежирення. Вибір того чи іншого способу підготовки поверхні здійснюється залежно від характеру забруднення, від стану попереднього лакофарбового покриття, від ступеня корозії поверхні. У деяких випадках можливе застосування сукупності механічних і хімічних способів підготовки.

Під час формування властивостей лакофарбових покриттів необхідно також враховувати спосіб нанесення. Під час нанесення лакофарбових матеріалів в умовах ремонтних підприємств застосовують такі найпоширеніші способи: пневматичне розпилення, безповітряне розпилення, розпилення в електричному полі, фарбування зануренням, фарбування пензлем. Залежно від способу нанесення лакофарбових матеріалів можливо отримувати різні класи покриття. Пневматичне розпилення - основний спосіб для отримання найвищого класу покриття - першого. Пневматичним розпиленням наносяться всі ґрунти та емалі, при цьому можна отримати найбільш довговічне покриття порівняно з іншими способами.

Однією з особливостей під час використання лакофарбових матеріалів є умови їх нанесення. Як правило, більшість лакофарбових матеріалів наносять за температури 15-23 °С і відносної вологості повітря 70-75%.

Одним із найважливіших технологічних параметрів також є режим затвердіння. Під час сушіння покриття важливою умовою є дотримання температурного режиму. Затвердіння проводять двома способами: у природних умовах, за температури 15-25°С (18-24 год), і в штучних, з нагріванням до більш високих температур (80-150°С), при цьому час формування покриття знижується.

При нанесенні лакофарбових матеріалів не менш важливо дотримуватися товщини створюваного покриття. Виробники лакофарбових матеріалів вказують оптимальні значення товщини для кожної з систем лакофарбових покриттів, дотримуватися яких необхідно під час виконання робіт. Дослідження показують, що зі зменшенням оптимальної товщини покриття знижуються його захисні властивості, у разі збільшення товщини можуть погіршуватися фізико-механічні властивості, зокрема, це може призвести до збільшення внутрішніх напружень, що вплине на появу тріщин і знизить адгезійну міцність покриттів.

Найважливішою властивістю лакофарбових покриттів за будь-яких умов експлуатації є адгезія. Адгезія формується здебільшого за рахунок якості підготовки поверхні та вибору ґрунту, що наноситься.

У випадку з поверхнями днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів, які піддаються постійному механічному впливу зернозбиральної маси, частинок ґрунту, окрім адгезії, важливою властивістю також є опір стиранню.

Під час експлуатації та зберігання сільськогосподарської техніки лакофарбові покриття можуть зазнавати впливу таких чинників, як перепади температур, сонячна радіація, пально-мастильні матеріали, волога, вітроснігові навантаження, механічні впливи (ґрунт, зернозростальна маса, пил) тощо. У результаті цього лакофарбове покриття зазнає незворотних змін, показники його фізико-механічних і захисних властивостей знижуються.



Зниження показників властивостей лакофарбового покриття відбувається за рахунок хімічних і фізичних процесів. Хімічні процеси поділяються на деструкцію (руйнування) і структурування. Під час деструкції відбувається розрив ланцюгів макромолекул покриття, зменшення їхніх розмірів і зниження молекулярної маси. Своєю чергою, під час структурування відбувається подальша полімеризація лакофарбового покриття, що призводить до збільшення його твердості та зменшення еластичності.

До фізичних процесів відносять:

- розтріскування покриття за рахунок різної величини коефіцієнтів температурного розширення та під дією ударів і вібрацій;
- механічне стирання лакофарбового покриття під дією зернорослинної маси, ґрунту, пилу;
- сорбція лакофарбовим покриттям вологи, газоподібних і рідких речовин.

Варто зазначити, що, як правило, хімічні та фізичні процеси відбуваються одночасно. Це призводить до більш інтенсивного старіння лакофарбового покриття. Характерними ознаками старіння є: втрата маси, зниження розчинності, втрата еластичності, підвищення твердості, зміна зовнішнього вигляду, поява матовості, розтріскування, вицвітання, зменшення опору удару, вигину, стирання. Значне зниження показників фізико-механічних і захисних властивостей лакофарбових покриттів у результаті призводить до виникнення корозійних процесів.

Проміжок часу від початку експлуатації лакофарбового покриття до втрати ним своїх фізико-механічних і захисних властивостей називається терміном служби лакофарбового покриття. Короткочасний термін служби лакофарбового покриття може бути зумовлений застосуванням невідповідних лакофарбових матеріалів і недотриманням технологічного процесу фарбування.

Дослідження А.Е. Северного показали, що залежно, від того, які функції виконує пофарбована поверхня (в яких умовах експлуатується лакофарбове покриття), залежатиме термін служби покриття. Так, наприклад, умови

експлуатації лакофарбового покриття на зовнішній поверхні даху молотарки комбайна відрізняються від умов експлуатації лакофарбового покриття на днищі жатки або похилій камері. Відповідно терміни служби покриттів на різних поверхнях комбайна відрізнятимуться. Таким чином, пофарбовані поверхні комбайнів підрозділяються на чотири групи, за термінами служби та умовами протікання процесу руйнування їхнього лакофарбового покриття (Таблиця 1.1).

Робочі поверхні жаток (поверхні днища і шнека) належать до першої групи, термін служби їхніх захисних покриттів значно нижчий, ніж у решти поверхонь комбайна, і становить менше 1 року. Нетривалий термін служби лакофарбових покриттів робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів більшою мірою пов'язаний з постійною їх взаємодією із зернозростальною масою, під впливом сил тертя лакофарбове покриття інтенсивно зношується і втрачає свої захисні властивості.

Таблиця 1.1 - Класифікація пофарбованих поверхонь обшивки комбайна залежно від терміну служби лакофарбового покриття.

Група	Найменування поверхонь, вузлів, деталей	Основні руйнівні чинники	Термін служби покриття
1	2	3	4
1. Поверхні, схильні до корозійно-механічного зносу	Днища похилої камери і жнивварки, шнек жнивварки, внутрішні поверхні боковин молотарки, внутрішні поверхні елеваторів і бункера	Механічні впливи зернорослинної маси, частинок ґрунту. Атмосферні опади, вологість, перепади температур тощо.	Менше 1 року
2. Поверхні, що утворюють виїмки, западини, закриті ємності, в яких накопичується волога, пил і бруд	Верхня частина кожуха і увігнута частина днища кожуха вентилятора, частина поверхні даху молотарки під бункером, кронштейни кожухів шнеків	Тривале перебування на пофарбованих поверхнях атмосферних опадів, бруду, продуктів обмолоту. Атмосферні опади, вологість, перепади температур тощо.	Від 1 до 1,5 року

3. Поверхні, що піддаються постійному впливу дизельного пального та мастила	Верхня поверхня даху молотарки, частина зовнішніх поверхонь боковин молотарки	Постійна присутність на пофарбованих поверхнях плівки з дизельного пального, мастила. Атмосферні опади, вологість, перепади температур тощо.	Від 1,5 до 2 років
4. Вертикально розташовані поверхні	Ліва і права зовнішні поверхні боковин молотарки і копача, вітровий щит жнивarki, вертикально розташовані стінки бункера	Атмосферні опади, вологість, перепади температур тощо.	Більше 2 років

### Висновки по розділу

З проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що питання надійного захисту робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів залишається відкритим, потрібно розробляти нові підходи і рішення, пов'язані з підвищенням зносостійкості лакофарбових покриттів для цих поверхонь.

## РОЗДІЛ 2

### ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОРОСЛИННОЇ МАСИ ШНЕКОМ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

Транспортування матеріалів гвинтовими конвеєрами (шнеками) - складний процес, що зумовлює труднощі його математичного опису. Численні дослідження показують, що досить точно розрахувати параметри та режими роботи гвинтового конвеєра (шнека) за наявними формулами неможливо, похибка, як правило, сягає від 15 до 60%.

Основним недоліком наявних методик є те, що під час розрахунку різних параметрів шнекових транспортувальних пристроїв (продуктивності шнека, потужності приводних пристроїв тощо) замість швидкостей матеріалів, що транспортуються, визначають і використовують швидкість самого шнека. Як правило, матеріал, що транспортується, розглядають як однорідне тіло з однаковими фізико-механічними властивостями, а переміщення цього матеріалу здійснюють по однорідній поверхні. Однак, на наш погляд, на продуктивність шнеків впливають фізико-механічні властивості матеріалів, що транспортуються (наприклад, зернозбиральна маса, що збирається зернозбиральними комбайнами, тощо) і фактичний стан поверхні, якою переміщується матеріал.

Вплив різних умов, як-от нерівномірність подачі та розподілу матеріалу між шнеком і днищем жниварки, погодні умови (вологість, швидкість вітру тощо), за яких транспортується рослинна маса, не враховують, зважаючи на складнощі проведення цих досліджень.

Наступний недолік - це відсутність урахування опору, що виникає за ходом руху матеріалу (через різницю в коефіцієнтах тертя матеріалу об поверхні робочих органів жниварки зернозбирального комбайна) і наявності підпору в середній частині шнека жниварки, пов'язаного зі специфікою конструкції шнека.

На практиці поверхні робочих органів жаток зернозбиральних комбайнів забарвлюються різними лакофарбовими матеріалами.

Дослідження, проведені на кафедрі агроінженерії, свідчать, що лакофарбові покриття робочих поверхонь жниварок (поверхонь днища та шнека) стираються, як правило, менш ніж за один сезон роботи зернозбирального комбайна (рис. 2.1), покриття стирається нерівномірно і його спрацьованість становить від кількох мікрометрів (біля країв жниварки) до повного стирання до середини жниварки (в районі похилої камери) (рис. 2.2).



