

Усунення несправностей при технічному сервісі машин має особливі відзнаки, які полягають у тому, що вхідним об'єктом в процесі ремонту є не сировина, матеріали та напівфабрикати, як у процесі виробництва, а складові частини машин, які змінили свої розміри або властивості в процесі експлуатації. Надійність і довговічність колісних і гусеничних транспортних засобів та інших видів машин та обладнання також багато в чому обумовлені явищами тертя та зношування, що відбуваються у трибосистемах. Зношування призводить до порушення герметичності вузлів та втрати точності взаємного розташування деталей та переміщень. При підготовці даного навчального посібника використано вітчизняний та зарубіжний досвід у ремонті техніки, відповідні наукові розробки, а також результати фундаментальних наукових досліджень, виконаних та впроваджених у навчальний процес. Матеріал, викладений відповідно до навчальної програми, сприятиме якісній та цілеспрямованій підготовці фахівців з питань ремонту машин та обладнання.

ISBN 978-617-8346-35-5



9 786178 346355 >

ВВЕДЕННЯ В ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН: МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

ВВЕДЕННЯ В ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН: МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Навчальний посібник

ВВЕДЕННЯ В ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН: МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Навчальний посібник

2024

УДК 621.9:621.7.014](075.8)
В24

Затверджено
Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету,
Протокол № 2 від 28.10.2024р.

Авторський колектив:

М.І. Черновол, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, І.В. Шепеленко, О.А. Науменко,
О.Д. Мартиненко

Рецензенти:

О.В. Диха, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства Хмельницького національного університету;

О.Р. Онисько, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

В24 Введення в технічний сервіс машин: методи усунення несправностей машин та обладнання: навч. посібник / М.І. Черновол, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, І.В. Шепеленко, О.А. Науменко, О.Д. Мартиненко– Харків: «Діса плюс», 2024. – 158 с.

Усунення несправностей при технічному сервісі машин має особливі відзнаки, які полягають у тому, що вхідним об'єктом в процесі ремонту є не сировина, матеріали та напівфабрикати, як у процесі виробництва, а складові частини машин, які змінили свої розміри або властивості в процесі експлуатації. Надійність і довговічність колісних і гусеничних транспортних засобів та інших видів машин та обладнання також багато в чому обумовлені явищами тертя та зношування, що відбуваються у трибосистемах. Зношування призводить до порушення герметичності вузлів та втрати точності взаємного розташування деталей та переміщень. При підготовці даного навчального посібника використано вітчизняний та зарубіжний досвід у ремонті техніки, відповідні наукові розробки, а також результати фундаментальних наукових досліджень, виконаних та впроваджених в навчальний процес. Матеріал, викладений відповідно до навчальної програми, сприятиме якійсній та цілеспрямованій підготовці фахівців з питань ремонту машин та обладнання.

Запропонований навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти кваліфікаційного рівня – бакалавр і викладачів технічних спеціальностей закладів вищої освіти III-IV рівнів акредитації, а також працівників сервісної інженерії і підприємств технічного сервісу.

УДК 621.9:621.7.014](075.8)

© Центральноукраїнський національний технічний університет, 2024

© М.І. Черновол, І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, І.В. Шепеленко, О.А. Науменко, О.Д. Мартиненко, 2024

ISBN 978-617-8346-35-5

ВСТУП

У будь-якої машини, незалежно від того, працює вона, простоє чи транспортується, змінюються фізико-механічні та геометричні параметри деталей. Під дією навантаження та навколишнього середовища спотворюються форми робочих поверхонь та змінюються розміри деталей, збільшуються зазори в поверхнях та знижуються натяги у нерухомих з'єднаннях; порушуються взаємне розташування деталей, що призводить до виникнення додаткових навантажень і вібрацій, порушення зачеплення зубчастих передач. Знижуються пружні та еластичні властивості деталей та матеріалів, з'являються втомні та корозійні руйнування тощо.

