

Тема: «Підвищення довговічності обладнання машинно-тракторного парку»

Виконав: Шевченко Владислав Ігорович

Керівник: Тарельник В.Б.

## ВСТУП

Ефективна експлуатація сільськогосподарської техніки залежить від раціональної організації її технічного обслуговування. Показники надійності машин визначають обсяг ремонтних та технічних робіт. У свою чергу, ці обсяги робіт є вихідними характеристиками для формування ремонтно-технічної бази технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Дилерська система, що є дуже важливим, є сполучною ланкою між виробником техніки та фермером. Однак дилерський сервіс не може відповісти на такі завдання через брак логістичних та фінансових ресурсів, а також фактичну відсутність користувача сервісу. Тому значна частина робіт з технічного обслуговування та ремонту парків техніки та тракторів повинна бути організована в господарстві, причому прийнята система організації технічного обслуговування формує основну частину ефективності цієї системи. Метод планування технічного обслуговування тракторів враховує специфіку сільськогосподарського виробництва та забезпечує своєчасне та повне технічне обслуговування. Дослідження показали, що на ефективність організації технічного обслуговування головним чином впливають площа орних земель, клас персоналу в системі, енергетична потужність господарства, наявність механіків та нерівномірне завантаження машинно-тракторного парку (МТП) за періодами. Визначено основні положення методу організації технічного обслуговування відповідно до системи планування.

Довговічність промислового обладнання стала вирішальним фактором конкурентоспроможності для компаній. Зіткнувшись із постійно мінливим промисловим середовищем, впровадження сталого підходу безпосередньо впливає на операційну ефективність, вплив на навколишнє середовище та

загальну прибутковість. Розуміння його численних аспектів є важливим для подолання сучасних викликів виробничого сектору.

Враховуючи вище сказане, тема магістерської дипломної роботи «Підвищення довговічності обладнання машинно-тракторного парку» актуальна і своєчасна.

## **РОЗДІЛ 1**

### **ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБЛАДНАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ**

#### **1.1. Загальні положення згідно обладнання МТП**

Для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва важливо оптимально розподілити сільськогосподарські машини та трактори між сільськогосподарськими операціями під час проведення весняної посівної кампанії та збору врожаю. МТП виконує одне з основних завдань у сільськогосподарських підприємствах, а саме виконання механізованих робіт за певними, чітко встановленими агротехнічними критеріями, дотримуючись оптимальних параметрів якості та мінімальних вимог до витрат. Техніко-економічна ефективність механізованого сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від потужності та структури машинно-тракторного парку, який є в розпорядженні агропромислового підприємства. В результаті виникає необхідність розробки науково обґрунтованих інтегрованих алгоритмів визначення оптимального кількісного складу машинно-тракторного парку сільськогосподарських підприємств. Найважливіший етап вирішення сільськогосподарських задач оптимальної організації виробництва досягається за допомогою обчислювальної техніки та описаний у сучасній науково-практичній та оперативно-дослідній літературі. Це розробка економіко-математичних моделей, що враховують специфіку процесу

сільськогосподарського виробництва, а також найважливіші взаємозв'язки між техніко-економічними факторами.

Машинно-тракторний парк розроблений для забезпечення виконання сільськогосподарських робіт з найбільш прийнятними агротехнічними термінами. З огляду на універсальний характер більшості сільськогосподарських машин, визначення оптимального графіка заміни МТФ та оцінка економічної ефективності експлуатації машинно-тракторних агрегатів різних марок та формацій повинні проводитися не лише для окремих культур, а й комплексно для всього комплексу культур, що вирощуються в господарстві. Необхідно враховувати календарну динаміку та збіг (паралелізацію) різних технологічних та допоміжних процесів у сільськогосподарському виробництві [ 1, 2 ].

Необхідно врахувати ключові поняття, необхідні для розробки алгоритмів оптимізації формування та використання МТФ сільськогосподарського підприємства. Польова обробка, будучи однією з основних галузей рослинництва, передбачає виробництво безпосередньо в полі, переважно однорічних ярих та озимих культур, таких як зернові, картопля, технічні культури тощо. Агротехнологія – це сукупність технологічних операцій, що виконуються при вирощуванні певної культури. Машинно-тракторні роботи – це операції, що виконуються на певному полі через певні проміжки часу при реалізації конкретної сільськогосподарської технології (наприклад, боронування поля) з використанням спеціалізованих машин та знарядь. Між машинно-тракторними роботами існують певні взаємозв'язки та взаємозалежності, які визначають чітко визначену хронологію їх виконання та інтервали між ними. Агротехнічний період робіт (агротермін) – це нормативний період робіт для проведення сільськогосподарських операцій (наприклад, агрономічний період чизелювання з 5 квітня по 10 травня).

Машинно-тракторний (скорочено МТ) агрегат – це сукупність певної кількості одиниць сільськогосподарської техніки, які об'єднані в одне ціле для виконання сільськогосподарської операції, що має механізований характер. Як агрегат МТ можуть виступати такі комбінації: трактор, оснащений

сільськогосподарською машиною; та комбайн, на який встановлено спеціалізоване обладнання. Для однорідності та формалізації задачі можна припустити, що обладнання, яке виконує певну сільськогосподарську операцію самостійно, без поєднання з іншим обладнанням (пристроєм), все ж є агрегатом типу «самохідне обладнання, оснащене фіктивним причіпним обладнанням». Виходячи з цього припущення, у процесі числового експерименту початкове значення кількості таких фіктивних агрегатів встановлюється на деяке достатньо велике число (наприклад, 10 000). Один і той самий агрегат може виконувати сільськогосподарські операції на різних ділянках поля, але при цьому мати різні експлуатаційні характеристики (наприклад, витрату палива та виробничі показники). Останню невизначеність можна визначити шляхом введення цифрових двійників сільськогосподарської техніки з урахуванням індивідуальних характеристик конкретних одиниць обладнання.

Природно-виробничі умови – це сукупність факторів, що визначають умови роботи та ефективність роботи агрегату МТ. До цих факторів належать просторова конфігурація поля, умови переміщення агрегатів, тип ґрунту на полі, умови оплати праці тощо. Слід зазначити, що такі умови також можна емулювати за допомогою цифрових двійників, включаючи модулі нейромережевого аналізу, економетричного та імітаційного моделювання тощо. Планове завдання – це обов'язкові мінімальні обсяги валового збору сільськогосподарських культур, встановлені особою, яка приймає управлінські рішення на підприємстві, або вищим органом управління. Графік роботи агрегату МТ – це формалізований план виконання комплексу механізованих сільськогосподарських робіт та забезпечує найбільш раціональний розподіл роботи агрегату МТ у часі, забезпечуючи виконання планових завдань.

У статті [3] розглядається планування виробництва в сільськогосподарських системах з обмеженими водними ресурсами в посушливих регіонах. Прибутки фермерів були збільшені за рахунок зниження витрат на транспортування техніки на основі оптимальних графіків. Для максимізації чистої вартості було впроваджено планування

сільськогосподарського виробництва та складання графіків використання техніки для багаторічних культур. Метод оптимізації дозволив планувати виробництво, складати графіки використання техніки та здійснювати сівозміну. Було визначено оптимальні маршрути транспортування техніки та проаналізовано потреби в зрошувальній воді. Модель дала змішано-цілочислову лінійну оптимізацію, яка була оцінена на двох тематичних дослідженнях.

Планування польових робіт має вирішальне значення для ефективності сільськогосподарської діяльності. Цю проблему планування було розглянуто в [ 4 ], де були розроблені конкретні алгоритми на основі моделювання дискретних подій та комп'ютерного програмування. Розроблена модель фіксувала обладнання та відстежувала еволюцію його руху по полю за допомогою так званих таблиць переходів станів. Валідність моделі була перевірена шляхом порівняння її ефективності з емпіричними даними, зібраними з збиральної техніки.

Різні технології точного землеробства революціонізували спосіб вирощування сільськогосподарських культур фермерами. У статті [ 5 ] представлено широкий огляд сучасних методів управління, включаючи підготовку ґрунту, удобрення сільськогосподарських культур, належне зрошення, боротьбу зі шкідниками, боротьбу з хворобами та зберігання врожаю картоплі з використанням цих технологій. Автори [ 5 ] розглянули екологічні та економічні аспекти технології, використовуючи основні дослідницькі системи, включаючи Science Direct, Scopus та Web of Sciences. Вони обговорюють проблеми, з якими стикаються фермери, що вирощують картоплю, у збільшенні врожайності, покращенні якості та зниженні виробничих витрат. Було обговорено використання систем моніторингу врожайності, точного посіву, внесення змінних норм внесення ресурсів та дистанційного зондування. Вони підсумовують сучасний стан технологій точного землеробства. В огляді [ 5 ] було підкреслено переваги використання технологій точного землеробства в управлінні посівами картоплі.

У статті [ 6 ] розглядається проблема розподілу сільськогосподарських машин у багатомашинній навігації. Сільськогосподарські машини повинні виконувати кілька сільськогосподарських робіт разом. Для реалізації управління кооперацією сільськогосподарської техніки в [ 6 ] були проведені дослідження розподілу робіт на основі алгоритму мурашиної колонії. Модель розподілу робіт для кооперації сільськогосподарської техніки була створена шляхом поєднання динамічних розподілів робіт. Процес розподілу робіт на основі алгоритму мурашиної колонії був створений з урахуванням відповідності між реальною пропозицією та реальним попитом, робочою потужністю сільськогосподарської техніки, а також циклом виконання робіт та вартістю. На основі статичного розподілу робіт було реалізовано динамічний розподіл робіт з різними можливими сценаріями, включаючи нові завдання та несправні комбайни, що закладає основу для вирішення проблеми планування в середовищі сільськогосподарських робіт.

У сільськогосподарських операціях кілька сільськогосподарських машин виконують кілька завдань разом. У [ 7 ] було проведено дослідження з виявлення конфліктів шляхів на основі топографічних карт та часових вікон для вирішення проблеми безконфліктного шляху для сільськогосподарської техніки в сільськогосподарському середовищі. Попереднє планування шляху було виконано на основі топографічної карти. Глобальний конфлікт шляху було виявлено на основі заданих часових вікон. Алгоритм виявлення глобального конфлікту шляху було змодельовано в MATLAB з використанням топографічної карти ферми Чжуочжоу (Китай). Результати обчислень показали, що оптимізацію шляху та виявлення конфліктів шляхів сільськогосподарської техніки можна реалізувати на основі топографічної карти та часових вікон. Було отримано стратегію вирішення конфліктів, яка вимагає найменшого часу для досягнення безконфліктного шляху при використанні кількох сільськогосподарських машин.

Фермери стикаються з проблемою збільшення врожайності за обмежених ресурсів. Широке використання сільськогосподарської техніки є одним із

найефективніших методів досягнення цієї мети. Оскільки сільськогосподарська техніка дорога, вона економічно недоцільна для дрібних фермерів. Натомість фермери можуть подати запит на використання до компанії з виробництва сільськогосподарської техніки, і компанія відправить свою техніку фермерам для надання операційного обслуговування. Ця бізнес-модель продемонструвала багатообіцяючі переваги. Автори [ 8 ] розробили двоетапний алгоритм диспетчеризації спільної сільськогосподарської техніки для заданих часових вікон. На першому кроці було використано просторово-часовий алгоритм кластеризації для кластеризації сільськогосподарських угідь відповідно до їх розташування, часових вікон та штами сільськогосподарських культур. Також було визначено найкоротший маршрут у кожному заданому кластері сільськогосподарських угідь. На другому кроці спільні сільськогосподарські машини були маршрутизовані по кластерах, щоб мінімізувати витрати на диспетчеризацію. Обидва ці кроки були сформульовані як задача лінійного програмування зі змішаним цілим числом. Для вирішення проблеми було запропоновано двоетапну евристику на основі CPLEX. Обчислювальні експерименти були проведені з великими даними від реальної компанії з виробництва сільськогосподарської техніки. Результати обчислень продемонстрували ефективність та можливості розроблених алгоритмів.