а - один сезон експлуатації



б - два сезони експлуатації

Рис. 2.1. Поверхні днища та шнека жаток зернозбирального комбайна "Вектор - 410"



Рис. 2.2. Поверхня днища жатки комбайна "Акрос - 530" після двох сезонів роботи

Встановлено, що збільшення зношування від країв жатки до середини пов'язане з низкою чинників, один із яких - підвищення тиску на лакофарбове покриття, що залежить від конструкції шнека двосторонньої дії, який скеровує рух зернорослинної маси, що зрізається, від країв жатки до середини.

Таким чином, за наявності характерного для жниварок зернозбиральних комбайнів зношування лакофарбового покриття їхніх робочих поверхонь, зернозбиральна маса - фактично переміщується різними поверхнями, які мають

різні коефіцієнти тертя ковзання (наприклад, це можуть бути такі поверхні: поверхня з емаллю, поверхня з ґрунтом, поверхня без лакофарбового покриття - метал).

Нерівномірне зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів пов'язано насамперед із кількістю зернозбиральної маси, що пройшла через конкретну ділянку. Для представлення процесу переміщення зернорослинної маси по жатці розділимо її на 6 ділянок (рис. 2.3).

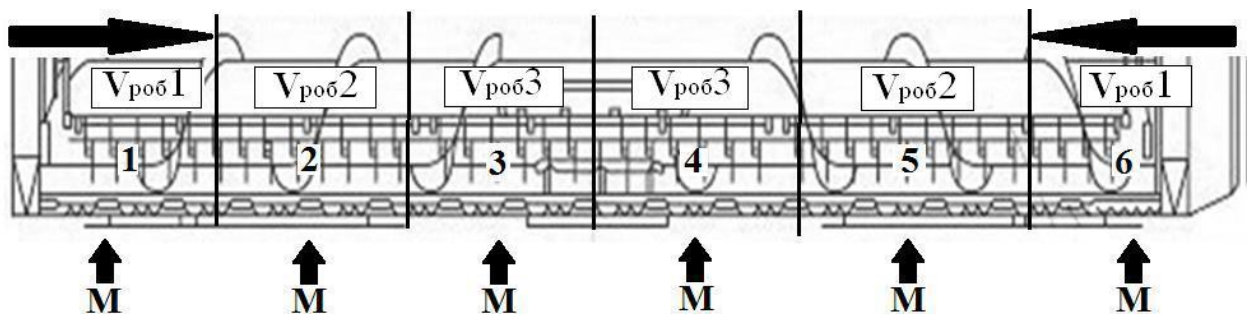


Рис. 2.3. Розподіл зернорослинної маси по жатці під час проведення збиральних робіт:  $M$  - об'єм скошеної зернорослинної маси на кожній ділянці жатки під час проведення збиральних робіт;  $V_{робі}$  - об'єм виконаних робіт (кількість зернорослинної маси, що пройшла) на певній ділянці.

Кожною з ділянок поверхні шнека і днища жатки під час руху комбайна проходить певний об'єм зернозрослинної маси  $V_{робі}$ .

Так, кількість зернорослинної маси, що пройшла (обсяг виконаних робіт), на першій і на шостій ділянках жатки дорівнюватиме кількості скошеної зернорослинної маси  $M$  на цих ділянках:

$$V_{роб\ 1,6} = M, \quad (2.1)$$

де  $V_{роб\ 1,6}$  - кількість зернорослинної маси, що пройшла (обсяг виконаних робіт), на першій і на шостій ділянках, т;

$M$  - кількість скошеної зернорослинної маси, т.

Для другої та п'ятої ділянок:

$$V_{роб\ 2,5} = 2M, \quad (2.2)$$

де  $V_{\text{роб } 2,5}$  - кількість зернорослинної маси, що пройшла (обсяг виконаних робіт) на другій і на п'ятій ділянках, т.

Для третьої та четвертої ділянок:

$$V_{\text{роб } 3,4} = 3M, \quad (2.3)$$

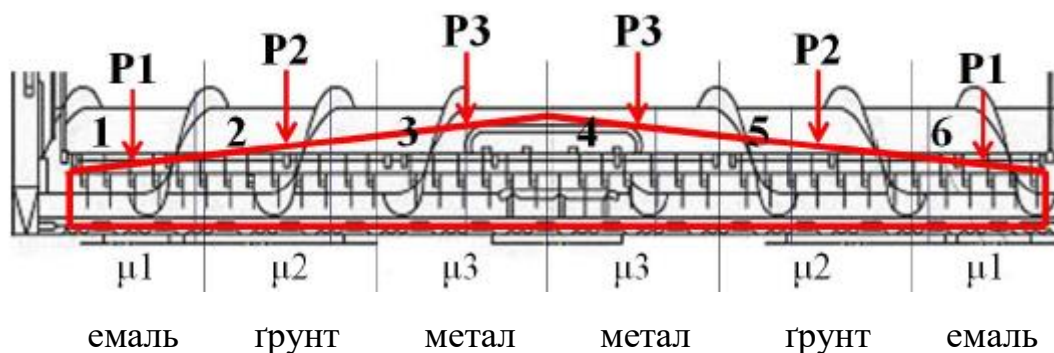
де  $V_{\text{роб } 3,4}$  - кількість зернорослинної маси, що пройшла, (обсяг виконаних робіт) на третій і на четвертій ділянках, т.

Загальна кількість зернорослинної маси, скошеної комбайном, т:

$$V_{\text{заг.}} = 6M, \quad (2.4)$$

Різна кількість зернорослинної маси на ділянках призводить до виникнення різного тиску на лакофарбове покриття поверхонь днища та шнека жатки, що спричиняє нерівномірне зношування лакофарбового покриття.

Із виникненням нерівномірного зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жатки зернозбиральна маса переміщується різними ділянками і має різні значення коефіцієнтів тертя ковзання. Якщо уявити, що зернозбиральна маса переміщується по 6 ділянках жатки з різними значеннями коефіцієнтів тертя ковзання і тиску, показники 1 і 6, 2 і 5, 3 і 4 ділянок приблизно рівні (рис. 2.4).



$P_1, P_2, P_3$  - тиск на ділянках 1, 6; 2, 5; 3, 4 відповідно,  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  - коефіцієнти тертя на ділянках 1, 6; 2, 5; 3, 4 відповідно.

Рис. 2.4. Особливості роботи окремих ділянок поверхні днища та шнека жатки збирального комбайна

Відповідно, питома номінальна сила тертя  $f$  на цих ділянках буде різною.

Так, для першої ділянки:

$$f_1 = \mu_1 p_1, \quad (2.5)$$

де  $\mu_1$  - коефіцієнт тертя на першій ділянці;

$p_1$  - тиск на першій ділянці, Па.

Для наступних ділянок:

$$f_i = \mu_i p_i, \quad (2.6)$$

де  $\mu_i$  - коефіцієнт тертя на  $i$ -й ділянці;

$p_i$  - тиск на  $i$ -й ділянці, Па.

Нерівномірне пересування зернозрослинної маси окремими ділянками поверхні днища і шнека жатки з різними показниками коефіцієнта тертя і тиску призводить до виникнення додаткових опорів, які перешкоджають просуванню транспортованої маси до похилої камери, у зв'язку з чим на практиці комбайнери змушені змінювати технологічні режими збирання (виліт та оберти мотовила, швидкість руху комбайна і т. ін.), що призводить до додаткових витрат і енерговитрат.

Проведений аналіз дав змогу виявити особливості зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, з урахуванням яких передбачається розробити аналітичну модель інтенсивності зношування лакофарбового покриття.



## РОЗДІЛ 2

### ЗНОС ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ ПІД ЧАС ТЕРТЯ В ПАРІ ІЗ РОСЛИННОЮ МАСОЮ

Під час переміщення зернозбиральної маси робочими поверхнями жатки зернозбирального комбайна виникає пара тертя "зернозбиральна маса - лакофарбове покриття", і в результаті цієї взаємодії зношується лакофарбове покриття. Впливає, що лакофарбові покриття належать до твердих полімерів, які отримують шляхом нанесення лакофарбових матеріалів. Таким чином, для теоретичного уявлення зносу лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів необхідно розглянути теорію тертя і зносу полімерів.

Одними з основоположників теорії зносу полімерів були такі вчені, як М.М. Хрущов, І.В. Крагельський, Г.В. Виноградов, М.М. Резніков, С.Б. Ратнер та ін. Вони стверджували, що зношування - явище значно складніше, ніж зовнішнє тертя, і являє собою результат сукупності фізико-хімічних процесів, що протікають на поверхні тертя і в граничних шарах полімерів.

І.В. Крагельський визначив види зношування полімерів: втомне, абразивне, кавітаційне, ерозійне. При цьому для полімерів характерні ті самі види контакту, що й для інших матеріалів.



Рис. 2.1. Види фрикційних зв'язків і зношування полімерів

Пару тертя "зернозмінна маса - лакофарбове покриття" також варто розглядати з урахуванням відомих класифікацій (рис. 2.5). Виходячи з досліджень М.М. Тененбаума, під час переміщення зернорослинної маси робочими поверхнями жниварки відбувається абразивне зношування лакофарбового покриття цих поверхонь.

Свою чергою І.В. Крагельський, В.А. Білий, О.І. Свириденко, називають найхарактернішими видами контакту за абразивного спрацьовування пружний контакт і пластичний контакт.

Для визначення інтенсивності абразивного зношування при пружному контакті відома формула.

$$I = \frac{c_1 q (1 - \eta^2)}{E}, \quad (2.1)$$

де  $c_1$  - константа шорсткості (характеризує поверхню);

$q$  - контурний питомий тиск, Н/м<sup>2</sup>;

$\eta$  - коефіцієнт Пуассона;

$E$  - модуль пружності, Н/м<sup>2</sup>.