Надійність і довговічність колісних та гусеничних транспортних засобів та інших видів машин та обладнання також багато в чому обумовлені явищами тертя та зношування, що відбуваються у трибосистемах. Зношування призводить до порушення герметичності вузлів та втрати точності взаємного розташування деталей та переміщень. Внаслідок цього виникають заклинювання, удари, вібрації, що призводять до поломок.

Одночасно знижуються техніко-економічні показники конструкції в цілому і настає момент, коли подальша її експлуатація неможлива або стає економічно недоцільною.

В результаті цього деталі машин та їх з'єднання втрачають працездатність, що потребує їх заміни або відновлення. Однак в умовах обмеженості фінансових та матеріальних ресурсів господарств ця проблема може бути вирішена не лише за рахунок заміни зношених деталей новими, що простіше, а й, в основному, за рахунок ремонту та їх відновлення, що значно економічніше. На запасні частини до автомобілів витрачається понад 40 %, а до тракторів – близько 50 % металу, що йде на виготовлення цих машин

Дослідженнями встановлено, що 85% деталей машин стають непрацездатними при зношуванні поверхонь не більше 0,2-0,3 мм.

Тому в процесі експлуатації машина потребує технічного обслуговування з метою підтримання її технічного стану, а також усунення несправностей машин для відновлення цих якостей, коли експлуатація стає неможливою.

Первинне виготовлення машин ведеться з матеріалів та сировинних напівфабрикатів. Однак галузі машинобудування надалі не ремонтують своїх виробів. Практика використання техніки, що склалася, показує, що функції її ремонту виконують галузі, що споживають машини.

Відновити – це спричиняти первісний стан, оновлювати, відновлювати.

Ремонт буквально означає "перемонтувати". У свою чергу, «монтаж» (фр. montage) – це підйом, складання та встановлення машин та споруд. Термін «ремонт» відноситься до машини або її частин, до яких застосовані дії, які називають розбірно-складальними роботами.

Одночасно зі створенням парку машин виникла потреба їх утримання у справному стані під час використання за призначенням протягом встановленого терміну служби.

Функції ремонтного виробництва полягають у економічно обґрунтованому усуненні несправностей та відновленні ресурсу машин. Це виробництво має суттєві відмінності від машинобудівного виробництва, що визначає необхідність вивчення його специфічних процесів, у тому числі процесів відновлення властивостей машин та складових частин.

Обсяги ремонту великі, нині у низці галузей промисловості України відремонтованих машин перебуває більше, ніж нових.

Згідно з даними вітчизняної літератури, обсяг трудових витрат на весь термін служби, наприклад, автомобіля розподіляється таким чином: на виготовлення – 1,4 %, на технічне обслуговування – 45,4 %, на ремонт – 53,2 %.

Ремонтне виробництво, незважаючи на свої недоліки, залишається ресурсозберігаючим виробництвом, яке потребує вдосконалення, оскільки витрати на усунення несправностей та відновлення ресурсу машини при капітальному ремонті становлять лише 60...70 % витрат на її виробництво. Науково обґрунтовані ремонти машин дозволяють досягти нормативного

напрацювання техніки, а в окремих випадках і перевершити напрацювання нових машин.

Особливість технології ремонту машин має відзнаки, що полягають у тому, що вхідним об'єктом в процесі ремонту є не сировина, матеріали та напівфабрикати, як у процесі виробництва, а складові частини машин, які змінили свої розміри або властивості в процесі експлуатації.

Методологія використання методів ремонту машин і механізмів, відновлення деталей повинна відповідати положенням четвертої промислової революції, яка принципово характеризується технологіями (отримали термін «Industry 4.0»), які об'єднують фізичний, цифровий і біологічний світи, що впливають на всі галузі. Запровадження технологій «Industry 4.0» суттєво впливає на розвиток процесів ремонтно-обслуговуючого виробництва.