Соціально-економічна ситуація стимулює необхідність прискореного розвитку сільськогосподарського виробництва. Тому необхідно використовувати більше нових технологій для забезпечення безперебійної високоякісної роботи машинно-тракторного парку. У [ 9 ] аналізується динаміка імпорту та експорту сільськогосподарської техніки.

Важливо розробити систему обслуговування з оптимальним розташуванням об'єктів технічного обслуговування, щоб гарантувати швидке реагування на збої завантаженої сільськогосподарської техніки під час збору врожаю. Метою [ 10 ] є оптимізація розташування та переміщення ієрархічних рівнів об'єктів, що складаються зі станцій технічного обслуговування та мобільних сервісних парків, протягом кількох періодів сезону збору врожаю для підтримки роботи

сільськогосподарської техніки. Автори статті [ 10 ] сформулювали багатоцільову задачу покриття розташування для ієрархічних об'єктів, яка максимізує загальний попит, що покривається в межах радіусів реагування, мінімізуючи при цьому модифікацію розташування об'єктів між різними періодами часу. Алгоритм  $\epsilon$ -обмеження використовує лексикографічну оптимізацію для отримання набору не менш ефективних рішень, що дозволяють особі, яка приймає рішення, оцінити компроміс між кількома цілями прийняття рішень. Алгоритм було застосовано до реальної задачі, щоб проілюструвати ефективність моделі прийняття рішень та алгоритмів. На основі отриманих обчислювальних результатів було рекомендовано оптимальне розташування об'єктів для практичної реалізації. Було застосовано аналіз чутливості вибраних параметрів. Він порівняв рішення, отримане з моделі, з рішеннями для певного періоду, які не враховували зміну розташування об'єктів між періодами часу.

Оптимальне планування потужностей дуже важливе для підвищення ефективності сільськогосподарських операцій та зниження експлуатаційних витрат для постачальників послуг з технічного обслуговування під час збирального сезону. У багатьох опублікованих дослідженнях представлені підходи до планування, які не враховують простої. Однак опубліковані методи не застосовні в деяких галузях сільськогосподарських операцій через високий рівень відмов під час збирального сезону. Лише кілька досліджень включають методи розподілу та пов'язані з ними моделі між рівнями планування, особливо для невизначеного попиту на технічне обслуговування сільськогосподарської техніки. У [ 11 ] запропоновано двоетапний аналітичний алгоритм, який пов'язує дані між рівнями планування та має на меті розробити алгоритм динамічного планування потужностей для обслуговування парків сільськогосподарської техніки. Автори [ 11 ] розробили модель та алгоритм планування для парків сільськогосподарської техніки на основі часового вікна збору врожаю. Було запропоновано режим обслуговування та динамічну модель покриття на основі результатів планування, в яких для знаходження параметрів обслуговування використовувалася теорія черг. Це дослідження задовольняє потреби

постачальників послуг у пошуку оптимального балансу між якістю обслуговування та вартістю обслуговування. Для ілюстрації застосовності моделі та ефективності розроблених алгоритмів було описано реальну сільськогосподарську проблему.

Стаття [ 12 ] присвячена проблемі динамічного розташування об'єктів стосовно мережі технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, яка призначена для забезпечення швидкого та надійного реагування на запити сільськогосподарської техніки під час збору врожаю. Напружений сільськогосподарський сезон був розділений на кілька періодів часу, в яких проблема полягала у визначенні місця розташування тимчасових станцій технічного обслуговування. Ця проблема була сформульована як лінійна програма зі змішаним цілим числом для мінімізації загального пробігу між станціями технічного обслуговування та точками попиту. Для вирішення програми зі змішаним цілим числом було розроблено алгоритм, заснований на розкладі Бендерса. Модель та алгоритми були проілюстровані застосуванням до реальної проблеми в Китаї. Обчислення визначили оптимізований план розподілу об'єктів та продемонстрували перевагу впровадження обмежень суміжності.

Підсумовуючи вищезазначене дослідження, можна зробити висновок, що планування машинного парку є важливим для сталого сільського господарства. Його основні цілі такі: забезпечення відповідного вибору культур та сівозмін, планування удобрення та контроль удобрення та щільності поголів'я худоби. Реалізація цих цілей та підтримка належної рентабельності виробництва можливі за допомогою відповідно підібраних сільськогосподарських машин. Можна припустити, що в майбутньому значення алгоритмів та програм для управління та планування сільськогосподарської техніки зростатиме.

В рамках подальшого розвитку запропонованої моделі та алгоритму оптимізації формування та використання машинно-тракторного парку сільськогосподарського підприємства можливе застосування математичного методу змішано-цілочислового лінійного програмування. Видається корисним

розробити точний (або евристичний) алгоритм, який дозволяє на основі оптимального плану нелінійної задачі побудувати коректний цілочисельний план, максимально наближений до оптимального.

Особливий інтерес представляє дослідження багатокритеріальних моделей для оптимізації парку машин і тракторів у сільськогосподарському виробництві [13]. Одним із найсучасніших підходів до вирішення задачі планування операцій для системи машин у польовому землеробстві є алгоритми на основі нейронних мереж. Зокрема, такі фреймворки, як Opta-Planner (на основі синтаксису Java) та Ruomo (синтаксис Python), добре зарекомендували себе в сільськогосподарській практиці. Однак у таких випадках багато що залежить від вихідних даних, і якість отриманого рішення, з математичної точки зору, не є оптимальною в строгому сенсі. Тим не менш, для практичних цілей цього часто достатньо, а нижча точність використовуваного алгоритму компенсується його простотою та швидкістю реалізації.

Значний інтерес представляє підхід, заснований на імітаційному моделюванні. Такі моделі включають низку параметрів (наприклад, продуктивність машинно-тракторних агрегатів, ціну 1 години роботи, наявну кількість працездатного обладнання тощо) у математичній моделі у вигляді випадкових величин із відомим розподілом ймовірностей. Відповідний розподіл ймовірностей може бути обраний на основі критеріїв узгодженості, відомих з математичної статистики, на основі аналізу ретроспективних даних (якщо такі є). Як варіант, розподіл ймовірностей може бути запропонований експертами на основі їхніх знань та уявлень про предметну область.

За допомогою методу Монте-Карло можна оцінити очікуване значення та діапазон коливань ключових ендогенних змінних математичної моделі, а також цільової функції, що дозволяє використовувати більш збалансований підхід до обґрунтування управлінських рішень, пов'язаних з управлінням комплексом механізованих робіт у польовому землеробстві.

Цікавим для подальшого дослідження є також випадок невизначених термінів виконання механізованих сільськогосподарських робіт. Затримка

певної операції може призвести до втрат врожаю та потенційного прибутку від відповідної сільськогосподарської продукції. Однак, водночас це може призвести до економії ресурсів. Наприклад, може не знадобитися купувати додаткове обладнання для таких операцій, оскільки вони виконуються існуючими агрегатами МТ, хоча й з порушенням термінів. Який із цих сценаріїв є кращим – це питання, на яке має відповісти модифікована модель оптимізації.

## **1.2. Фактори що впливають на довговічність обладнання МПП**

Питання, що хвилюють усіх керівників виробництва сьогодні це: Чи є промислове обладнання підприємства (МТП) фінансовим витрачанням, а не прибутковою інвестицією? Чи дійсно довговічність промислового обладнання змінює ефективність МТП? Дійсно, довговічність промислового обладнання є важливим стратегічним викликом, який безпосередньо визначає конкурентоспроможність та сталий розвиток виробничих компаній. У складних економічних умовах та зіткненні зі зростаючими екологічними проблемами оптимізація довговічності обладнання стає вкрай важливою. Такий підхід значно знижує витрати на технічне обслуговування, мінімізує незаплановані простої виробництва та обмежує вплив промислової діяльності на навколишнє середовище.

На сьогодні ключовими результатами щодо покращення довговічності промислового обладнання є:

- Зниження витрат: краща довговічність зменшує витрати на обслуговування на 20-40%.
- Оптимізація доступності: довговічні машини підвищують продуктивність до 25%.
- Вплив на навколишнє середовище: довговічність обладнання зменшує вуглецевий слід промисловості.
- Покращена рентабельність інвестицій: інвестиції в довговічність генерують значну віддачу від інвестицій.

- Цифровізація процесів: цифрові робочі інструкції оптимізують втручання в технічне обслуговування.

Довговічність промислового обладнання є вирішальним фактором конкурентоспроможності для компаній.

Зіткнувшись із постійно мінливим промисловим середовищем, впровадження сталого підходу безпосередньо впливає на операційну ефективність, вплив на навколишнє середовище та загальну прибутковість. Розуміння його численних аспектів є важливим для подолання сучасних викликів аграрного сектору.

### **Вплив довговічності на навколишнє середовище**

Вплив довговічності промислового обладнання на навколишнє середовище є суттєвим:

- Зменшення потреб у ресурсах: Збільшення терміну служби обладнання значно зменшує потребу у виробництві нових машин.
- Зниження споживання енергії: Добре обслуговувані машини працюють ефективніше, споживаючи менше енергії за ту саму виробничу продуктивність.
- Зменшення промислових відходів: менше несправних компонентів призводить до меншої кількості металевих відходів та електронних компонентів, які потрібно переробляти.

### **Вплив довговічності на безпеку на робочому місці**

Сталий підхід до технічного обслуговування промислового обладнання безпосередньо покращує безпеку на робочому місці:

- Зниження ризиків відмов: належним чином обслуговуване обладнання зменшує ризик раптових відмов та аварій.
- Передбачуваність відмов: передбачення небезпечних втручань, що дозволяє операторам працювати в безпечнішому середовищі.
- Посилена культура безпеки: постійне навчання команди найкращим практикам технічного обслуговування сприяє зміцненню культури безпеки.

Довговічність промислових машин є вирішальним питанням, яке безпосередньо впливає на їхню продуктивність та довговічність. Вона залежить від складної взаємодії кількох взаємопов'язаних факторів.

Цілісний підхід, що враховує всі ці елементи, є важливим для оптимізації терміну служби обладнання. Визначення та опанування цих параметрів є основою ефективної стратегії довговічності.

### **Вплив якості матеріалу на довговічність**

Якість матеріалів є фундаментальною складовою довговічності промислового обладнання.

- Підвищена стійкість: високопродуктивні матеріали більш стійкі до механічних та термічних навантажень, що значно подовжує термін служби компонентів.

- Захист від корозії та зносу: Спеціалізована обробка поверхні захищає від корозії та передчасного зносу, зберігаючи початкові властивості компонентів.

- Індивідуальні рішення: Інновації в металевих сплавах пропонують рішення, адаптовані до конкретних вимог кожного промислового застосування.

### **Вплив технічного обслуговування на довговічність**

Технічне обслуговування – це важіль прямої дії для оптимізації довговічності промислових машин.

- Профілактичне обслуговування: Ретельне планування профілактичного обслуговування дозволяє передбачати збої та уникати їх.

- Якість втручання: Стандартизовані процедури та якісне виконання гарантують ефективність коригувальних дій.

- Підготовка техніків: Належна підготовка техніків забезпечує оволодіння методами технічного обслуговування, характерними для кожного обладнання.

### **Вплив операційного середовища**

Експлуатаційне середовище має значний вплив на довговічність промислових машин.