При цьому контурний питомий тиск виражається такою формулою:

$$q \leq \frac{1,4HB^2(1 - \eta^2)^4}{\Delta^2 E^4}, \quad (2.2)$$

де  $HB$  - твердість за Брінелем, МПа;

$\Delta$  - комплексна характеристика шорсткості (враховує гостроту виступів і розподіл шорсткого шару по висоті профілю).

Інтенсивність абразивного зношування при пластичному контакті визначається як:

$$I = \frac{c_2 q}{HB}, \quad (2.3)$$

де  $c_2$  - константа шорсткості (характеризує поверхню).

З вище вказаних формул, можна зробити висновок, що інтенсивність абразивного зношування полімерів залежить переважно від твердості та шорсткості поверхні.

Роботи таких учених, як М.М. Тененбаум, В.С. Комбалов, Г.М. Бартенєв, В.В. Лаврентьєв, І.В. Крагельський, В.А. Білий, О.І. Свириденко, дали змогу отримати уявлення про вплив різних чинників на спрацьовування лакофарбового покриття під час тертя в парі із зернорозчисною масою (рис. 2.2).

Фактори, що впливають на зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів, можна поділити на зовнішні та внутрішні. Своєю чергою, зовнішні чинники можна розділити на чинники, які залежать від властивостей зернорослинної маси та залежать від умов переміщення зернорослинної маси. Якими властивостями володіє зернорослинна маса, залежить від зібраної культури, а умови переміщення зернорослинної маси - від режимів роботи комбайна. До внутрішніх чинників належать параметри лакофарбового покриття, що формується на робочих поверхнях жаток, які задаються властивостями лакофарбових матеріалів і технологією фарбування.

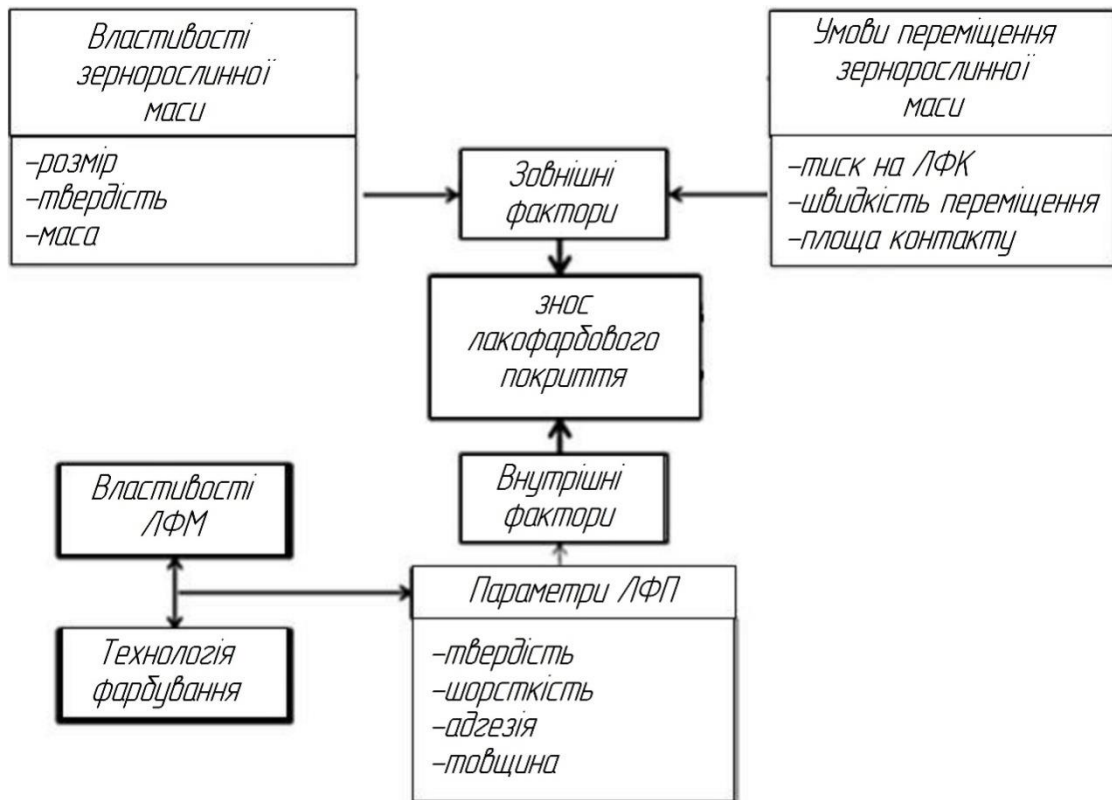


Рис. 2.2. Фактори, що впливають на знос лакофарбового покриття (ЛФП) робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів під час тертя в парі із зерно-рослинною масою.

Оскільки метою роботи є підвищення зносостійкості лакофарбового покриття жаток зернозбиральних комбайнів завдяки вдосконаленню технологічного процесу ремонтного фарбування, то для подальшого аналізу можна взяти лише внутрішні чинники, які відносяться до параметрів лакофарбового покриття, сформованого на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів безпосередньо завдяки технології фарбування: адгезійна міцність, твердість, шорсткість і товщина лакофарбового покриття (рис. 2.3).

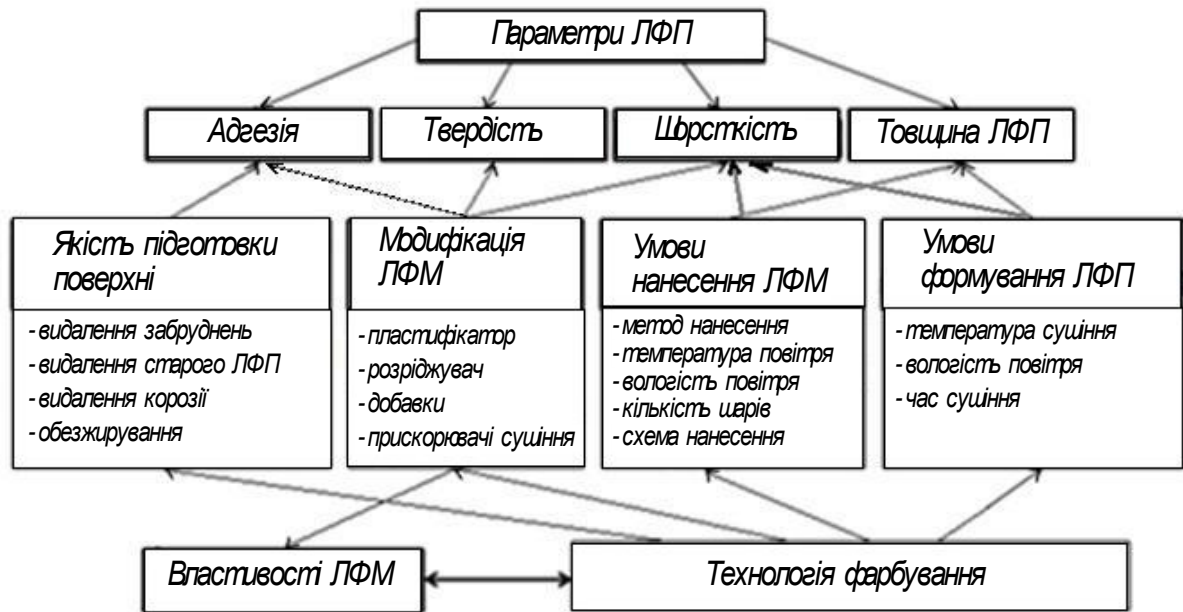


Рис. 2.3. Вплив властивостей лакофарбових матеріалів і технології фарбування на параметри лакофарбового покриття (ЛФП), що формується на робочих поверхнях жаток зернозбиральних комбайнів.

Адгезія - основна властивість лакофарбового покриття, що визначає його довговічність. Відомо, що краща адгезійна міцність лакофарбового покриття досягається здебільшого за рахунок якості підготовки поверхні, а також вибору лакофарбових матеріалів, які наносяться. Чим ретельніше підготовлено поверхню, тим краща адгезійна міцність із поверхнею у лакофарбового покриття і навпаки.

Одним зі способів зміни твердості лакофарбового покриття є додавання в лакофарбовий матеріал, перед нанесенням, пластифікатора.

Дослідження вчених, які займаються вивченням фізико-механічних властивостей полімерів, свідчать про те, що невелике додавання пластифікатора може спричинити підвищення міцності, модуля пружності та зносостійкості полімеру, однак за більш значного введення пластифікатора ці показники знижуються.

Таким чином, на залежностях міцності та зносостійкості полімеру від концентрації пластифікатора присутній екстремум (рис. 2.4, 2.5). Про це свідчать результати досліджень Ю.С. Заславського та А.А. Тагер.