Виділяють 10 ключових технологій:

1. Предиктивна аналітика (обслуговування).
2. Управління життєвим циклом продукту.
3. Додана та віртуальна реальність.
4. Вертикальна та горизонтальна інтеграція машин.
5. Системи управління виробництвом.
6. Розумні пристрої та мобільні додатки.
7. Хмарні платформи та сервіси.
8. Кібербезпека.
9. Симуляція, віртуалізація та цифрові близнюки.
10. Нові бізнес-моделі.

Один із прикладів – ПРЕДИКТИВНА АНАЛІТИКА дозволяє виконувати передбачуване технічне обслуговування, тобто можливість виконувати прогнозне обслуговування, замінюючи періодичне планово-попереджувальне обслуговування або ремонт у разі відмови обладнання системи, яка дає рекомендації щодо доцільного часу для обслуговування кожного компонента, зменшуючи таким чином витрати, пов'язані з несправностями та ремонтом.

Прогнозне обслуговування – це технічне обслуговування, яке контролює працездатність та стан обладнання під час нормальної роботи, щоб зменшити ймовірність відмов і збоїв. Прогнозування технічного стану (предиктивна аналітика і предикативне технічне обслуговування) допоможе прогнозувати технічний стан пристрою, системи, комплексу, та попередити можливі наслідки від їх несправностей, збоїв, відмов, простоїв.

Життєвий цикл виробів машинобудування від спонукаючої ідеї створення до повної утилізації добре відомий (рис. 1), а кожен з етапів достатньою мірою досліджено й описано в науково-технічній літературі.

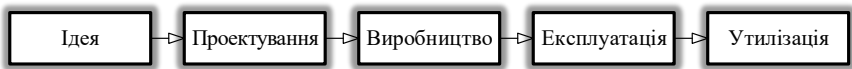


Рисунок 1 – Життєвий цикл виробу машинобудування

Ремонтне виробництво має справу з частково або повністю зношеними деталями машини. Тому наука про технологію ремонту повинна базуватися на знанні стану деталей та машин, що поступають у ремонт.

Ремонт машин має такі особливості як наявність у технологічному процесі операцій з розбирання, миття, дефектації, а також операцій, пов'язаних з відновленням зношених поверхонь і вихідних властивостей деталей. У процесі ремонту техніки використовуються не лише нові деталі, а й відновлені.

Для суттєвого підвищення рівня ремонту машин виявились необхідні щонайменше дві умови: по-перше, технічне обслуговування та ремонт повинні розглядатися не як щось другорядне, а як невід'ємна частина, певна стадія процесу виробництва, по-друге, взаємовідносини між виробником та споживачем техніки повинні будуватися на основі пріоритетності споживача

Треба зауважити, що досвід розвинених країн у цих питаннях є досить різноманітним, але принципово загальним є саме системний підхід. Система складається із трьох підсистем: виробництво техніки – технічний сервіс – користувач техніки. Взаємозв'язок між підсистемами як у цілому, так і всередині їх будується на економічній основі.

Теоретичні основи ремонту машин базуються на положеннях теорій тертя та змащення, зношування та старіння, основоположниками яких є М.П. Петров, С.А. Чаплігін, Н.Є. Жуковський, І.В. Крагельський, Б.І. Костецький, М.М. Хрущов, Б.В. Дерягін, П.Є. Д'яченко та ін.

В основу ремонтного виробництва покладені розробки вітчизняних вчених та винахідників Н.Г. Славянова, М.М. Банардоса, Б.С. Якобі, Е.О. Патона, Б.Є. Патона, В.П. Вологодина, Б.Р. Лазаренка, Г.П. Клековника та інших з електродугового зварювання, електролітичного осадження металів, автоматизації та механізації зварювально-наплавочних робіт, електричної обробки деталей і т.д.