- Температура навколишнього середовища: Температура навколишнього середовища впливає на роботу електронних та механічних компонентів.

- Вологість та забруднюючі речовини: Вологість та атмосферні забруднюючі речовини прискорюють корозію та окислення матеріалів.

- Вібрації та удари: Вібрації та механічні удари можуть передчасно пошкодити чутливі елементи.

### **Вплив використання машин на їхню довговічність**

Спосіб використання машин безпосередньо впливає на їхню довговічність.

- Відповідність вантажопідйомності: Дотримання номінальної вантажопідйомності машини зберігає її структурну цілісність.

- Регулярність циклу : Регулярні цикли використання корисні для довговічності механічних компонентів.

- Компетентність оператора: Щоденна практика операторів суттєво впливає на термін служби обладнання.

### **Ефективні стратегії для підвищення довговічності машин**

Довговічність промислового обладнання залежить від поєднання перевірених та інноваційних стратегій.

Ці підходи, що поєднують передові технології, передовий досвід експлуатації та цифрові інструменти, спрямовані на максимізацію продуктивності та довговічності обладнання. Їхня ефективність полягає в адаптації до особливостей кожного промислового середовища та гармонійній інтеграції в існуючі процеси.

### **Вплив прогнозного обслуговування на подовження терміну служби машин**

Прогнозне технічне обслуговування є важливим кроком у підвищенні довговічності промислового обладнання. Воно структуроване навколо кількох основних принципів:

- Збір даних у режимі реального часу: датчики Інтернету речей збирають важливі дані про стан обладнання, що дозволяє ідентифікувати слабкі сигнали несправностей.

- Прогнозний аналіз за допомогою штучного інтелекту: штучний інтелект аналізує тенденції та точно прогнозує потреби в технічному обслуговуванні, тим самим уникаючи дорогих поломок.

- Оптимізація графіка втручань: технічне обслуговування планується проактивно, що скорочує час простою та забезпечує оптимальну операційну ефективність.

### **Підвищення довговічності за рахунок цифровізації робочих інструкцій за допомогою Picomto**

Цифровізація робочих інструкцій за допомогою Picomto радикально змінює довговічність промислового обладнання:

- Послідовність та точність: Цифрові процедури гарантують послідовність та точність під час технічного обслуговування.

- Повна відстежуваність: запис усіх дій дозволяє оптимізувати практику та виявляти покращення.

- Миттєвий доступ до інформації: швидкий доступ до технічної інформації зменшує кількість людських помилок та пришвидшує коригувальні втручання.

### **Впровадження ефективної стратегії довговічності обладнання для МТП**

Впровадження стратегії довговічності для промислових машин вимагає методичного та структурованого підходу. Цей процес включає кілька важливих кроків, від початкової оцінки до моніторингу продуктивності.

Тому важливо розуміти кожен етап процесу, щоб максимізувати ефективність інвестицій та гарантувати стале вдосконалення обладнання.

Оцінка поточного стану є першим фундаментальним кроком стратегії. Вкрай важливо:

- Провести комплексний аудит існуючого обладнання.

- Точно задокументувати вік, історію технічного обслуговування та продуктивність кожної машини.
- Збирати дані про виробництво, час простою та витрати на технічне обслуговування, щоб визначити найважливіше обладнання.
- Проаналізувати повторювані режими відмов, щоб зрозуміти слабкі місця.
- Залучити польові бригади: їхні щоденні спостереження дають цінну інформацію про фактичну роботу машин. Доповнити цю інформацію об'єктивними вимірюваннями та технічними оглядами.

Визначення реалістичних цілей довговічності залежить від результатів початкової оцінки. Ці цілі повинні бути:

- Конкретні: чітко визначені.
- Вимірювані: кількісно вимірні для відстеження прогресу.
- Досяжно: реалістичні за наявних ресурсів.
- Визначено у чітко встановлені терміни.

Пріоритетність потрібно надати найважливішим машинам для виробництва. Потрібно встановити прогресивні етапи, а не одну довгострокову мету, щоб полегшити моніторинг та підтримувати мотивацію команди.

Потрібно залишатись амбітними, водночас прагматично ставлячись до доступних ресурсів.

### **Технології та стратегії для конкретного підприємства МТП**

Вибір технології залежить від конкретних цілей та бюджету. Врахуйте:

- Рішення для прогнозного обслуговування на основі Інтернету речей: для постійного моніторингу стану машин.
- Інструменти цифровізації процедур технічного обслуговування: для стандартизації втручання та зменшення кількості людських помилок.

- Платформи комп'ютеризованої системи управління технічним обслуговуванням: для централізації всієї інформації.

- Розумні датчики: для збору даних у режимі реального часу та виявлення аномалій до того, як вони спричинять збої.

Однак переконайтеся, що ваші спеціалісти опанували ці нові технології.

Навчання команди є ключовим фактором успіху для підвищення довговічності промислового обладнання. Важливо:

- Визначити необхідні навички для кожної посади.
- Розробити навчальну програму, адаптовану до конкретних потреб.
- Організувати теоретичні та практичні заняття для гарантії повного засвоєння.

- Використовувати цифрові інструменти для створення інтерактивних робочих інструкцій.

- Залучати персонал до розробки нових процедур.

- Стандартизувати практики для забезпечення стабільної якості втручання.

- Впровадити внутрішню систему сертифікації для підтвердження набутих навичок.

- Регулярно проводити оновлене навчання.

Моніторинг відповідних показників дозволяє оцінити ефективність стратегії довговічності. Необхідно:

- Виміряти загальну ефективність обладнання МТП.

- Контролювати кількість незапланованих збоїв та їх середню тривалість.

- Проаналізувати динаміку витрат на технічне обслуговування відносно доходу.

- Відстежувати середній час напрацювання між відмовами для кожного критичного обладнання.

- Вимірювати середній час до ремонту для оптимізації втручання.

- Інтегрувати екологічні показники, такі як питоме споживання енергії.

Таким чином, підвищення довговічності промислового обладнання вимагає комплексного та методичного підходу. Ключові моменти включають ретельну оцінку існуючого стану, реалістичне визначення цілей та впровадження відповідних технологій. Крім того, навчання персоналу та моніторинг відповідних показників гарантують успіх підходу.

### **1.3. Керування зносом деталей обладнання МТП**

Кожна машина, транспортний засіб та будь-який об'єкт неминуче з часом зношуються. Знос – це просто факт життя під час технічного обслуговування, ремонту та експлуатації.

Головне — це те, як ви цим керуєте. Проактивне розуміння та усунення зносу має вирішальне значення для підтримки продуктивності обладнання, мінімізації дороговартісного простою та підвищення загальної операційної ефективності.

Незаплановані простої є надзвичайно дорогими. Наприклад, у американському автомобільному секторі незаплановані простої коштують 2,3 мільйона доларів на годину, або понад 600 доларів на секунду. Коли ви проактивно усуваєте нормальний знос, перш ніж він переросте у серйозні пошкодження, ви можете забезпечити безпечну роботу своїх машин, продовжити термін служби активів та уникнути серйозних поломок.

Хоча знос обладнання є неминучим явищем, ви можете мінімізувати його вплив за допомогою правильних практик. Регулярні огляди, графіки профілактичного технічного обслуговування та своєчасний ремонт допомагають виявляти проблеми зносу на ранній стадії, продовжуючи термін служби обладнання та запобігаючи переростанню незначного зносу у серйозні поломки. Знос неминучий, і кожна галузь повинна з ним справлятися. Від виробничого обладнання до автопарку та об'єктів, належне обслуговування зменшує ризики безпеки та простої.

Сучасні інструменти мають значення. Цифрові рішення, такі як комп'ютеризовані системи управління технічним обслуговуванням, дозволяють вашій команді відстежувати стан обладнання, планувати рутинні завдання та випереджати проблеми зносу.

Знос – це природне, поступове погіршення стану активу, яке відбувається в результаті нормального використання з часом. Щоразу, коли ви керуєте машиною або транспортним засобом, його компоненти зазнають незначного тертя, напруження та старіння, які накопичуються повільно, але впевнено. Наприклад, стоншення протектора шини або втрата жорстких допусків у підшипнику машини – це класичні ознаки зносу від звичайної експлуатації.

Цей процес є очікуваним; він спричинений не неправильним використанням чи раптовою аварією, а радше звичайним використанням та плином часу. Зі старінням та постійним використанням вашого обладнання деталі зношуються, а продуктивність поступово знижується.

### **Поширені причини зносу**

У промислових умовах на знос впливає кілька факторів:

- Частота та інтенсивність використання: Чим частіше ви використовуєте обладнання, тим швидше зношуються його компоненти.
- Якість матеріалів: Високоякісні матеріали, як правило, довше витримують знос, тоді як дешевші деталі можуть швидше зношуватися.
- Робоче середовище: Суворі умови експлуатації значно прискорюють знос. Вплив екстремальних температур, холоду, вологи, пилу або агресивних хімічних речовин може призвести до швидшого руйнування матеріалів.
- Методи технічного обслуговування: Неналежне технічне обслуговування є основною причиною прискореного зносу. Планове технічне обслуговування виявляє та усуває незначні проблеми зносу, перш ніж вони погіршаться.
- Експлуатаційні звички: Добре навчена команда, яка дотримується належних операційних процедур, уникне зайвого навантаження на машини.

### **Знос проти пошкоджень: ключові відмінності**

Знос – це поступове, очікуване знецінення обладнання внаслідок нормального використання та старіння, тоді як пошкодження стосується шкідливої події або дії, що виходить за межі нормального використання.

Звичайний знос не змінює функціонування активу фундаментально одразу, це повільна втрата ефективності. Пошкодження, навпаки, часто призводить до раптової втрати функціональності або вимагає негайного ремонту.

Ви можете передбачити та «запланувати» знос, тоді як пошкодження є неочікуваними та не можуть бути заплановані. Наприклад, коли підшипники зношуються після завершення свого номінального терміну служби, це нормально. Однак, якщо підшипник заклинює, тому що його ніколи не змащували, це пошкодження спричинене поганим обслуговуванням.

### **Реальні приклади зносу в різних галузях промисловості**

#### ***Виробництво та важке обладнання***

У виробничих умовах обладнання часто працює на високих швидкостях або під великими навантаженнями, що робить механічний знос постійною проблемою.

Приклади включають:

- Підшипники в двигунах і конвеєрних роликах поступово зношуються, що призводить до вібрації та шуму.
- Зубці шестерень у важкій техніці повільно втрачають свою форму через тертя.
- Конвеєрні стрічки зношуються або розтягуються після тривалого використання.

#### **Транспортування та обслуговування автопарку**

Для автопарків поширені проблеми зносу включають:

- Протектор шин зношується з кожною милею.
- Гальмівні колодки поступово стоншуються.
- Компоненти двигуна, такі як свічки запалювання, ремені вентилятора та фільтри, зношуються внаслідок використання.

Ось чому для автомобілів існують рекомендовані інтервали обслуговування. Професійна команда технічного обслуговування планує профілактичне обслуговування автомобілів: заміна оливи та фільтра через встановлені інтервали, комплексні огляди, ротація шин та своєчасна заміна деталей.

### **Вплив на витрати на технічне обслуговування та термін служби активів**

Гарне технічне обслуговування може значно подовжити термін служби обладнання, тоді як нехтування ним може скоротити його. Коли компоненти зношуються повільно, а ви замінюєте їх своєчасно, активи можуть продовжувати працювати з майже піковою продуктивністю набагато довше.

Неконтрольований знос швидко прискорюється, перевищуючи межі початкового компонента. Зношений підшипник може призвести до перекосу валу, що пошкоджує ущільнення та інші компоненти, потенційно руйнуючи весь насос. Своєчасна заміна цього підшипника вартістю 50 доларів може заощадити вам дорогу заміну насоса вартістю 5000 доларів у майбутньому.