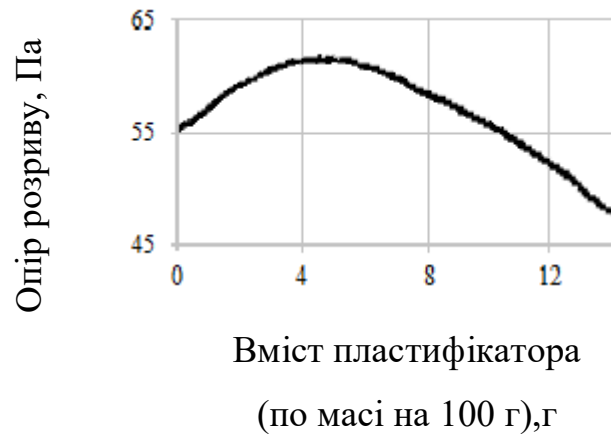


Рис. 2.4. Залежність зміни міцності полімеру від концентрації пластифікатора в його складі

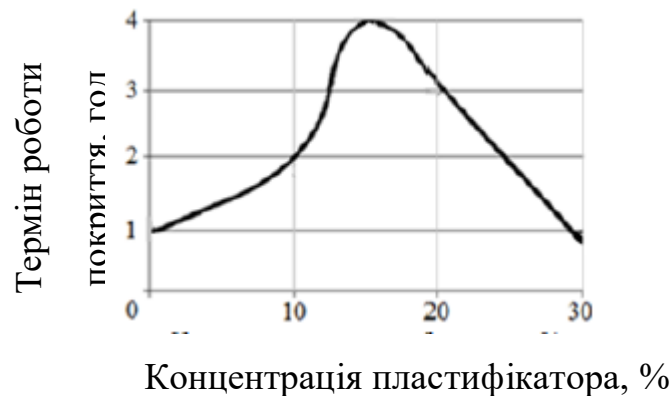


Рис. 2.5. Залежність тривалості роботи полімерного покриття під час тертя від концентрації пластифікатора у складі полімеру

Підвищення механічної міцності та зносостійкості полімеру при додаванні пластифікатора пов'язане з підвищенням міцності міжмолекулярних зв'язків, оскільки пластифікатор при додаванні в полімер відіграє роль поверхнево-активної речовини (ПАР). Таким чином, додавання пластифікатора призводить до збільшення площі взаємодії молекул полімеру.

Зниження міцності та зносостійкості при більш значному додаванні пластифікатора свідчить про перенасичення складу, молекули полімеру починають віддалятися одна від одної, і міцність міжмолекулярних зв'язків зменшується.

Зокрема, екстремальне значення кривої на рисунку 2.5, можна пояснити з точки зору теорії зовнішнього тертя і зношування І.В. Крагельського. Під час

абразивного зношування полімерного покриття за поступового додавання пластифікатора відбувається перехід від одного виду фрикційного контакту до іншого: пружний контакт (руйнування покриття відбувається після багаторазового повторного навантажування) зі зменшенням твердості покриття переходить у пластичний (відтискування матеріалу виступами абразиву, при цьому спостерігається руйнування матеріалу в результаті малоциклової фрикційної втоми).

Варто зазначити, що при додаванні пластифікатора, також збільшується площа взаємодії полімеру з підкладкою, що сприяє підвищенню адгезійної міцності покриття. Дані знаходять підтвердження в роботі А.Т. Санжаровського (рис. 2.6).

Ю.С. Заславський, А.А. Тагер, А.Т. Санжаровський, Л.П. Зіменкова вказують, що для різних полімерів концентрація пластифікатора, за якої досягаються найвищі показники міцності та зносостійкості, буде різною і визначається експериментально.

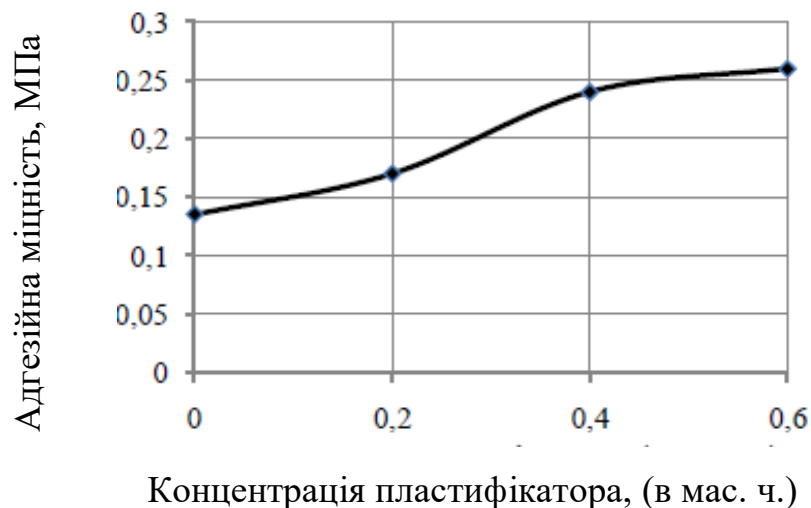


Рис. 2.6. Залежність адгезійної міцності лакофарбових покриттів від концентрації пластифікатора

Таким чином, під час використання пластифікатора необхідно знаходити оптимальні значення концентрації, за яких досягаються найвищі значення механічної міцності та зносостійкості полімерних покриттів.

Вплив шорсткості поверхні на тертя і знос було достатньою мірою досліджено І.В. Крагельським, В.С. Комбаловим та ін. Під час вивчення зносостійкості полімерів залежно від шорсткості поверхні встановлено, що вихідна шорсткість, близька до оптимальної, зменшує зношування, температуру на поверхні тертя і коефіцієнт тертя. Оптимальній шорсткості, за словами цих учених, відповідає мінімум коефіцієнта тертя і мінімум величини зносу матеріалів. Ці висловлювання підтверджують і такі вчені, як Ш.М. Білик, Ю.А. Євдокимов, В.А. Черенкович, Г.В. Караєв, В.А. Немм, С.А. Філіпович, В.Ф. Платонов та ін.

Графічно залежність зносу полімерного покриття від значення коефіцієнта тертя ковзання представлено на рис. 2.11, з якого випливає, що значення мінімуму коефіцієнта тертя ковзання та зносу покриття зумовлено досягненням оптимальної шорсткості поверхні, і подальше зменшення шорсткості не призведе до зниження зносу. Виходячи з цього, досягнення оптимального значення шорсткості є необхідним для полімерних покриттів, що працюють в умовах тертя.

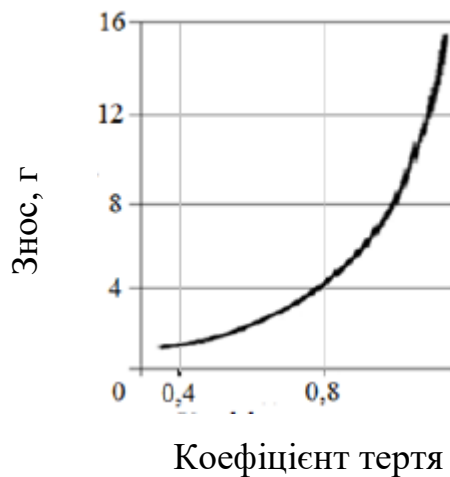


Рис. 2.7. Залежність зносу полімерного покриття від коефіцієнта тертя ковзання

При ремонтному фарбуванні для зменшення шорсткості одержуваного лакофарбового покриття відомі такі способи:



- застосування високоглянцевих лакофарбових матеріалів;
- полірування готового лакофарбового покриття;
- формування лакофарбового покриття з поетапним зменшенням в'язкості

лакофарбових матеріалів, що наносяться, - спосіб застосовується для зменшення "шагрени" (шорсткості лакофарбового покриття) під час ремонтного фарбування автомобілів. Додавання в лакофарбовий матеріал розріджувача перед нанесенням другого і наступних шарів сприяє кращому розтіканню матеріалу по поверхні і зменшує її шорсткість.

Найдоцільнішим способом зниження шорсткості одержуваного лакофарбового покриття є формування лакофарбового покриття з поетапним зменшенням в'язкості, що дає змогу скоротити витрати на матеріали, а також знизити трудомісткість порівняно з технологією, що включає операцію полірування лакофарбового покриття.

Відповідно до ГОСТ 9.072 система лакофарбових покриттів - багатошарове покриття, в якому кожен шар виконує свою функцію.

У зв'язку з цим лакофарбові покриття залежно від призначення можуть складатися з одного, двох і більше шарів. Товщина шарів, що наносяться, та їхня кількість регламентуються технічною документацією до лакофарбових матеріалів. Міжнародний стандарт ISO 12944-5 не рекомендує перевищувати більш ніж у 2 рази максимальну товщину сухої плівки лакофарбового покриття щодо його номінальної товщини. Номінальна товщина сухої плівки визначена технічною документацією і є товщиною сухої плівки, визначеною для кожного шару або для всієї системи фарбування, щоб досягти необхідного терміну служби. Максимальна товщина сухої плівки - товщина, перевищення якої може погіршити властивості шару або системи фарбування в цілому.

Перевищення максимальної товщини лакофарбового покриття призводить до збільшення внутрішніх напружень у покритті, що впливає на передчасну появу тріщин і на довговічність покриття загалом. Підтвердження цьому наведені в роботах А.Т. Санжаровського, (рис. 2.8). Міцність

лакофарбового покриття одразу після затвердіння практично не залежить від товщини і становить близько 70 МПа. Однак під час старіння міцність плівок зі зростанням товщини знижується: збільшення товщини з 80 до 280 мкм призводить до зниження міцності майже в 2 рази.

У роботах Л.М. Виноградова, Г.І. Крус, А.Т. Санжаровського представлено результати дослідження морозостійкості одношарових лакофарбових покриттів (на основі ґрунту АК-070) залежно від їхньої товщини. У ділянці від'ємних температур у разі збільшення товщини з 25 до 150 мкм руйнівні напруження під час розтягування покриттів знижуються зі 100-120 до 35 МПа.