Великий внесок у розвиток системи та науки про ремонт машин зробили вчені В.І. Казарцев, В.С. Крамаров, А.І. Селіванов, І.С. Левітський, Ю.М. Петров, І.Є. Ульман, В.В. Єфремов, С.С. Черепанов, В.М. Міхлін, К.Т. Кошкін, В.А. Щадричев, В.П. Суслов, О.В. Поляченко, Н.М. Дорожкін, В.К. Таратута, В.П. Міклуш, Л.С. Єрмолов, А.Я. Поліський, Є.Л. Воловик, М.В. Молодик, В.М. Кряжков М.І. Черновол, Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко та ін.

При підготовці даного навчального посібника використано вітчизняний та зарубіжний досвід у ремонті техніки, відповідні наукові розробки, а також результати фундаментальних наукових досліджень, виконаних та впроваджених в навчальний процес за участю авторів. Матеріал, що викладений до навчальної програми, сприятиме якісній та цілеспрямованій підготовці фахівців з питань ремонту машин та обладнання.

Матеріал поданий у навчальному посібнику для вивчення дисципліни «Введення в технічний сервіс машин: методи усунення несправностей машин та обладнання» не претендує на детальний виклад усіх питань, пов'язаних із теорією та практикою ремонту машин, проте дає можливість отримати необхідні уявлення про головні тенденції в галузі ремонтного виробництва, ознайомиться з основними визначеннями, які діють в даній науки.

Враховуючи сказане, матеріали, наведені в навчальному посібнику, можуть бути корисними не тільки для здобувачів вищої освіти та викладачів

інженерних спеціальностей закладів вищого освіти, бакалаврів денної та заочної форм навчання галузей знань – G11 Машинобудування (133 Галузеве машинобудування) H7 Агроінженерія (208 «Агроінженерія»), J8 Автомобільний транспорт (274 «Автомобільний транспорт»), а також для широкого кола працівників машинобудівних підприємств та майстерень технічного сервісу різних форм власності.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН»

*Тенденція розвитку машинобудування. Вимоги до машин та їх елементів.
Фактори що забезпечують ресурс машини. Процеси, що призводять до втрати
працездатності. Загальні поняття надійності. Показники надійності.
Класифікація процесів що діють на машину за швидкістю їх протікання*

Усунення несправностей (ремонт) машин та обладнання є однією з ключових ланок циклу експлуатації транспортних машин, від якості та своєчасності виконання якого залежить їх надійність, безпека, економічність та залишковий ресурс. Тому знання про аналіз причин виникнення відмов машин, факторів, що впливають на появу дефектів деталей, їх розвиток та інші питання що виникають в процесі експлуатації є необхідними для підготовки бакалавра.

Основна особливість ремонту машин полягає в тому, що вихідним об'єктом під час ремонту є не сировина, матеріали і напівфабрикати, як під час виготовлення, а складові частини самих машин, які змінились у період їх використання і у зв'язку з цим вичерпали свій ресурс або мають деякий його запас.

Дисципліна «Введення в технічний сервіс машин» спирається на такі раніше вивчені здобувачами предмети, як матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів, деталі машин, основи триботехніки, фізика, опір матеріалів, технічна експлуатація тракторів та техніки та ін.

Вона викладається для здобувачів старших курсів денної та заочної форм навчання галузей знань – G11 Машинобудування (133 Галузеве машинобудування) H7 Агроінженерія (208 «Агроінженерія»), J8 Автомобільний транспорт (274 «Автомобільний транспорт»).

Ремонтне виробництво є частиною машинобудівної галузі та нерозривно з нею пов'язане з початку її становлення. При масовому виробництві машин виникла потреба у поточному і далі у їх капітальному ремонті. Пік припав на другу половину XX століття та характеризувався масштабним будівництвом

ремонтних підприємств як військового, так і цивільного призначення.

На заводах були власні конструкторські та технологічні бюро, які займалися розробкою нових та вдосконаленням діючих технологій ремонту. Це забезпечувало безперервне зростання середнього ресурсного пробігу відремонтованої техніки відносно нових машин, яке становило за різними оцінками 0,8-0,85. З початком переходу України від планової до ринкової економіки (90-ті роки) ситуація різко змінилася: заводи, побудовані на принципі масового виробництва, не змогли «завантажити» свої виробничі потужності необхідною програмою ремонту, почали зазнавати збитків, скорочувати кадри, морально та фізично застаріле технологічне обладнання оновлювати були вже не в змозі і протягом 10 років практично всі були реорганізовані.