Управління зносом робить ваше бюджетування на технічне обслуговування більш передбачуваним. Ви можете планувати звичайну заміну компонентів, замість того, щоб стикатися з неочікуваними витратами на технічне обслуговування через несподівані поломки.

### **Вплив на безпеку, відповідність вимогам та час простою**

Зношене обладнання створює загрозу безпеці. Багато промислових аварій виникають безпосередньо через те, що обладнання працює понад свій максимальний термін: зношені троси підйомника ламаються під навантаженням, зношені шини лопаються, а перегріті підшипники викликають пожежі.

Нормативні акти, чітко вимагають від роботодавців підтримувати обладнання в безпечному стані. Якщо аварія пов'язана з відсутністю технічного обслуговування, ваша компанія може зіткнутися з серйозними штрафами та відповідальністю.

Знос обладнання є однією з основних причин незапланованих простоїв. Непередбачені зупинки виробничої лінії означають втрату продукції, пропущені терміни, незадоволення клієнтів та марні витрати на робочу силу.

Ефективне управління зносом дозволяє перетворити незаплановані простої на планові. Ви можете виконувати технічне обслуговування під час запланованих зупинок, замість того, щоб мати справу з неочікуваними поломками машини під час пікової роботи.

### **Регулярні перевірки та моніторинг стану**

Першою лінією захисту від надмірного зносу є регулярний огляд. Регулярно перевіряючи стан обладнання, ви можете виявити ранні ознаки зносу, перш ніж вони перетворяться на серйозні проблеми. Щоденні оглядові огляди важкої техніки є важливими. Ці швидкі перевірки виявляють ранні проблеми, такі як зношування ременів або низький рівень рідин, що дозволяє вашій команді усунути проблеми до того, як обладнання вийде з ладу.

Технології моніторингу стану стали революційними у виявленні зносу. Ці системи дозволяють безперервно перевіряти обладнання без перебоїв, забезпечуючи видимість стану активів у режимі реального часу:

- Аналіз вібрації може виявити, коли зношуються підшипники.
- Термографія може виявити гарячі точки, що свідчать про надмірне тертя.
- Аналіз оливи може виявити внутрішній знос шляхом виявлення металевих частинок.
- Ультразвукове прослуховування може виявити витік повітря або рідини.

Використовуючи ці інструменти, персонал з технічного обслуговування може перейти до прогнозного технічного обслуговування. Ви зможете виявити умови зносу до того, як вони спричинять пошкодження, та запланувати ремонт у потрібний час.

#### 1.4. Запобігання механічному зносу сільськогосподарської техніки

Сільськогосподарська техніка надзвичайно поширена у Сполучених Штатах. Ринок сільськогосподарської техніки Сполучених Штатів прогнозував зростання використання сільськогосподарської техніки на 4,7% протягом періоду 2020-2025 років. Це означає, що ця популярність лише зростає, оскільки зростають і наші сільськогосподарські потреби.

Якщо ви користуєтеся сільськогосподарською технікою, безсумнівно, траплялися ситуації, коли вам потрібно було зосередитися на ремонті. Особливо це стосується випадків, коли ви користуєтеся технікою достатньо довго, щоб почалася її механічна зношеність. Немає однієї-єдиної проблеми, яка б спричиняла механічний знос у пересічній сільськогосподарській техніці. Насправді, це зазвичай поєднання багатьох різних факторів. Існує три найпоширеніші причинами механічного зносу.

Як і з будь-чим іншим, з часом сільськогосподарська техніка почне зношуватися. Ці машини масивні, і навіть якщо ви їх накриєте та ніколи не використовуватимете, зрештою їм знадобиться певне технічне обслуговування.

Знос з часом може проявлятися у вигляді води, що спричиняє іржу, корозію або загальне старіння (рис. 1.1). У будь-якому випадку, з часом вам варто звернути увагу на технічне обслуговування сільськогосподарської техніки.

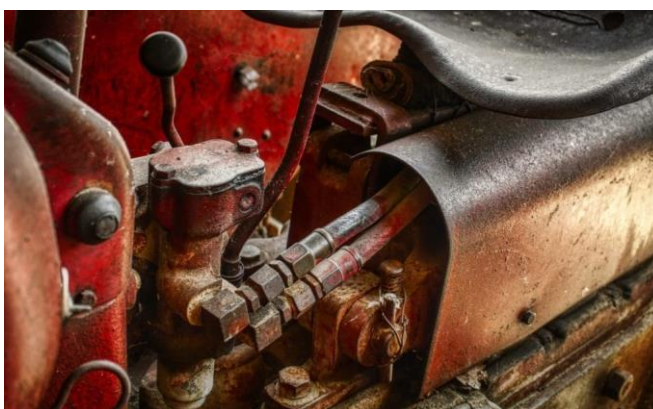


Рисунок 1.1 – Поступове зношування поверхонь деталей сільськогосподарської техніки

Другою найпоширенішою причиною, що не дивно, є використання машини. Важка сільськогосподарська техніка зазнає значних навантажень, а сільськогосподарське середовище сповнене небезпек. Хоча ці машини загалом міцні та надійні, вони з часом виходять з ладу, як і будь-який транспортний засіб.

Можна уповільнити цей процес, але не можливо його зупинити. Знос сільськогосподарської техніки продовжується з кожним збором врожаю, перевезенням вантажу та будь-яким іншим використанням, яке ви тільки можете собі уявити. Потрібно регулярно технічно обслуговувати її, щоб уповільнити цей процес, але необхідно бути готовим до ремонту, коли настане час.

Одною з причин механічного зносу, яка повністю залежить від користувача, – це постійний догляд за технікою (рис. 1.2). Якщо ніколи не проводити технічне обслуговування транспортного засобу, сільськогосподарська техніка вийде з ладу набагато швидше. Догляд за сільськогосподарською технікою – це робота на повний робочий день.



Рисунок 1.2 – Постійний догляд за технікою

Регулярно чистіть обладнання, від найменшого візка до найбільшого трактора. Проводити загальне технічне обслуговування своїх машин і робити усе можливе, щоб підтримувати їх у робочому стані. Також можливо вжити деяких превентивних заходів, щоб забезпечити якомога кращий догляд за ними.

### **Виправлення механічного зносу**

Зрештою, ваша техніка зношується. Навіть найретельніші та найсуворіші процедури механічного обслуговування не зможуть зупинити неминуче. Нижче розглянуті ці три способи вирішення проблеми з зношеною сільськогосподарською технікою.

### **Ремонт та заміна**

Один із найпростіших, хоча часто й найдорожчих, – це просто замінити будь-який механізм, з яким виникають проблеми. Особливо транспортні засоби з часом досягають точки, коли перестають належним чином функціонувати. Зрештою, також настає період старіння, що змушує їх замінити.

Звичайно, це не означає, що одна проблема означає витрачання грошей на купівлю абсолютно нового трактора. Регулярне технічне обслуговування техніки, ймовірно, покаже вам саме те, що несправне, а що потребує заміни. Наприклад, може виникнути несправність ременя. У такій гіпотетичній ситуації все, що потрібно зробити, це замінити ремінь або інший несправний компонент. Модернізація та виконання такого часткового технічного обслуговування можуть забезпечити роботу вашої техніки протягом тривалого часу. Цей ремонт є частиною загального технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, тому очікуйте, що його доведеться робити з відносною частотою.

### **Холодний спрей**

Іноді заміна чогось неможлива – або зовсім непотрібна. Однією з технік є холодне напилення. Хоча техніка холодного напилення все ще дещо рідкісна, вона з кожним роком стає все більш популярною.

Також відоме як надзвукове осадження частинок, холодне розпилення виштовхує частинки металевого порошку на поверхню. Це робиться за допомогою газу під високим тиском, такого як азот або гелій. Частинки деформуються та зв'язуються з поверхнею, на яку вони вдарилися.

Це чудово підходить для ремонту невеликих тріщин та отворів, особливо в металевому обладнанні (рис. 1.3). Холодне напилення можна використовувати для швидкого та ефективного ремонту активів, замість того, щоб ваша сільськогосподарська техніка була несправна тижнями чи місяцями. Зверніться

до Heartland Repair and Coatings, щоб отримати додаткову інформацію про нашу техніку холодного напилення для вашого обладнання.

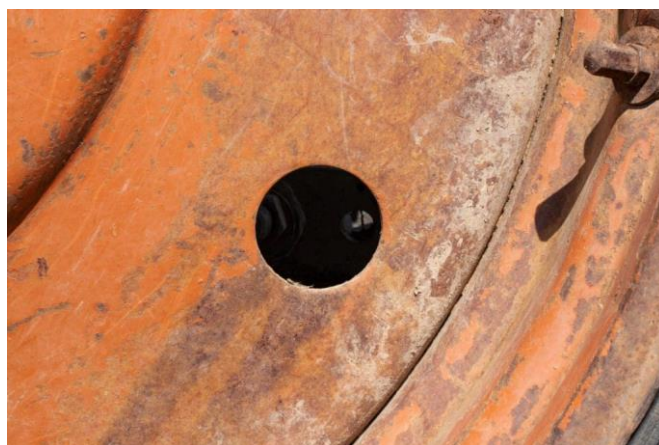


Рисунок 1.3 – Тріщини та отвори, які можна відремонтувати холодним напиленням

### **Зварювання та ремонт машин**

Хоча холодне напилення наймовірно корисне, воно не є універсальним рішенням. Деякі проблеми можуть вимагати використання більшого обладнання або потребувати більшого обсягу обслуговування. Цілком ймовірно, що такий механічний знос можна виправити за допомогою зварювання та ремонту.

Великий розрив металевої поверхні (рис. 1.4) може потребувати зварювання. Зварювання є складним і небезпечним процесом, і не рекомендується для не підготовлених осіб. Ризик серйозного пошкодження обладнання та власного здоров'я є високим без належної підготовки та досвіду.

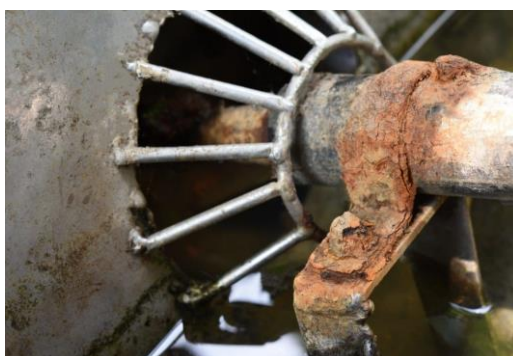


Рисунок 1.4 – Руйнування деталей, яке потребує зварювання

Механічний знос – це остаточна гарантія. Хоча технічне обслуговування сільськогосподарської техніки може допомогти запобігти його появі якомога довше, зрештою вам доведеться взяти трьох заходів, перелічених вище. Незалежно від того, чи ви зварюєте, використовуєте холодне напилення, чи просто замінюєте свою сільськогосподарську техніку, робіть усе можливе, щоб підтримувати свою ферму в робочому стані.

Коли йдеться про сільськогосподарську техніку, зокрема трактори, багато з них використовуються десятиліттями завдяки міцним, добре виготовленим двигунам та довговічній техніці. З цієї причини сільськогосподарська техніка має свою ціну – велику ціну.