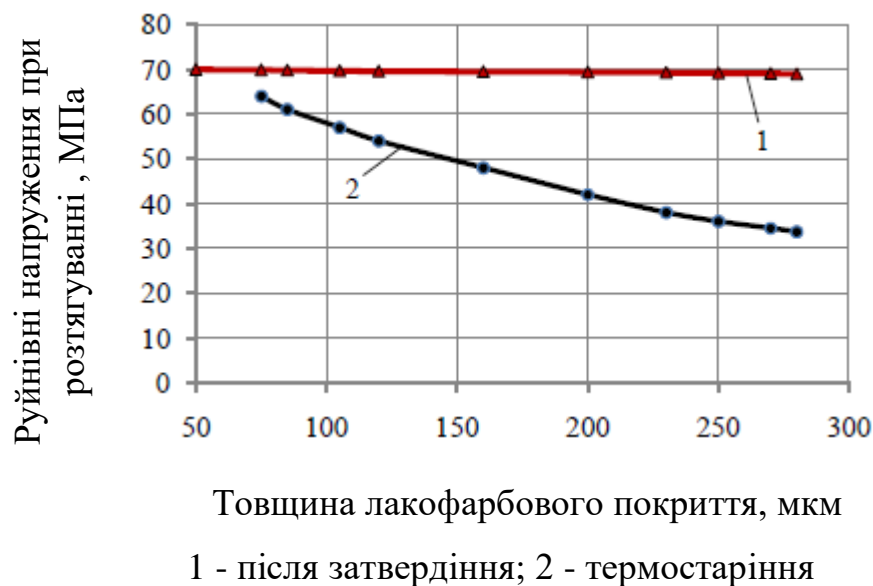


Рис. 2.8. Залежність руйнівних напружень під час розтягування (Бр) від товщини лакофарбового покриття (h) після затвердіння та після термостаріння протягом 290 год за 110 С°.

За температури мінус 80 °С покриття завтовшки понад 50 мкм мимовільно руйнуються, оскільки для цих покриттів внутрішні напруження співставні з руйнівними напруженнями під час розтягування. Покриття завтовшки 30-40 мкм стійкі до розтріскування навіть при температурі мінус 100°С, оскільки внутрішні напруження в таких покриттях в 2 рази менші від руйнівних напружень при розтягуванні.

Таким чином, перевищення максимальної товщини лакофарбового покриття істотно впливає на його довговічність, а товщина лакофарбових матеріалів, що наносяться, є одним із важливих параметрів технічної документації.

Сучасні лакофарбові покриття сільськогосподарських машин складаються здебільшого з двох шарів: первинний шар - грунт і зовнішній шар - емаль (рис. 2.9).

Відповідно загальна товщина лакофарбового покриття:

$$h = h_{\text{п}} + h_{\text{вн}}, \quad (2.4)$$

де  $h_{\text{п}}$  - товщина первинного шару, мкм,

$h_{\text{вн}}$  - товщина зовнішнього шару, мкм.

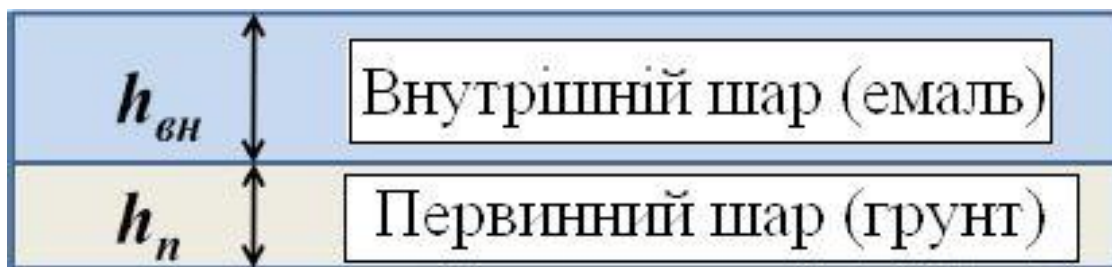


Рис. 2.9. Двошарове лакофарбове покриття

### Висновки по розділу

Ремонтне фарбування сільськогосподарської техніки передбачає нанесення одного-двох шарів первинного шару (грунту), а також зовнішнього шару (емалі), що складається з двох і більше шарів. У двошаровому лакофарбовому покритті грунт призначений для адгезії та вирівнювання поверхні, емаль слугує для захисту поверхні від зовнішніх чинників, з цього випливає, що інтенсивність зношування шару ґрунту і шару емалі різна. Можна припустити, що збільшивши товщину зовнішнього шару щодо товщини первинного, можна знизити інтенсивність зношування лакофарбового покриття загалом. Таким чином, як фактор, що впливає на інтенсивність зношування лакофарбового покриття, прийнято товщину зовнішнього шару (емалі).

### РОЗДІЛ 3.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФАРБУВАННЯ ЖАТКИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Метою другого етапу експериментальних досліджень було встановлення впливу різних факторів на інтенсивність зношування лакофарбового покриття, а також визначення рівнів варіювання цих факторів. Аналіз наукових праць учених М.М. Тененбаума, В.С. Комбалова, Г.М. Бартенєва, В.В. Лаврентьєва, І.В. Лаврентьєва, І.В. Крагельського та ін., проведений у другому розділі, дали змогу визначити фактори, які найбільшою мірою впливають на інтенсивність зношування лакофарбового покриття: твердість, шорсткість і товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття. Проведення випробувань на даному етапі здійснювалося із застосуванням системи лакофарбових покриттів "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК-1301)", що виділена в результаті попереднього етапу експериментальних досліджень.

Зміна твердості лакофарбового покриття досягалася шляхом додавання пластифікатора до емалі, як якого було обрано найпоширеніший пластифікатор для лакофарбових матеріалів на основі дибутилфталату. За даними Р.С. Барштейна, В.І. Кирилович та ін., пластифікатор на основі дибутилфталату найкращим чином поєднується з акриловими полімерами.

Одержуване лакофарбове покриття з додаванням пластифікатора було випробувано на міцність до стирання. Результати випробування представлені на графіку (рис. 3.1). Для зіставлення зі значеннями концентрації пластифікатора на верхній горизонтальній осі представлено значення твердості лакофарбового покриття відповідно до методики ГОСТ 54586 (ISO 15184).

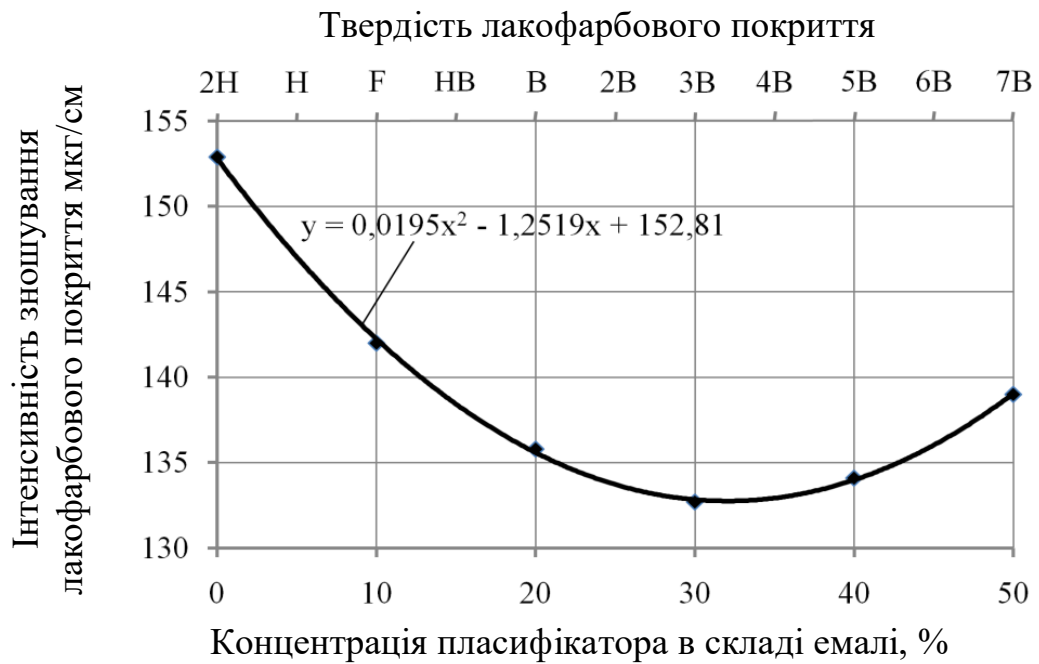


Рис. 3.1. Залежність інтенсивності зношування лакофарбового покриття від концентрації пластифікатора (твердості лакофарбового покриття)

Встановлено, за додавання пластифікатора до 30% від загального обсягу емалі спостерігалось зниження інтенсивності зношування лакофарбового покриття. Це пояснюється підвищенням міцності міжмолекулярних зв'язків у лакофарбовому матеріалі. Додавання більшої кількості пластифікатора призводило до підвищення інтенсивності зношування і означає, що за концентрації понад 30% настає перенасичення складу, і міцність міжмолекулярних зв'язків знижується.

З точки зору теорії зовнішнього тертя і зношування І.В. Крагельського, екстремальне значення кривої за концентрації пластифікатора 30% характеризує перехід від одного виду фрикційного контакту до іншого: пружний контакт зі зменшенням твердості покриття переходить у пластичний. За концентрації пластифікатора понад 50% одержуване лакофарбове покриття ставало занадто м'яким, що унеможлиблювало проведення випробувань на міцність покриттів до стирання за обраною методикою, водночас спостерігалось характерне порушення фрикційного контакту, за якого міцність фрикційних зв'язків ставала

вищою за міцність матеріалу та відбувався когезійний відрив, що також підтверджується теорією І.В. Крагельського.

Зміну шорсткості лакофарбового покриття здійснювали шляхом поетапного (перед нанесенням другого і наступних шарів) додавання розріджувача в емаль.