Разом з цим потреба в ремонті не зникла, практично всі види ремонту машин стали виконувати приватні організації за гаражним принципом та власні майстерні великих підприємств (децентралізована форма організації). Ремонтно-механічні майстерні підприємств автомобільного транспорту та інших організацій, які раніше здійснювали дрібний поточний ремонт, стали виконувати складніші завдання, такі як капітальний ремонт агрегатів та кузовів. Варто відзначити, що через відсутність спеціалізованих кадрів, складного, коштовного обладнання та спрощеної технології якість такого ремонту різко поступається індустріальному (централізованому), а собівартість набагато вища, проте інших варіантів тоді не було.

Початок 2000-х років характеризується розвитком дилерських мереж зарубіжних виробників машин, які разом із продажем машин зобов'язуються здійснювати гарантійний та післягарантійний ремонт машин за заводськими технологіями на обладнанні, яке рекомендує завод-виробник (фірмовий ремонт). Поточний ремонт виконується виключно заміною дефектних деталей, а при виникненні необхідності проведення капітального ремонту агрегату він замінюється новим. Реновації (відновлення) навіть незначних дефектів деталей немає, вони також замінюються новими.

Ремонт машин – це комплекс операцій із відновлення справності чи працездатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи його складових частин.

Необхідність у ремонті з'явилася відразу ж, як тільки з'явилися машини: рано чи пізно виникає необхідність відновлення її повної чи часткової працездатності чи ресурсу. Сучасні машини, незважаючи на значні досягнення науки і техніки у вдосконаленні конструкцій і матеріалів, все ж таки потребують ремонту.

Безумовно, що при проведенні ремонтних робіт потрібен інженер, який добре знає конструкцію та принцип дії сучасних машин та механізмів, гранично допустимих режимів та умов їх експлуатації. Знання принципів організації технічного обслуговування машин необхідно фахівцю, щоб забезпечити максимальний ресурс та надійність машин за мінімальних витрат і простоїв. І, як показала практика, найбільш складним та відповідальним завданням, яке стоїть перед фахівцем, є організація ремонту машин. Складною, тому що відмови, як правило, виникають випадково, бувають прості та складні, явні та приховані, і всі вони вимагають раціонального рішення при призначенні виду ремонту, визначення ступеня його складності та характеризуються найчастіше унікальністю кожного конкретного випадку.

Як видно з наведеного прикладу, ремонт можна охарактеризувати як складний процес, в якому прийняти рішення може тільки фахівець, який володіє масштабними знаннями та навичками в галузі влаштування, експлуатації та ремонту машин.

Дисципліна «Введення в технічний сервіс машин» покликана дати майбутньому спеціалісту знання про фундаментальні причини виникнення дефектів деталей машин, закономірності прояву відмов, способи визначення залишкового ресурсу деталей та надійності машин.

Науково обгрунтоване рішення завдань базується на відповідних наукових дослідженнях, до яких відносяться:

- дослідження процесів, що викликають втрату працездатності складальних одиниць та елементів машин (агрегат, вузол, механізм, з'єднання, деталь), і факторів, які впливають на підвищення їх інтенсивності. Практичним результатом досліджень є розробка способів зниження інтенсивності дії шкідливих процесів, тобто – розробка способів підвищення надійності машин;

- дослідження загальних закономірностей зношування деталей за часом з метою оцінки показників надійності машин і обладнання і розробка на їх основі конструкторсько-технологічних заходів, спрямованих на підвищення надійності машин;

- теоретичне й експериментальне обґрунтування параметрів, які характеризують технічний стан зношених деталей і можливість їх подальшого використання без ремонту або необхідність ремонту.