Фактично, більшість сільськогосподарської техніки не потребує ремонту чи відновлення протягом 10-15 років, тому збільшення кількості нових тракторів, що продаються сьогодні, означає гарні новини у майбутньому для виробників двигунів та постачальників запчастин. «Саме тут починається наш ринок, через 10-15 років після виробництва», — сказав Райан Маккой, віце-президент з продажу Howard Enterprises, дистриб'ютора запчастин для двигунів та тракторів. Через непомірні витрати на купівлю нового трактора або сільськогосподарської техніки, багато людей, коли у їхніх машин виникають проблеми з двигуном, обирають капітальний ремонт двигуна, щоб продовжити термін служби свого обладнання.

### **1.5. Ремонт двигунів тракторів**

Як і класичні моделі автомобілів, деякі марки тракторів користуються популярністю завдяки своїй довговічності та двигунам. John Deere, International, Case, Ford, Massey Ferguson, Perkins, Allis-Chalmers, Oliver та Cummins – це лише деякі з двигунів для тракторів, які витримали випробування часом. Але, здається, всім відомо, що John Deere та International лідирують серед інших, коли справа доходить до ремонту.

Наприкінці 90-х років FTR уклала важливий стратегічний альянс з Cummins для розробки NEF (Нового сімейства двигунів). Одним з найпопулярніших таких двигунів у обладнанні Case/New Holland є 6-циліндровий (6,72 л) двигун, як цей.



Рисунок 1.5 – Шести-циліндровий (6,72 л) двигун фірми Case/New Holland. Фото надано CNH Reman

Незалежно від того, яким трактором володіє фермер, його доля залежить від того, наскільки добре за ним доглядають та наскільки регулярно його технічно обслуговують.

Середній вік двигунів, які ми бачимо, становить від 7000 до 10 000 годин, Якщо проводиться належне обслуговування трактора то двигун John Deere працюють 15 000 годин. З іншого боку, якщо не дбати про нього, то двигуни працюють лише 4000 годин».

Більшість виявлених проблем є загальним зносом, але деякі з причин для капітального ремонту двигуна можуть включати: *згорілий клапан, скидання клапана, прогорілі прокладки головки блоку циліндрів, низький тиск оливи, підшипники скидання шатуна або штока, згорілий поршень, витік гільз тощо* (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Деталі, знос яких призводить до капітального ремонту двигуна.  
Фото надано Maxiforce

Чи буде придбано новий трактор, чи буде відремонтовано чи відновлено двигун трактора, залежить від фермера та його ресурсів.

Більш заможні фермери встановлюють нове обладнання, а менш – відновлюють те що мають. Це залежить від площі, яку вони обробляють, і від того, як часто вони перевозять обладнання. Якщо вони обмінюють обладнання, то в кінцевому підсумку вони отримують нове обладнання 4-го рівня з усіма його модними викидами. Але менш заможні - відновлюють те, що мають, і повторно використовують його.

Виробники двигунів, зацікавлені у впровадженні дизельного сільськогосподарського обладнання, сьогодні краще підготовлені, оскільки все більше компаній пропонують комплекти для ремонту та обслуговування, що надає власнику двигуна економічно ефективну можливість ремонту як альтернативу купівлі нового двигуна.

Коли справа доходить до ремонту двигуна, у більшості випадків це втричі дешевше, ніж можна було б купити новий.

Щоб ці трактори добре працювали, ремонтники покладаються на постачальників запчастин. Такі компанії, як Maxiforce та Howard Enterprises,

спеціалізуються на комплектах для капітального ремонту та запчастинах для відновлення цих двигунів.

Комплекти для капітального ремонту – це чудові продукти, які допомагають зробити капітальний ремонт двигуна менш дорогим. Середня вартість капітального ремонту 6-циліндрового дизельного двигуна може становити від 6000 до 10 000 доларів, порівняно з купівлею нового трактора приблизно за 100 000 доларів.

Комплекти для капітального ремонту, такі як (рис. 1.7) від Howard Enterprises, містять *поршні, гільзи циліндрів, поршневі кільця, шатунні підшипники, корінні підшипники та повний комплект прокладок з ущільненнями колінчастого валу.*

Однак не всі компанії з ремонту двигунів звертаються до місцевих автомайстерень. Якщо трактори новіші, багато людей повертають їх до дилерів для ремонту та відновлення.

У John Deere стверджують, що капітальний ремонт двигуна чи просто заміна його на відновлений залежить від пошкодження та пори року, в яку його привезли. Якщо двигун привезли на початку року, вони, швидше за все, проведуть його капітальний ремонт. Якщо двигун привезли наприкінці року, вони зазвичай встановлюють відновлений двигун.



Рисунок 1.7 – Комплект для капітального ремонту. Фото надано Maxiforce

Новий двигун John Deere об'ємом 9–13 літрів може коштувати від 27 000 до 40 000 доларів, тоді як відновлений двигун коштує від 13 500 до 19 000 доларів. John Deere пропонує комплекти для капітального ремонту, які коштують 2500 доларів, але масляний насос, водяний насос і компоненти паливної системи оплачуються окремо.

### **Майбутнє тракторних двигунів**

Окрім новіших технологій, що впроваджуються в двигуни тракторів, іншим обладнанням, яке ремонтники двигунів починають бачити все частіше, є компактні трактори.

Компактні трактори відкривають нові можливості для ремонтників двигунів, оскільки раніше їх не існувало. Двигуни в малих тракторах вважалися одноразовими. Ви відправляли старий двигун, а вам надсилали відновлений або новий. Ремонтники двигунів хочуть мати можливість ремонтувати двигуни клієнтів і пропонувати дешевший варіант, ніж купувати повністю новий двигун.

Ремонт компактних тракторів став більшою частиною бізнесу з ремонту просто тому, що замість великих ферм площею від 200 до 2000 акрів, тепер існують фермери з 20 акрами і менше, і у них є міні-трактори. Новіші маленькі трактори однозначно захоплюють ринок. CNH Reman отримує від 30 до 40 компактних тракторів щодня. Це одні з найсерійніших двигунів – маленькі двигуни потужністю від 25 до 45 к.с. Люди ремонтують ці маленькі трактори, коли вони ламаються.

Як і будь-яку техніку, рано чи пізно її потрібно буде замінити на нову. Оскільки технології продовжують впливати на новіші моделі тракторів, сільськогосподарській галузі доведеться модернізувати обладнання та використовувати нові двигуни Tier 4.



Рисунок 1.8 – Квадроцикл New Holland зазвичай використовує 13-літровий двигун Cursor потужністю 400–600 к.с. Фото надано CNH Reman

Хоча новіші двигуни викликають багато розмов, значна їх частина ще не вийшла на ринок достатньо довго, щоб дійсно знати, як вони витримають випробування часом, як це сталося зі старішим обладнанням.

### **1.6. Висновки**

1. Проаналізовані загальні проблеми що впливають на довговічність обладнання МПП.

2. Проаналізовані основні причини зношування деталей обладнання МПП і методи його зменшення.

3. Розглянуті сучасні конструкції двигунів тракторів та їх відповідальних деталі що з часом потребують ремонту.

### **1.7. Мета роботи та необхідні задачі досліджень.**

**Метою роботи** є удосконалення технології підвищення довговічності відповідальних деталей МПП, шляхом покращення якості їх поверхонь за рахунок застосування комбінованих методів нанесення захисних покриттів.

Щоб досягнути поставленої мети потрібно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати сучасні технології підвищення якості поверхонь деталей машин та тракторів та вибрати кращі;

- розробити методику досліджень;
- провести порівняльні випробування.

## **РОЗДІЛ 2**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МТП НА ПРИКЛАДІ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

#### **2.1. Загальні відомості про колінчасті вали**

Дуже важливим ключовим фактором у виробництві є правильні вимірювання та розміри. Забезпечення правильних вимірювань під час процесу

виготовлення будь-якої деталі в машинобудуванні підвищує її якість та ефективність. Такі проблеми, як вібрації, неочікувані деформації та раптові поломки, можуть бути результатом того, що деталь не зовсім підходить до двигуна або машини. Коли йдеться про великі двигуни, які потребують перетворення лінійного руху на обертальний, вкрай важливо ретельно перевірити кожен частину двигуна внутрішнього згоряння перед складанням та використанням. Ці двигуни є важливими в транспортних засобах, таких як автомобілі, трактори і можуть спричинити серйозні аварії, якщо щось станеться не так. Нижче розглядаються найважливіші частини двигуна внутрішнього згоряння – колінчасті вали, оскільки саме вони приводять у рух транспортні засоби.

Існує кілька способів виготовлення колінчастого валу: кування, лиття або обробка на верстаті з ЧПК.

Вихідні розміри колінчастого валу, звичайно, значною мірою залежать від того, як він був виготовлений.

Колінчастий вал якщо не більш важливими, як і колінчасті вали звичайного розміру. Третій розділ також включатиме допуски та параметри обладнання/машин.

### **Визначення, функція та типи колінчастих валів**

Колінчастий вал, який з'єднаний з усіма поршнями в двигунах та з маховиком, перетворює лінійний рух поршня на обертальний рух маховика. Для перетворення руху колінчастий вал має один або більше зміщених валів, де з'єднані поршні. Коли поршень рухається вгору та вниз, він штовхає зміщені вали, і це, в свою чергу, обертає колінчастий вал. Існує два типи колінчастих валів:

а) Монолітний тип (рис. 2.1):

Використовується для багаточиліндрових двигунів

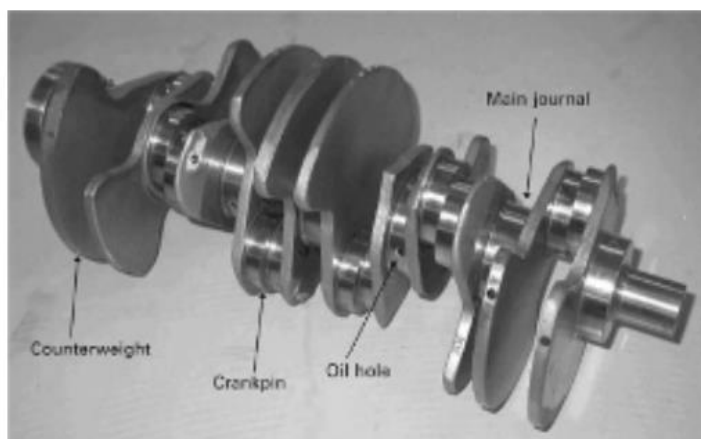


Рисунок 2.1 - Монолітний колінчастий вал чотиритактного двигуна

б) Зібраний тип (рис. 2.2):

Виготовлений з окремих елементів.

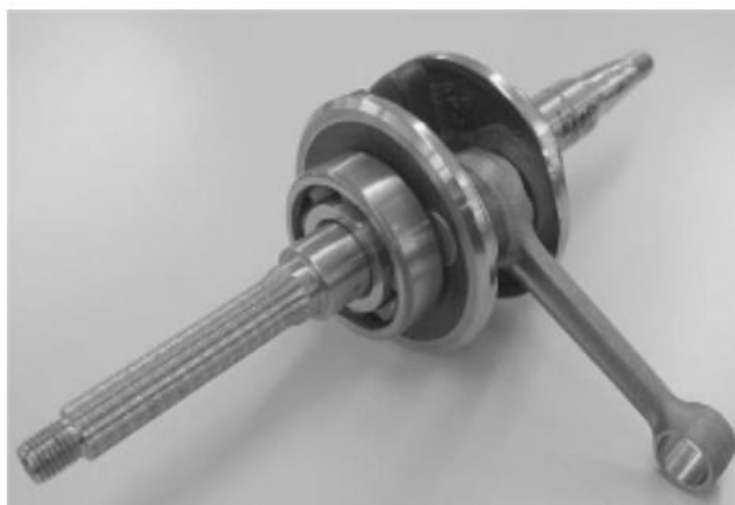


Рисунок 2.2 - Колінчастий вал збірного типу для одноциліндрового мотоцикла

Основні частини колінчастого валу представлені на рисунку 1.3, які складаються:

- Фланець маховика: З'єднує маховик з колінчастим валом.
- Масляні канали: Подають оливу від корінного підшипника шийки циліндра до шатунної шийки.