Під час додавання розчинника до складу емалі зменшувалася в'язкість лакофарбового матеріалу, яке наноситься, що сприяло кращому розтіканню матеріалу поверхнею (рис. 3.2, крива 1). Отримане в результаті лакофарбове покриття: визначено шорсткість покриття залежно від додавання розчинника (рис. 3.2, крива 2).

В'язкість емалі, що наноситься, істотно знижувалася під час додавання до 60% розчинника (з 22 до 12,5 с), потім під час збільшення додавання розчинника від 60 до 100% в'язкість емалі змінювалася незначно (крива 1). Додавання розчинника до 60% істотно знижувало шорсткість одержуваного лакофарбового покриття (з 0,2 до 0,075 мкм), а за кількості розріджувача понад 60% шорсткість практично не змінюється (крива 2).

Таким чином, додавання розріджувача до 60% сприяє кращому розтіканню емалі поверхнею і дає змогу досягати мінімальних значень шорсткості лакофарбового покриття. Додавання понад 60% розріджувача недоцільне, оскільки це не призводить до істотної зміни шорсткості одержуваного покриття, а тільки збільшує матеріальні витрати.

Результати експериментальних досліджень щодо визначення інтенсивності зношування лакофарбового покриття, представлені на рис. 3.3, збігаються з даними В.С. Комбалова, І.В. Крагельського та інших вчених: мінімальним значенням шорсткості відповідають мінімальні значення зносу покриття.

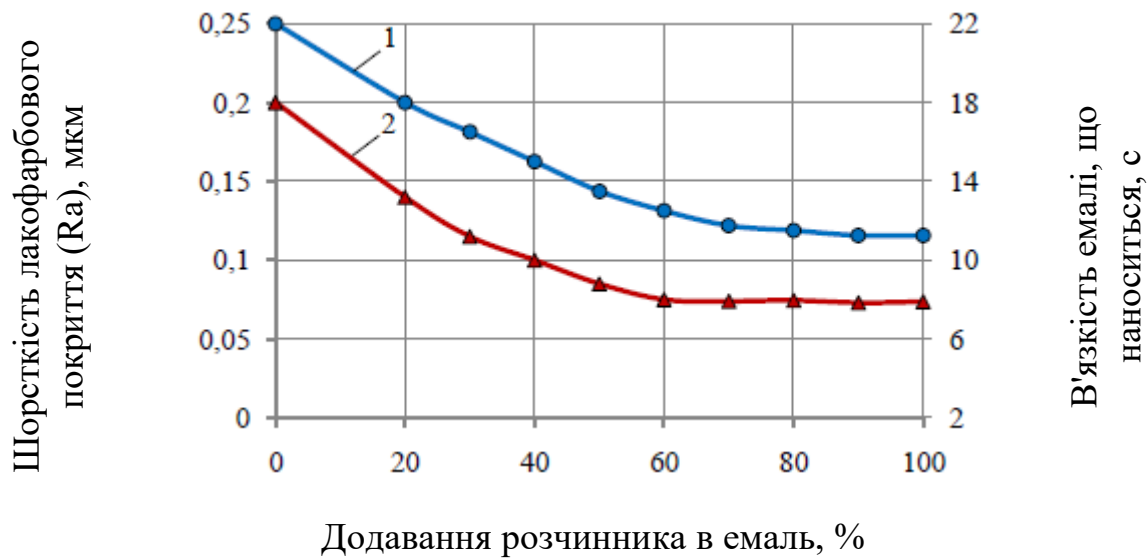


Рис. 3.2. Зміна в'язкості емалі (1) і шорсткості лакофарбового покриття (2) від додання розріджувача в емаль.

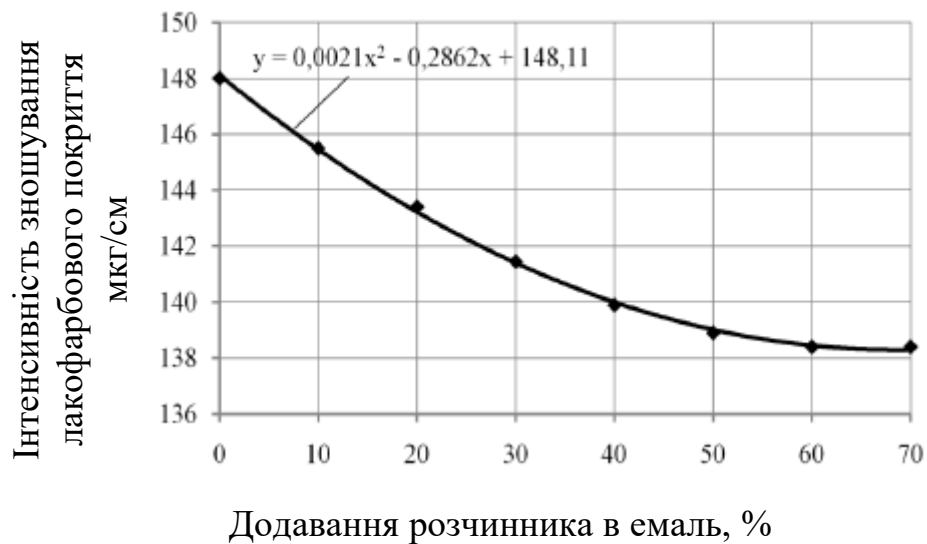


Рис. 3.3. Залежність зміни інтенсивності зношування лакофарбового покриття від додання розріджувача в емаль

При доданні розріджувача до 60% спостерігаються мінімальні значення інтенсивності зношування лакофарбового покриття, при подальшому доданні впливу на інтенсивність зношування не виявлено. Таким чином, при доданні розріджувача до 60% забезпечується шорсткість лакофарбового покриття (ЕП-057 - АК-1301), при якій досягаються мінімальні значення зносу.

Інтенсивність зношування лакофарбового покриття «грунт ЕП-057 – емаль АК-1301» залежно від товщини його зовнішнього шару (емалі)

представлена на рис. 3.4, зображена крива отримана за розробленою аналітичною моделлю.

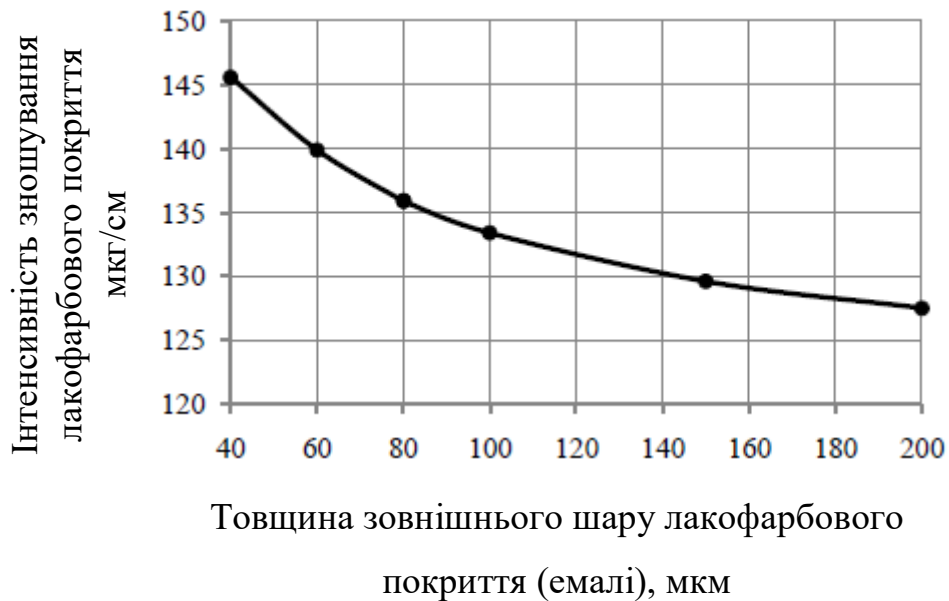


Рис. 3.4. Залежність зміни інтенсивності зношування лакофарбового покриття від товщини зовнішнього шару.

Аналіз рис.3.4 показує, що зі збільшенням товщини емалі до 80 мкм інтенсивність зношування лакофарбового покриття знижується (з 1456 до 1359 мкг/см) на ділянці від 40 до 80 мкм крива має лінійний характер. Подальше збільшення товщини емалі (з 80 до 200 мкм) призводить до меншої зміни інтенсивності зношування (з 135,9 до 127,5 мкг/см).

Товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття (емалі) визначається з урахуванням технічної документації (для досліджуваної емалі АК-1301 номінальна товщина становить 40 мкм). Максимальну товщину з урахуванням ISO 12944-5 та технічної документації не рекомендується створювати понад 80 мкм. Перевищення максимальної товщини емалі призводить до зниження довговічності лакофарбового покриття: при старінні спостерігається значне зниження міцності покриття, що підтверджено численними дослідженнями. Особливо це стосується покриттів, що експлуатуються за умов негативних температур.

У зв'язку з цим інтенсивність зношування лакофарбового покриття в залежності від товщини зовнішнього шару визначалася для покриттів з



товщиною емалі від 40 до 80 мкм. На рис. 3.5 подано результати експериментальних досліджень та їх поєднання з ділянкою кривої від 40 до 80 мкм рис. 3.4.