Нині у машинобудуванні можна відзначити такі тенденції:

1. Значне скорочення, особливо у системах управління, кількості механічних систем, що поступаються місцем електричним та електронним.

2. Підвищення навантажувальних та швидкісних напружених станів у матеріалі деталей.

3. Зниження матеріаломісткості (маси) деталей та машин. При цьому зменшується такий важливий показник механічних систем, як відношення маси до зусиль, що розвиваються.

4. Зростання числа функціонально пов'язаних в єдиний ланцюг деталей, машин і механічних систем, у зв'язку з чим особливої важливості набувають питання надійності.

5. Скорочується цикл від створення машин, подальшої розробки до виробництва.

6. На передній план у дослідженнях дедалі більше висувуються питання економії трудових витрат і матеріалів розробки, виготовлення, експлуатації та ремонту машин.

Крім цього в машинобудуванні та його різновиді – ремонтному виробництві слід використовувати вже відомі і нові технологічні способи

зміцнення деталей при виготовленні або ремонті. Справді, застосування сучасних та комбінованих методів дозволяє сформувати необхідні споживчі якості поверхневого шару, у тому числі зовнішній вигляд, міцність, надійність, довговічність, працездатність, ремонтпридатність та ін.

Розгалужений життєвий цикл машини (рис. 1.1) складається із стадій. Це пошук та вивчення ринку продукції 1, складання технічних вимог до машини та її розробка 2, проектування 3 та підготовка технологічних процесів та засобів технологічного оснащення (СТО) 4, матеріально-технічне забезпечення 5, виробництво (виготовлення, контроль, випробування) 6, зберігання 7, продаж 8, використання за призначенням 9, технічне обслуговування 10, ремонт 11 і утилізація після використання 12. Найважливіша стадія життєвого циклу машини використання її за призначенням (споживання).

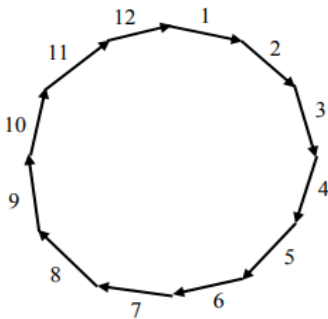


Рисунок 1.1 – Схема життєвого циклу машини

Одну із стадій (11) життєвого циклу обслуговує ремонтне виробництво. На відміну від продукції, яка сама витрачається під час використання, машини витрачають свою здатність виконувати корисну функцію. При вичерпанні цієї здатності машина перестає існувати як засіб виробництва, а перетворюється на безліч придатних, що підлягають відновленню, та непридатних деталей. Використання в ремонтному виробництві перших двох груп деталей в якості заготовок за певних умов є економічно виправдане. У машині під час її роботи протікають робочі та руйнівні процеси. Робочі процеси забезпечують виконання машиною своєї основної функції.

Будь-яка машина характеризується низкою ознак, найважливішими з яких є вузька цільова спрямованість; строго певна номенклатура показників технологічних характеристик; здатність реалізувати свої можливості на певному часовому інтервалі.

З часом в окремих сполученнях, у тому числі й окремих вузлів, відбуваються зміни, що призводять до втрати спочатку заданих виробу необхідних характеристик, тимчасової або постійної відмови.

Таким чином, до кожного виробу, у тому числі до трактора або автомобіля, пред'являються певні вимоги, які характеризуються вихідними параметрами.

У процесі виконання своїх функцій у виробі відбувається зміна початкового стану пар (рухомої або нерухомої посадки), в результаті виріб стає непрацездатним, тому що не виконує спочатку заданих функцій.

Наприклад, під працездатністю двигуна слід розуміти його стан, у якому двигун здатний виконувати задані функції з встановленими параметрами.

У міру зношування деталей параметри двигуна змінюються. Найбільший вплив на зниження працездатності двигуна надають знос деталей механізму газорозподілу і знос деталей циліндро-поршневої групи.