- Балансувальні отвори: Невеликі просвердлені отвори, заповнені важким матеріалом, для покращення балансування колінчастого валу.
- Корінний підшипник: З'єднує колінчастий вал з блоком двигуна.
- Шатунний підшипник: З'єднує шатунні кріплення до колінчастого валу.

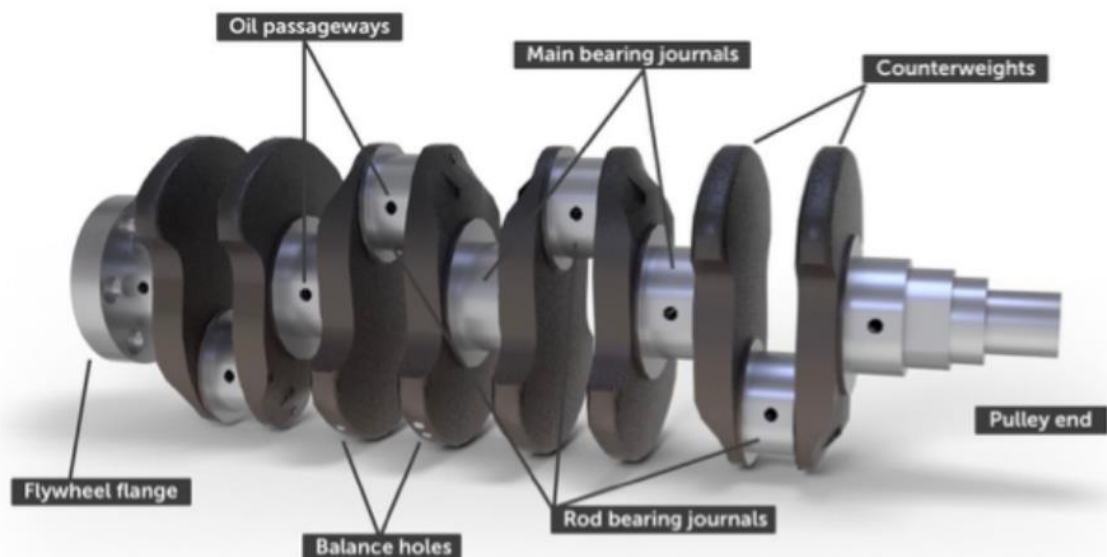


Рисунок 2.3 - Деталі колінчастого валу

Вибір найкращого матеріалу під час виготовлення колінчастого валу залежить від типу двигуна, його конструкції та геометрії.

Колінчастий вал є однією з найважливіших деталей двигуна внутрішнього згоряння, де він піддається дуже високим динамічним навантаженням під час роботи. Тому необхідно вибирати високоміцні матеріали, щоб забезпечити тривалий термін служби колінчастого валу без раптового виходу з ладу. У таблиці 2.1 нижче наведено вибір матеріалу колінчастого валу залежно від типів двигунів.

Таблиця 2.1 - Вибір матеріалу колінчастого валу

Опис двигуна	Вибраний матеріал
Низько - та середньо швидкісні двигуни	Сплав вуглецевої сталі
Колінчасті вали для автомобільних та тракторних двигунів	Сталеві сплави

Колінчасті вали для високошвидкісних, потужних дизельних двигунів різного застосування.	Сталь
У суднових, стаціонарних, локомотивних та тракторних двигунах.	Вуглецева сталь, сталеві сплави

## **2.2. Сучасні технології підвищення довговічності колінчастих валів тракторів та вантажних автомобілів**

### **Модернізація колінчастих валів для кращої довговічності та потужності**

Коли йдеться про модернізацію двигуна, одним із компонентів, який часто ігнорується, є колінчастий вал. Однак модернізація колінчастого валу може суттєво вплинути як на довговічність, так і на потужність, особливо для високопродуктивних або важких застосувань.

Незалежно від того, чи це є спортивний автомобіль, вантажівка чи навіть будівельна машина, модернізація колінчастого валу може підвищити продуктивність двигуна на новий рівень, забезпечуючи більшу потужність та довший термін служби в екстремальних умовах.

Нижче розглянемо, що модернізація колінчастих валів може зробити для двигуна, різні типи доступних модернізацій та чому цей критично важливий компонент має бути головним пріоритетом для тих, хто хоче покращити продуктивність свого автомобіля чи трактора.

Колінчастий вал є однією з найважливіших частин будь-якого двигуна. Він перетворює рух поршнів вгору та вниз на обертальну енергію, яка приводить у дію трансмісію вашого автомобіля. Без нього двигун не працював би. Це означає, що колінчастий вал постійно піддається високому рівню навантаження та зносу, особливо у високопродуктивних або важких двигунах.

З часом навіть найкращі колінчасті вали можуть зношуватися або виходити з ладу, особливо якщо двигун працює на межі своїх можливостей. Саме тому

модернізація колінчастого валу до міцнішого та довговічнішого може значно покращити термін служби та продуктивність двигуна.

Модернізація колінчастого валу пропонує кілька переваг, які можуть підвищити як довговічність, так і потужність двигуна. Ось кілька ключових причин, чому варто розглянути цю модернізацію:

#### *Збільшена потужність та продуктивність*

Колінчастий вал, орієнтований на продуктивність, може витримувати більший крутний момент і вищі оберти. Для тих, хто наполегливо працює над своїми двигунами — чи то в автоспорті, буксируванні чи важких умовах експлуатації — модернізація колінчастого валу дозволяє двигуну безпечно виробляти більше потужності. У поєднанні з іншими покращеннями продуктивності, такими як поршні, шатуни та турбокомпресор або нагнітач, міцніший колінчастий вал дозволяє вашому двигуну досягти свого максимального потенціалу.

#### *Підвищена довговічність*

Стандартні колінчасті вали зазвичай призначені для звичайного щоденного водіння. Якщо ви регулярно піддаєте свій автомобіль важким навантаженням або високим швидкостям, ваш стандартний колінчастий вал може не витримати цього з часом. Модернізований колінчастий вал, особливо кований, забезпечує чудову міцність і стійкість до втоми, гарантуючи, що він зможе витримувати екстремальні навантаження без поломок.

#### *Підвищена надійність двигуна*

Поломки колінчастого валу можуть бути катастрофічними та дорого вартісними. Зламаний колінчастий вал часто призводить до серйозного пошкодження двигуна, що вимагає значного ремонту або навіть повної перебудови двигуна. Заміна колінчастого валу на високоякісний знижує ризик поломки, забезпечуючи більший спокій та довший термін служби двигуна, особливо у високонавантажених ситуаціях, таких як гонки, їзда по бездоріжжю або перевезення важких вантажів.

#### *Краща термостійкість*

Колінчасті вали високої продуктивності часто виготовляються з матеріалів, які краще витримують інтенсивне нагрівання, що утворюється у високопродуктивних двигунах. Коли двигун працює на високих обертах або під великими навантаженнями протягом тривалого часу, він виділяє більше тепла. Модернізований колінчастий вал розроблений для роботи в цих умовах без деформації та розтріскування, що покращує як продуктивність, так і довговічність.

#### *Типи модернізації колінчастого валу*

Під час модернізації колінчастого валу є кілька варіантів, залежно від цілей та бюджету. Ось основні типи модернізації колінчастого валу:

#### ***Ковані колінчасті вали***

Однією з найпопулярніших модернізацій є перехід на кований колінчастий вал. Кування передбачає формування колінчастого валу з цільного шматка металу за допомогою нагрівання та тиску, що вирівнює зернисту структуру для більшої міцності. Це робить ковані колінчасті вали набагато міцнішими за литі, що дозволяє їм витримувати вищі навантаження та потужність.

#### *Переваги кованих колінчастих валів:*

- Чудова міцність.
- Вища стійкість до втоми та зносу.
- Здатність обробляти вищі рівні потужності та крутного моменту.
- Більша надійність в екстремальних умовах.

Для важких двигунів або високопродуктивних транспортних засобів кований колінчастий вал часто є найкращим вибором, оскільки він забезпечує довговічність, необхідну для складних умов експлуатації.

#### ***Колінчасті вали Billet***

Колінчасті вали, виготовлені з заготовок, – це ще один варіант для тих, хто прагне максимізувати продуктивність. Колінчасті вали, виготовлені з заготовок, виготовляються з цільного блоку сталі, що забезпечує точність і міцність. Хоча вони, як правило, дорожчі за ковані колінчасті вали, колінчасті вали, виготовлені

з заготовок, часто зустрічаються у висококласних гоночних автомобілях завдяки їхнім чудовим можливостям налаштування та неперевершеній міцності.

*Переваги колінчастих валів Billet:*

- Максимальна міцність та довговічність.
- Точна обробка для кращого балансу та продуктивності.
- Настроювані конструкції для конкретних застосувань.
- Легкі колінчасті вали.

Для тих, хто хоче покращити продуктивність за рахунок зменшення ваги, **полегшені колінчасті вали** – чудовий варіант. Легший колінчастий вал зменшує обертову масу всередині двигуна, дозволяючи йому швидше обертатися та покращуючи реакцію дросельної заслінки. Це оновлення особливо корисне для високопродуктивних дорожніх транспортних засобів, де прискорення та чуйність є ключовими.

*Переваги легких колінчастих валів:*

- Покращена реакція дросельної заслінки.
- Швидший розгін двигуна.
- Зменшена загальна вага двигуна.

Однак легкі колінчасті вали не завжди підходять для важких умов експлуатації, де довговічність важливіша за зменшення ваги.

*Інші ключові міркування під час оновлення*

Хоча модернізація колінчастого валу може значно покращити продуктивність та довговічність, важливо враховувати всю картину під час планування модернізації двигуна. Ось ще кілька факторів, які слід враховувати:

*Балансування*

Під час модернізації колінчастого валу балансування є вирішальним для забезпечення безперебійної роботи двигуна. Незбалансований колінчастий вал може призвести до вібрацій, зниження продуктивності та навіть пошкодження двигуна з часом. Професійні механіки можуть збалансувати колінчастий вал, щоб забезпечити його оптимальну роботу з рештою компонентів двигуна.

*Підтримуючі зміни*

Модернізація колінчастого валу сама по собі не дозволить максимально використати потенціал вашого двигуна. Важливо поєднати модернізацію колінчастого валу з іншими модифікаціями, такими як високопродуктивні поршні, шатуни та підшипники, щоб забезпечити, щоб весь двигун міг витримувати підвищену потужність і навантаження.

#### *Правильне встановлення*

Встановлення модернізованого колінчастого валу вимагає точності та досвіду. Якщо його встановити неправильно, навіть найкращий колінчастий вал вийде з ладу. Завжди гарною ідеєю буде, щоб встановлення виконував професійний механік або конструктор двигунів, який знайомий з підвищенням продуктивності.

Модернізація колінчастого валу призначена не лише для гоночних автомобілів. Різноманітні водії та галузі можуть отримати вигоду від міцнішого та довговічнішого колінчастого валу:

Буксирування та перевезення: Важкі вантажівки, які регулярно буксирують або перевозять великі вантажі, можуть скористатися перевагами модернізації колінчастого валу для підвищення надійності та довговічності двигуна.

Високопродуктивні вуличні автомобілі: Якщо є високопродуктивний автомобіль, і потрібно розширити його межі, модернізація колінчастого валу є важливою для безпечного розблокування більшої потужності.