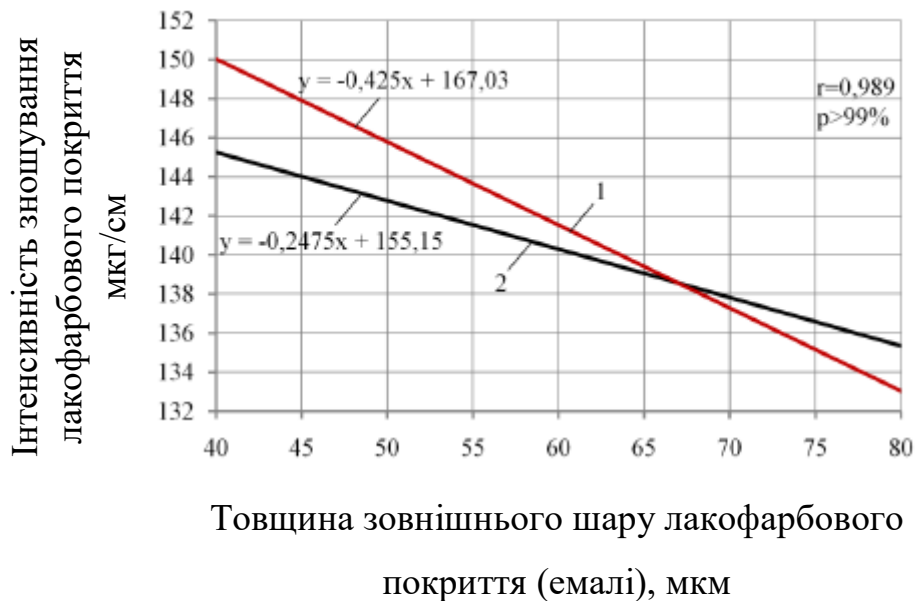


Рис. 3.5. Теоретична (2) та експериментальна (1) залежності зміни інтенсивності зношування лакофарбового покриття від товщини його зовнішнього шару

Поєднання кривих і проведений аналіз за критерієм Стьюдента (t-критерію) показали значну кореляцію:  $r=0,989$  при рівні достовірності  $p>99\%$ . Це свідчить про задовільну адекватність отриманої аналітичної моделі.

Представлені результати досліджень підтверджують, що на інтенсивність зношування лакофарбового покриття впливають такі фактори, як твердість, шорсткість і товщина зовнішнього шару лакофарбового покриття.

Проведений аналіз зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів засвідчив, що покриття на поверхнях днища та шнека жниварок зношується нерівномірно та може становити від кількох мікрометрів біля країв жниварки до повного стирання до середини.

Аналіз зношування лакофарбового покриття днища і шнека жниварок зернозбиральних комбайнів, проведений у господарствах Новосибірської області (рис. 3.6), підтвердив теоретичні дослідження та дав змогу виявити, що за один сезон експлуатації за середнього наробітку комбайна 700 га лакофарбове

покриття на жниварках зношується до металу на ділянках робочих поверхонь, розташованих навпроти похилої камери. Площа зони інтенсивного зношування, на якій розташовані ці ділянки, становить 9-10 м<sup>2</sup>, або від 25 до 50% від усієї площі робочих поверхонь днища та шнека жниварки (залежно від їхньої ширини 9, 7, 6, 5 м).



Рис. 3.6. Жатки зернозбиральних комбайнів після одного сезону експлуатації

На підставі теоретичних передумов і проведених експериментальних досліджень розроблено технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жниварок зернозбиральних комбайнів з метою одержання зносостійкого лакофарбового покриття.

Технологічний процес передбачає формування в зоні інтенсивного зношування лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю (рис. 3.7).

Залежно від ступеня зносу лакофарбового покриття робочих поверхонь днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів пропонується два варіанти виконання технологічного процесу: з площею зносу до 10 м<sup>2</sup> і понад 10 м<sup>2</sup>. Під час здійснення технологічного процесу рекомендується застосовувати систему лакофарбових покриттів "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК-1301)".

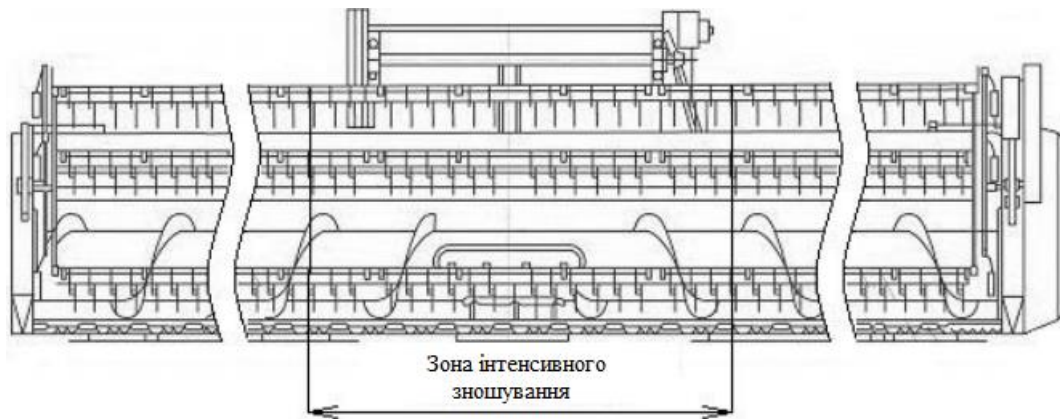


Рис. 3.7. Зона інтенсивного зношування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів.

Для здійснення першого варіанта технологічного процесу на рисунках 3, 4. зображено схему нанесення лакофарбових матеріалів і загальну схему формування лакофарбового покриття, які відображають особливості технологічного процесу :

1. Розраховується площа фарбування і кількість необхідного лакофарбового матеріалу за розробленою методикою.
2. Приготування ґрунту ЕП-057: змішування ґрунту ЕП-057, затверджувача №3 і розчинника Р4 згідно з пропорціями, зазначеними в технічній документації.
- 3 На всю попередньо підготовлену площу поверхні, що фарбується, наноситься перший шар ґрунту.
4. Другий шар ґрунту наноситься з перекриттям (5-7 см) першого шару.
5. Приготування емалі АК-1301: змішування емалі АК-1301, затверджувача №1301 і розріджувача 1301 згідно з пропорціями, зазначеними в технічній документації.
6. Перед нанесенням на поверхню емалі до неї додається пластифікатор на основі дибутилфталату в кількості 34% від загального обсягу.
7. Перший шар емалі наноситься на всю заґрунтовану площу з перекриттям (5...7 см).
8. Готується 60 % розчинника 1301 від об'єму емалі, що залишився.

9. В емаль перед нанесенням другого шару додається  $1/3$  частина від приготованого розріджувача, другий шар наноситься з перекриттям (5-7 см) першого.

10. В емаль перед нанесенням третього шару додається  $1/3$  частина від приготованого розріджувача, третій шар наноситься з перекриттям (5-7 см) другого.

11. В емаль перед нанесенням четвертого шару додається  $1/3$  частина від приготованого розчинника, четвертий шар наноситься з перекриттям (5-7 см) третього.

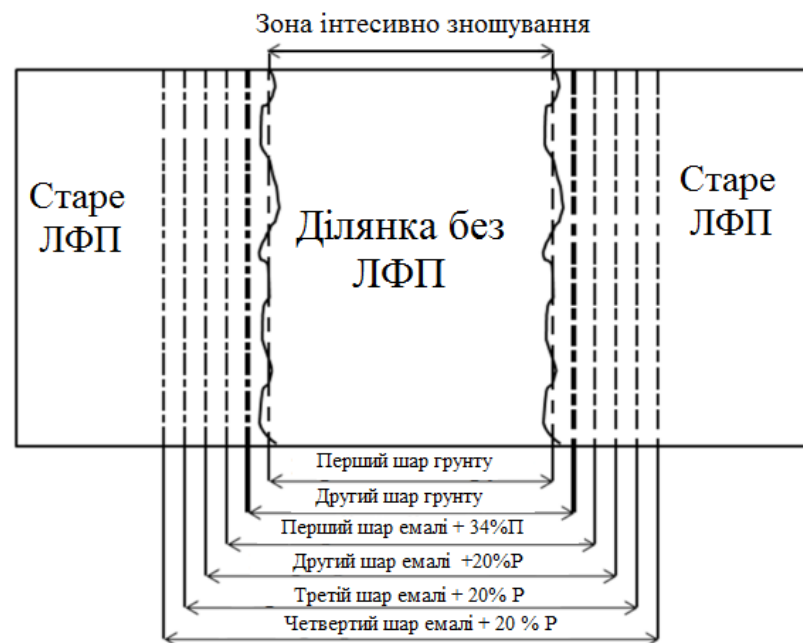


Рис. 3.8. Схема нанесення ЛФМ за першого варіанта технологічного процесу (фарбування до  $10 \text{ м}^2$ )

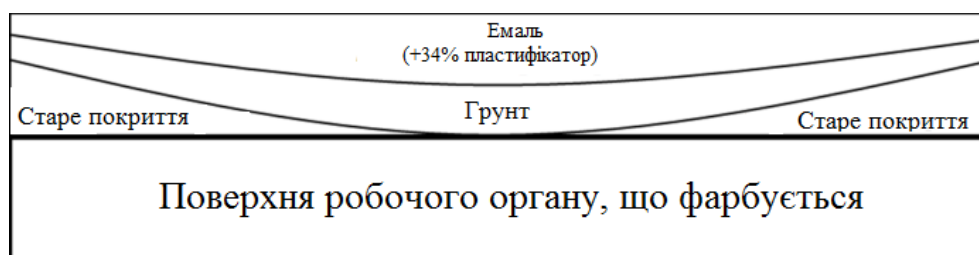


Рис. 3.9. Загальна схема формування лакофарбового покриття

Другий варіант технологічного процесу здійснюється за умови зносу лакофарбового покриття більш ніж на  $10 \text{ м}^2$  на площі робочих поверхонь днища і шнека і містить у собі такі особливості (рис. 3.9):

1. Розраховують площу фарбування і кількість необхідного лакофарбового матеріалу за розробленою методикою.