Промислові та будівельні транспортні засоби: для транспортних засобів, що працюють у складних умовах або під постійним навантаженням, модернізація колінчастого валу може забезпечити довговічність двигуна.

Таким чином:

- Модернізація колінчастого валу – це інвестиція як у потужність, так і в довговічність двигуна. Незалежно від того, чи шукаєте ви кращої продуктивності, підвищеної довговічності чи підвищеної надійності, модернізація колінчастого валу – це розумний вибір для тих, хто вимагає більшого від своїх двигунів.

- Для важких транспортних засобів промислового обладнання модернізація колінчастого валу до міцнішого та надійнішого гарантує, що двигун зможе витримувати вищі рівні навантаження та виробляти більше потужності без шкоди для довговічності. Якщо довести автомобіль до межі можливостей, модернізація колінчастого валу може стати ключем до кращої продуктивності та підтримки роботи двигуна на довгі роки.

### **2.3. Підвищення довговічності колінчатих валів машин МТП нанесенням зносостійких покриттів.**

#### ***Плазмове напилювання***

Плазмові напилювані покриття можуть бути альтернативою традиційній термічній обробці корінних шийок та колінчастих шийок колінчастого валу. Застосування плазмових покриттів різноманітне та має численні переваги порівняно з електродуговим дротяним напиленням або полум'яним напиленням. Проводились дослідження поверхневих шарів, при нанесенні порошків:  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-}25(\text{Ni}20\text{Cr})$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}13\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$  на поверхню сталі 45, що використовується в конструкції колінчастого валу. Зразки були проаналізовані з точки зору мікро- та морфології за допомогою оптичної мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії та рентгенівської дифракції. Щоб підкреслити зчеплення з основним матеріалом напиленого шару, були проведені випробування на мікроподряпини та мікродавлювання. Результати показали відносно компактний морфологічний аспект, що надається послідовними покриттями зі специфічними структурами, подібними до відблисків. Після аналізу мікроподряпин можна зробити висновок, що покриття  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}13\text{TiO}_2$  має вищу твердість порівняно з порошками  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-}(\text{Ni} 20\text{Cr})$  та  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2$ .

#### ***Борування***

Однією з основних проблем в автомобільній промисловості є знос компонентів двигуна, таких як колінчастий вал і розподільний вал, який

найбільш виражений під час фази запуску двигуна, коли кількість мастильної рідини найнижча. Це дослідження має на меті підвищити зносостійкість поверхні автомобільної колінчастої сталі шляхом застосування термохімічного процесу борування [14]. Цей процес утворює твердий поверхневий шар на сталі, покращуючи її механічні властивості та підвищуючи її зносостійкість, особливо в сухих умовах. Боридні шари були отримані за допомогою процесу порошкового борування у звичайній печі з ретельним часом обробки 2, 4 та 6 годин при постійній температурі 950 °С. Природу шарів аналізували за допомогою рентгенівської дифракції, а їхні трибологічні характеристики оцінювали за допомогою тесту pin-on-disc. Зростання шарів було прямо пропорційним часу обробки та оцінювалося в 145 мкм та 48 мкм за 6 та 2 години обробки відповідно. Твердість поверхні збільшилася з 320 HV для необробленої сталі до 2034 HV для зразка, що піддавався впливу температури 950 °С протягом 6 годин. Результати вказують на значне зниження коефіцієнта тертя з 0,43 для необробленої сталі до 0,12 для зразків, що піддавалися впливу температури 950 °С протягом 6 годин, що свідчить про потенційний захист від зносу під час запуску двигуна.

### *Лазерне гартування*

Однією з провідних причин поломок в автомобільній промисловості є знос компонентів двигуна, таких як колінчастий та розподільний вал [15]. Знос цих компонентів відбувається головним чином через недостатнє змащування під час роботи двигуна. Ще одним критичним моментом з точки зору зносу цих елементів є початок роботи двигуна, оскільки мастильна рідина знаходиться внизу. У цьому випадку механізм захисту поверхні матеріалів протягом цього короткого періоду може бути бажаним, щоб мінімізувати ризик зносу та можливого передчасного виходу з ладу двигуна.

У цьому контексті обробка поверхні, здатна захистити матеріали під час запуску двигуна (коли олива ще не досягла всіх критичних деталей), може допомогти зменшити ризик передчасного зносу. Різні дослідники зосередилися на покращенні властивостей поверхні колінчастих валів автомобілів. Чженю Чен

та ін. [15] покращили властивості поверхні колінчастого вала з ковкого чавуну QT700-2 за допомогою процесу лазерного гартування. Вони досягли значень твердості поверхні в діапазоні від 783 до 847 HV.

### ***Нітроцементация методом електроіскрового легування (ЕІЛ).***

В [16] був розглянута технологія цементации, яка виконувалась за допомогою ЕІЛ. Були досліджені зразки зі сталі 20 та 40. Проводили під час досліджень: металографічні та дюрOMETричні іспити та рентгеноспектральні аналізи, а також використовували дослідження поверхонь на шорсткість. Традиційну технологію нітроцементации проводять хіміко-термічним методом обробки (ХТО), шляхом насичення поверхневого шару деталі одночасно вуглецем і азотом. ХТО проводять при високій температурі, приблизно 1000 °С.

Така технологія має багато недоліків: довгий час обробки, великий розхід електроенергії, поводки та короблення деталі тощо.

Нітроцементация методом ЕІЛ не має цих недоліків [17-19]. Процес відбувається в локальному місці.

Порівняльним аналізом технології традиційної нітроцементации та виконаній методом ЕІЛ встановлено, що, відповідно шорсткість поверхні знижується з 8,30–9,50 мкм до 3,20–4,80 мкм, а суцільність досягає суцільність 100%, глибина перехідної зони з дифузією вуглецю досягає 80,0 мкм, а мікротвердість білого шару досягає 9930 МПа глибиною 230,0 мкм.

## **2.4. Методика досліджень**

Для проведення досліджень використовували зразки, розміром 15x15x6 мм зі сталі 45. Нітроцементацию поверхонь зразків проводили екологічно безпечним [20] методом ЕІЛ на установці моделі «ЕЛІТРОН – 22А» в наступній послідовності:

- легування графітовим електродом-інструментом (ЕІ), тобто цементация методом електроіскрового легування (ЦЕІЛ);

- на цементований шар наносили спеціальне технологічне насичуюче середовище (СТНС) у вигляді суспензії, в склад якої входили азотисто – вуглецеві компоненти (45% сечовини + 45% червоної кров'яної солі + 10% вазеліну);

- не чекаючи висихання суспензії проводили ЕІЛ вуглецевим ЕІ.

Шорсткість поверхневого шару знижували безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО).

Порівняльні дослідження проводили за схемою «диск-плоский зразок» (рис. 2.4), диск зі сталі 45 був розміром  $\text{Ø}50 \times \text{Ø}15 \times 10$ .

Плоский зразок був з твердого сплаву ВК6 з шорсткістю  $R_a = 1,2$  мкм.

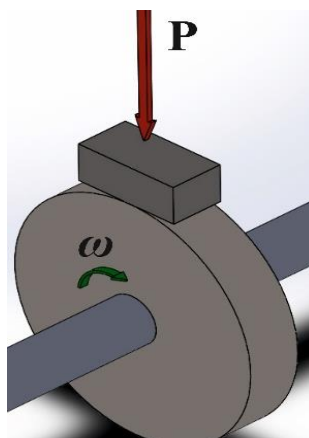


Рисунок 2.4 – Схем іспитів зразків після нітроцементзації традиційним методом і методом ЕІЛ

На поверхню диску перед випробуванням капали 3 каплі індустриального мастила И40А. При іспитах швидкість ковзання складала 0,77 м/с, питомий тиск на диск – 10,0 МПа, навантаження на плоский зразок – 100,0 Н, тривалість випробувань – 8,0 год.

Диски с нанесеним покриттям встановлювали на машину тертя і випробували. Знос визначали шляхом зважування диску до і після іспитів.

Зразки для визначення інтегрального зносу всієї поверхні перед випробуванням зважували на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю до 0,0001г.

Інтегральний (ваговий) знос визначали як різницю ваги зразка до і після проведення випробувань.

## 2.5. Результати досліджень

В таблиці 2.2 представлені результати параметрів якості поверхневих шарів зразків зі сталі 45 після нітроцементації методом ЕІЛ.

Таблиця 2.2 - Результати параметрів якості поверхневих шарів зразків зі сталі 45 після нітроцементації методом ЕІЛ

Послідовність нанесення покриття	Товщина зміцненого шару, мкм	Мікротвердість на поверхні, МПа	Шорсткість, Ra. мкм	Суцільність покриття, %	Ваговий знос $\times 10^3$ , кг
Без покриття					0,28
ЕІЛ графітом	90	10500	1,2	100	0,17
ЕІЛ графітом + СТНС+ЕІЛ графітом	270	11000	1,6	100	0,15
СТНС+ЕІЛ графітом + БУФО	230	11300	0,8	100	0,11
Нітроцементація ХТО	170	10700	0,7	100	0,19

В результаті аналізу таблиці 2.2 встановлено, що кращі результати при порівняльних дослідженнях, отриманні при зміцненні зразків зі сталі 45 комбінованою технологією, яка полягала в нітроцементації, яку виконували методом ЕІЛ з наступною обробкою БУФО. При цьому знос зразків був, відповідно, в 2,55; 1,73; 1,55 і 1,36 раз менший чим в зразка без покриття; нітроцементації виконаної традиційним методом; ЕІЛ графітом (ЦЕІЛ); ЕІЛ графітом + СТНС + ЕІЛ графітом.

## 2.6. Висновки:

1. Розглянуті загальні відомості про колінчасті вали тракторів та автомобілів.
2. Проаналізовані сучасні технології та види модернізації для підвищення довговічності колінчастих валів тракторів та вантажних автомобілів
3. Проаналізовані технології підвищення довговічності колінчастих валів, шляхом нанесення зносостійких покриттів.
4. Розроблена методика проведення досліджень.
5. Встановлено, що кращі результати по зносостійкості, отриманні при зміцненні зразків зі сталі 45 комбінованою технологією, яка полягала в нітроцементатії методом ЕІЛ з наступною обробкою БУФО.
6. Знос зразків, зміцнених комбінованою технологією нітроцементатія методом ЕІЛ + БУФО був, відповідно, в 2,55; 1,73; 1,55 і 1,36 раз менший чим в зразків без покриття; нітроцементатія традиційним методом; ЦЕІЛ і ЦЕІЛ + СТНС + ЦЕІЛ.

**РОЗДІЛ 3**  
**ОХОРОНА ПРАЦІ**  
**ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА НА РОБОЧОМУ МІСЦІ: КЛЮЧОВІ**  
**ПРАВИЛА ТА НАЙКРАЩІ ПРАКТИКИ**

### **3.1. Загальні положення**

Електрика необхідна для живлення наших робочих місць, від моніторів і ноутбуків, які ми використовуємо в офісах, до виробничого обладнання на заводі. Однак, це може бути небезпечно, навіть смертельно, якщо з цим не поводитися належним чином.

Нижче ми розглянемо важливість електробезпеки на робочому місці, законодавство, якого ви повинні дотримуватися, та як забезпечити безпечне та відповідне вимогам робоче середовище.

### **3.2. Основні правила, яких вам потрібно дотримуватися**

Закон про охорону здоров'я та безпеку на роботі

Ці правила зазначають, що кожен роботодавець повинен забезпечити здоров'я, безпеку та благополуччя всіх працівників під час їхньої роботи.

Ці правила також поширюються на персонал, який працює з дому.

Правила щодо електроенергетики на робочому місці.

Іноді їх називають «Законом про електробезпеку на робочому місці», ці правила встановлюють загальні вимоги до електробезпеки на робочому місці.

Вони охоплюють такі речі, як безпечне використання електрообладнання, ізоляція електрообладнання та обслуговування електричних систем.

У Правилах електропостачання на робочому місці також визначено осіб, відповідальних за електробезпеку на робочому місці, відомих як відповідальні особи. Основні відповідальні особи: це особи, які відповідають за електробезпеку на робочому місці. Це може бути роботодавець, власник приміщення або особа, яка контролює роботу.

Особа, що виконують другорядні обов'язки: це люди, які несуть конкретні обов'язки щодо електробезпеки, такі як електрики, працівники з технічного обслуговування та керівники.

Обов'язки електромонтажників включають:

Визначення та оцінка ризиків ураження електричним струмом на робочому місці.

Забезпечення безпечного використання електрообладнання та його належного обслуговування

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) за потреби

Навчання працівників безпечному користуванню електрообладнанням

Впровадження безпечних методів роботи під час електромонтажних робіт

Ведення обліку заходів з електробезпеки

Правила надання та використання робочого обладнання

Ці правила застосовуються до всього робочого обладнання, включаючи електрообладнання. Вони вимагають від роботодавців забезпечення безпечного використання робочого обладнання та його належного обслуговування.

### **3.3. Правила щодо засобів індивідуального захисту на робочому місці**

Ці правила вимагають від роботодавців надавати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) працівникам, які піддаються ризику від ураження електричним струмом.

Вкрай важливо забезпечити електробезпеку, дотримуючись відповідних норм та впроваджуючи найкращі практики. Ось деякі з наших порад експертів щодо забезпечення безпеки та відповідності вашим приміщенням вимогам:

Навчіть персонал, як залишатися в безпеці, виявляти потенційні небезпеки та кому про них повідомляти. Регулярні бесіди з інструментами електробезпеки можуть допомогти персоналу бути в курсі конкретних проблем.

Візуально перевірте електрообладнання на наявність пошкоджень (наприклад, зношених кабелів ) перед використанням.

Мінімізуйте використання подовжувачів, не перевантажуйте їх та регулярно перевіряйте на наявність пошкоджень.

Вимикайте та від'єднуйте електроприлади від мережі, коли вони не використовуються.

Зареєструйте електрообладнання, щоб знати, чи потрібно його відключити

Забезпечте належне обслуговування всього обладнання та регулярно проводите тестування, щоб виявити будь-які несправні прилади. Ми рекомендуємо провести оцінку ризиків, щоб визначити, як часто проводити тестування.

Дотримуючись цих рекомендацій, ви можете створити безпечне та здорове робоче місце для всіх.

#### **РОЗДІЛ 4**

### **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ШИЙОК КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ**

#### 4.1. Нормування технології зміцнення шийок колінчатих валів (КВ)

Перелік необхідних матеріалів та обладнання потрібних для нанесення покриттів на шийки КВ (табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Матеріали та обладнання для нанесення покриттів на шийки КВ

Обладнання	Вартість, грн
Установка «УІЛВ-8А»	35000
Інше	
Електроенергія, кВт/год	40
Графіт	10
$\Sigma$	35050

Поверхня шийки КВ для нанесення покриття = 500 см<sup>2</sup>

#### 4.2 Розрахунок собівартості зміцнення

Собівартість виготовлення 1,0 КВ без покриття

$$C_{\text{баз}} = 100,0 \text{ грн.}$$

Термін роботи 1,0 КВ без покриття складає

$$T_{\text{баз}} = 0,3 \text{ рок.}$$

Собівартість затрат для зміцнення 1,0 КВ буде:

$$C_{\text{мат}} = 10,0 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна собівартість КВ буде:

$$C_{\text{нов}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мат}} = 100,0 + 10 = 110,0 \text{ грн} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що 1 КВ буде працювати в п'ять разів довше, то

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 5 = 0,30 \times 5,0 = 1,50 \text{ роки.} \quad (4.2)$$

### 4.3. Розрахунок економічної ефективності

$$E = C_{\text{баз}} : T_{\text{баз}} - C_{\text{нов}} : T_{\text{нов}} = 50 : 0,3 - 110 : 1,5 = 94,0 \text{ грн} \quad (4.3)$$

### 4.4 Розрахунок окупності капітальних витрат, (Фок)

$$\text{Фок} = C_{\text{об}} : E = 35050 : 94 = \sim 372 \text{ шт.}, \quad (4.4)$$

де  $C_{\text{об}} = 35050$  грн (табл. 4.1)

Згідно того, що два працівника за добу зміцнюють приблизно 5,0 КВ, то добова окупність складе:

$$T_{\text{доб}} = \text{Фок} : 5 = 372 : 5 = \sim 74 \text{ діб.}$$

Таким чином. Економічна ефективність технології зміцнення буде 94,0 грн на один КВ, а окупність задіяного обладнання  $\sim 74,0$  діб.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ:

1 Проаналізовані загальні проблеми що впливають на довговічність обладнання МПП та основні причини зношування його деталей і методи його зменшення.

2. Розглянуті сучасні конструкції двигунів тракторів та їх відповідальних деталі що з часом потребують ремонту.

3. Проаналізовані сучасні технології та види модернізації для підвищення довговічності колінчастих валів тракторів та вантажних автомобілів

4. Проаналізовані технології підвищення довговічності колінчастих валів, шляхом нанесення зносостійких покриттів.

5. Розроблена методика проведення досліджень.

6. Встановлено, що кращі результати по зносостійкості, отриманні при зміцненні зразків зі сталі 45 комбінованою технологією, яка полягала в нітроцементзації методом ЕІЛ з наступною обробкою БУФО.

7. Знос зразків, зміцнених комбінованою технологією нітроцементация методом ЕІЛ + БУФО, відповідно, в 2,55; 1,73; 1,55 і 1,36 раз менший чим в зразків без покриття; нітроцементация традиційним методом; ЦЕІЛ і ЦЕІЛ + СТНС + ЦЕІЛ.

8. По результатам проведених досліджень опубліковані дві наукові роботи.

#### **ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:**

1. Durchak, K.; Ekelsky, A.; Kozlovsky, R.; Zhelazinsky, T.; Pilarsky, K. A computer system supporting decisions on the purchase of agricultural machinery and tractors. *Heliyon* 2020 , 6 , e05039. [ Google Scholar ] [ CrossRef ] [ PubMed ]
2. Efremov, A.A., Sotskov, Y.N., and Bilotska, Y.S. (2023). Optimization of the selection and use of machine and tractor fleet in agricultural enterprises: a case study. *Algorithms* , 16 (7), 311. <https://doi.org/10.3390/a16070311>
3. Vasquez, D.A.Z.; Fan, N.; Tigerstrom, T.; Sivert, K.; Summers, H.M.; Sproul, E.; Quinn, J.K. Optimal production planning and machinery scheduling for semi-arid farms. *Comput. Electron. Agric.* 2021, 187, 106288. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Toba, A.-L.; Griffel, L.M.; Hartley, D.S. Modeling and simulation of agricultural machinery movement based on developers. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 177, 105669. [Google Scholar] [CrossRef]
5. Ahma, U.; Sharm, L. A review of the best practices for potato crop management using precision agriculture technologies. *Smart Agric. Technol.* 2023, 4, 100220. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
6. Cao, R.; Li, S.; Ji, Y.; Zhang, Z.; Xu, H.; Zhang, M.; Li, M.; Li, H.; Zhou, J. Task allocation for multi-agricultural machine cooperation based on an improved ant colony algorithm. *Comput. Electron. Agric.* 2021, 182, 105993. [ Google Scholar ] [ CrossRef]
7. Cao, R.; Guo, Y.; Zhang, Z.; Li, S.; Zhang, M.; Li, H.; Li, M. A global path conflict detection algorithm for multi-agricultural machinery cooperation based on topographic map and time window. *Comput. Electron. Agric.* 2023 , 208 , 107773.[ Google Scholar] [ CrossRef ]
8. Wang, Y.-J.; Huang, G.K. A two-stage framework for time-windowed cooperative agricultural machinery dispatching. *Comput. Electron. Agric.* 2022 , 192 , 106607. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
9. Volkova, E.; Smolyaninova, N. Trends in Russian agricultural machinery exports and imports. *Transp. Res. Procedia* 2022 , 63 , 1131–1138. [ Google Scholar] [CrossRef ]

10. Han, J.; Xiang, K.; Zeng, B.; Lei, Y.; Luo, L. Multi-objective dynamic covering problem for hierarchical agricultural machinery maintenance facilities. *Knowl.-Based Syst.* 2022, 252, 109462. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
11. Hu, Y.; Liu, Y.; Wang, Z.; Wen, J.; Li, J.; Lu, J. A two-stage approach to dynamic capacity planning for agricultural machinery maintenance considering demand uncertainty. *Biosyst. Eng.* 2020, 190, 201–217. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
12. Han, J.; Zhang, J.; Zeng, B.; Mao, M. Optimization of dynamic location allocation for agricultural machinery maintenance facilities using Benders decomposition. *Omega* 2021 , 105 , 102498. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
13. Werner, F.; Burtseva, L.; Sotskov, Y.N. Special issue on exact and heuristic scheduling algorithms. *Algorithms* 2020 , 13 , 9. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
14. Hernández-Sánchez E, Hernández-Domínguez D, Tadeo-Rosas R, Sánchez-Fuentes Y, Linares-Duarte LA, Orozco-Alvarez C, Miranda-Hernández JG, Carrera-Espinoza R. Tribological and Mechanical Behavior of Automotive Crankshaft Steel Surficially Modified Використання процесу бурування. *Покриття* . 2024; 14(6):716. <https://doi.org/10.3390/coatings14060716>
15. Chen, Z.; Yu, X.; Ding, N.; Cong, JC; Sun, J.; Jia, Q.; Wang, C. Підвищення зносостійкості колінчастого вала з ковкого чавуну QT700-2, обробленого лазерним гартуванням. *Opt. Laser Technol.* 2023 , 109 , 164519. [ Google Scholar ] [ CrossRef ]
16. В. Б. Тарельник, О. П. Гапонова, Г. В. Кирик, Є. Коноплянченко В. В., Тарельник Н. В., Мікуліна М. О. Цементация сталевих деталей електроіскровим легуванням // *Металлофіз. Новітні Технолог.* , 42 , № 5: 655—667 (2020) (укр.)
17. Техногенна безпека АЕС: Навч. посібн.; Ч. II / Д. О. Чалий, А. Б. Тарнавський, Р. Ю. Сукач, Р. Б. Веселівський; Держ. служба України з надзвичайних ситуацій; Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. – Львів: Каменяр, 2020. – 340 с.
18. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості: монографія/ В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, та

ін.; за ред. В. Б. Тарельника, Є.В. Коноплянченка. - Суми: Видавництво «ФЛП Литовченко Е.Б.», 2020.- 410 с.- Українською мовою.

19. Тарельник В.Б, Коноплянченко Є.В., Гапонова О.П, Тарельник Н.В. Забезпечення захисту поверхонь торцевих імпульсних ущільнень турбомашин шляхом формування зносостійких наноструктур: монографія / під загальн. ред. В.Б. Тарельника. Суми: Університетська книга. 2022. 260 с.

20. V.B. Tarelnyk, O.P. Garonova, V.B. Loboda, E.V. Konoplyanchenko, V.S. Martsinkovskii, Yu.I. Semirnenko, N.V. Tarelnyk, M.A. Mikulina, and B.A. Sarzhanov, Surf. Engin. Appl. 2 Electrochem, 57: 173 (2021); <https://doi.org/10.3103/S1068375521020113>

## ДОДАТКИ