2. Приготування ґрунту ЕП-057: змішування ґрунту ЕП-057, затверджувача №3 і розчинника Р4 згідно з пропорціями, зазначеними в технічній документації.

3. На всю попередньо підготовлену площу поверхні, що фарбується, наноситься перший шар ґрунту.

4. Другий шар ґрунту наноситься з перекриттям (5-7 см) першого шару.

5. Приготування емалі АК-1301: змішування емалі АК-1301, затверджувача №1301 і розчинника 1301 згідно з пропорціями, зазначеними в технічній документації.

6. Перший шар емалі наноситься на всю заґрунтовану площу з перекриттям (5-7 см).

7. Перед нанесенням другого шару до емалі додається пластифікатор на основі дибутилфталату в кількості 34% від загального об'єму.

8. Готується 60 % розчинника 1301 від об'єму емалі, що залишився.

9. В емаль перед нанесенням другого шару додається 1/3 частина від приготованого розчинника, другий шар наноситься з перекриттям (5-7 см) першого.

10. В емаль перед нанесенням третього шару додається 1/3 частина від приготованого розчинника, третій шар наноситься на зону інтенсивного зношування.

11. В емаль перед нанесенням четвертого шару додається 1/3 частина від приготованого розчинника, четвертий шар наноситься на зону інтенсивного зношування з перекриттям (5...7 см) третього.

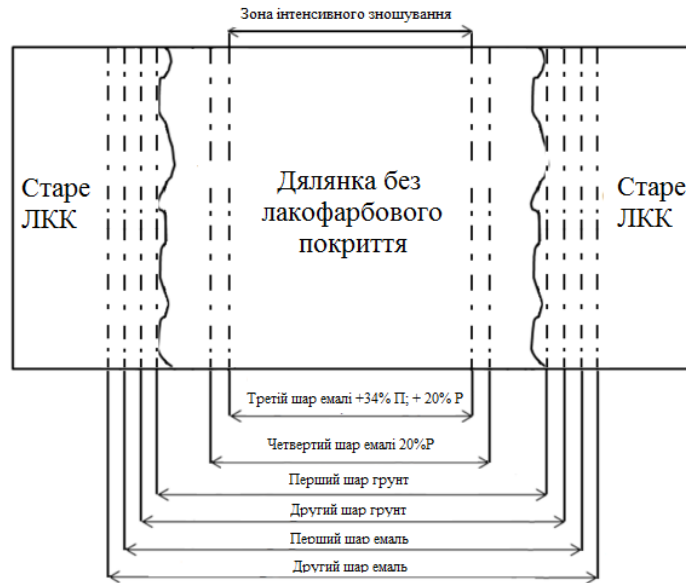


Рис. 3.10. Схема нанесення ЛФМ при другому варіанті технологічного процесу

Розроблений технологічний процес впроваджено в підприємства АПК Житомирської області.

Під час проведення експлуатаційної перевірки за розробленою технологією було пофарбовано поверхні днища і шнека жаток зернозбиральних комбайнів, якими переміщується зернозбиральна маса. Зносостійкість лакофарбового покриття визначали за напрацюванням зернозбирального комбайна в період проведення збиральних робіт. При цьому проводився періодичний контроль товщини лакофарбового покриття відповідно до ГОСТ 31993. Випробування тривали до появи металу (повного зносу лакофарбового покриття) на ділянках максимального зносу (в районі похилої камери). У результаті виявлено таке (таблиця 3.1): лакофарбове покриття, отримане за розробленою технологією із застосуванням системи "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК-1301)", зношувалося в місцях максимального зношування в середньому за напрацювання 1460 т. Випробування інших застосовуваних систем лакофарбових покриттів, представлені в розділі 4.1.3, показали, що напрацювання комбайна до повного зносу лакофарбового покриття становить: "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК-1301)" - 720 т, "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - алкідна емаль (МЛ-152)" - 550 т, "епоксидний ґрунт (ЕП-057) -

пентафталева емаль (ПФ-115)" - 330 т, "акриловий ґрунт (АК-070) - акрилова емаль (АК-1301)" - 280 т, "акриловий ґрунт (АК-070) - алкідна емаль (МЛ-152)" - 320 т, "акриловий ґрунт (АК-070) - пентафталева емаль (ПФ-115)" - 250 т. Також були отримані значення інтенсивності зношування для кожного лакофарбового покриття.

Таблиця 3.1 - Результати експлуатаційних випробувань застосовуваного та розробленого технологічних процесів ремонтного фарбування.

Технологія	Система лакофарбових покриттів	Лакофарбові матеріали	Інтенсивність зношування мкм/т	Напрацювання комбайна до зношування покриття, т
Існуюча	акриловий ґрунт - пентафталева емаль	АК-070 ПФ-115	0,32	250
	Акриловий ґрунт - алкідна емаль	АК-070 МЛ-152	0,25	320
	Акриловий ґрунт - акрилова емаль	АК-070 АК-1301	0,27	290
	Епоксидний ґрунт - пентафталева емаль	ЄП-057 МЛ-152	0,15	550
	Епоксидний ґрунт - алкідна емаль	ЄП-057 АК-1301	0,11	720
Розроблена	Епоксидний ґрунт - акрилова емаль	ЄП-057 АК-1301	0,08	1460



Рис. 3.11. Пофарбовані за розробленим технологічним процесом жатки зернозбиральних комбайнів.

### **Висновки по розділу**

Таким чином, у результаті експлуатаційної перевірки розробленого технологічного процесу встановлено, що зносостійкість одержуваного лакофарбового покриття під час застосування системи "епоксидний ґрунт (ЕП-057) - акрилова емаль (АК-1301)" у 1,4-4 рази вища за зносостійкість лакофарбового покриття, одержуваного за застосовуваними технологіями на ремонтних і сільськогосподарських підприємствах.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проаналізовано закономірності зношування лакофарбового покриття робочих поверхонь жниварок зернозбиральних комбайнів. Встановлено, що особливості конструкції шнека та характер руху зернорослинної маси призводять до більшого зношування лакофарбового покриття до середини жниварки.

Обґрунтовано вибір системи лакофарбових покриттів для фарбування робочих поверхонь жаток зернозбиральних комбайнів. Застосування системи «епоксидний ґрунт (ЕП-057) – акрилова емаль (АК-1301)» дозволяє отримувати, порівняно з іншими випробуваними системами, покриття з меншим коефіцієнтом тертя ковзання із зернорослинною масою (в 1,3 - 2,5 рази); з більшою адгезійною міцністю (в 1,7 – 2,8 рази); з більшою міцністю до стирання (1,5 – 2,4 рази).

Встановлено, що збільшення товщини зовнішнього шару (емалі) по відношенню до товщини первинного шару (ґрунту) за рівної загальної товщини всього лакофарбового покриття призводить до підвищення тривалості роботи при терті та зниженні інтенсивності зношування покриття в цілому.

Запропоновано технологічний процес ремонтного фарбування робочих поверхонь жниварок зернозбиральних комбайнів, що передбачає формування на ділянках, схильних до інтенсивного зношування, лакофарбового покриття з підвищеною зносостійкістю за рахунок додавання в емаль до 34% пластифікатора від загального обсягу; поетапного додавання в емаль розріджувача (перед нанесенням другого та наступних шарів) до 60% від обсягу емалі, що залишилася після нанесення першого шару; нанесення емалі завтовшки до 80 мкм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агєєва І. В. Розвиток системи інженерно-технічного обслуговування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2007. Вип. 54. С. 160–168.
2. Адамчук В. В. Стан наукового забезпечення механізації сільського господарства в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. Вип. 13., кн. 1. С. 21–29.
3. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських машин. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. №4. С. 34-36.
4. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
5. Аулін В. В., Гриньків А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану 248 транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016. №5. С. 109–116.
6. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.
7. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.

8. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки [Текст] / В. В. Аулін : дис. д-ра. техн. наук : 05.02.04. – тертя та зношування в машинах. – Кіровоград, 2014. – 447 с.

9. Бабанін О. Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів: Дис... докт. техн. наук: 05.22.07 Рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Харківська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2001. 288 с.

10. Барановський В. М. Механіко-технологічні основи розробки адаптованих коренезбиральних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2013. 40 с.

11. Баранюк Іван Андрійович. Методи і моделі управління проектами інформатизації агропромислового комплексу: Дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Чернігівський держ. ін-т економіки і управління. Чернігів, 2004. 164 с.

12. Бірюков Д. С. Аналіз та оптимізація надійності складних систем з багатьма станами : автореф. дис... канд. техн. наук: 01.05.04. Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка. Київ. 2009. 20 с.

13. Кузьменко А. Г. Дослідження ефективності профілю змащувальної канавки. *Проблеми трибології*. 2007. №3. С. 3–5.

14. Мороз М.М. Обґрунтування параметрів та режимів роботи обчислюючої жатки для збирання зернових колосових культур: Дисертація кандидата технічних наук: 05.05.11./ Кіровоградський державний технічний університет. – Кіровоград. 2001 185 арк. С. 133-142

16. Радионенко О. В. Механізм граничного змащування поверхонь тертя з частково регулярним мікрорельєфом та їх технологічне забезпечення [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах / О. В. Радионенко. – Київ, 2006. – 20 с.

17. Грабар І. Г., Будзинський І. В. Удосконалення процесу фарбування жатки зернозбирального комбайну під час проведення технічного обслуговування. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 30-36.

18. Грабар І.Г., Будзинський І.В., Вишнівський В.В. Особливості транспортування зернорослинної маси шнеком жатки зернозбирального комбайна. *Збірник матеріалів ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.