Вирішення питання забезпечення машини необхідної надійності пов'язане із створенням оптимальної конструкції, якісним виготовленням у виробничих умовах, відповідністю вимогам умов його експлуатації.

Особливістю проблеми створення виробу з максимальним ресурсом є зв'язок з усіма етапами його народження, у тому числі з проектуванням, виготовленням та використанням машини, починаючи з моменту, коли формується та обґрунтовується ідея створення нової машини та закінчуючи прийняттям рішення про її списання.

Тому необхідно виявити зв'язки між показниками надійності та можливостями їх підвищення на кожному з етапів проектування, виготовлення та експлуатації машини.

При проектуванні та розрахунку машини закладається її надійність.

Вона залежить від конструкції машини та її вузлів, матеріалів, методів захисту від різних шкідливих впливів, системи мастила, пристосованості до ремонту та обслуговування та інших конструктивних особливостей.

Дійсно при конструюванні машин розглядаються методи розрахунку пар і вузлів машин, а також машини в цілому, для того щоб отримати необхідні показники надійності та довговічності. У зв'язку з цим необхідно:

- дослідити процеси, що діють на машину та призводять до втрати вихідних характеристик (аналіз типових для даних машин процесів, режимів роботи машини та спектрів навантажень);
- зробити розрахунок зміни машиною та її елементами початкових параметрів (внаслідок зношування, втоми та інших процесів);
- провести розрахунок граничних станів, термінів служби та показників надійності машини та її елементів;
- знайти методи підвищення надійності та довговічності машин за рахунок конструктивних факторів (у тому числі: вибір раціональної конструктивної схеми, функціональна взаємозамінність, резервування, автоматичне відновлення працездатності, що втрачається);
- забезпечити стандартизацію, уніфікацію та агрегування вузлів з точки зору надійності;
- зробити розрахунок надійності машини в цілому (з урахуванням умов і режимів роботи і необхідних показників надійності); забезпечити оптимізацію показників надійності та довговічності та навести економічне обґрунтування для обраних варіантів.

На якість машини, що виготовляється, впливає вибір параметрів технологічного процесу та його організація з точки зору отримання бездефектної продукції та поліпшення показників якості, що визначають надійність виробів, що випускаються. Такі вимоги можуть бути забезпечені шляхом:

- організації бездефектного випуску продукції (економічне

обґрунтування, роль людини, організаційна побудова, зокрема служби надійності та ін.);

- технологічних методах та режимах, що забезпечують випуск надійної продукції (у тому числі методи зміцнення);

- в показниках якості технологічного процесу, що визначають надійність виробів (якість матеріалу, якість поверхневого шару, якість збирання);

- контроль якості продукції в процесі виробництва – статистичний контроль, дефектоскопія та інтроскопія;

- надійність технологічного процесу (стабільність технологічного процесу, надійність забезпечення якості, принцип саморегулювання технологічного процесу).

Забезпечення надійності під час експлуатації машин. Розглядаються методи експлуатації, обслуговування, ремонту та зберігання виробів для реалізації закладеної в машині надійності. Для цього необхідно дослідити:

- систему ремонту та обслуговування машин (включаючи періоди зберігання, транспортування, монтажу) з вибором оптимальних варіантів;

- методи відновлення машин (технологічний аспект ремонту);

- економічне обґрунтування доцільної тривалості експлуатації машини та застосовуваних методів ремонту та обслуговування;

- порядок контролю та технічної діагностики в процесі експлуатації;

- збір та обробку інформації про надійність машин у процесі експлуатації.

Якісне виконання трьох названих етапів дозволяє продовжити життєвий цикл машини до фізичного та морального зношування.

Для деяких машин може мати місце критична тривалість експлуатації, починаючи з якої при експлуатації виробу різко зростатимуть витрати на ремонт через знос найдорожчих вузлів машини або небезпеку її подальшої експлуатації.

Для оцінки довговічності складного виробу застосовують дві категорії показників. По-перше, це показники, що характеризують вихід за допустимі межі основних технічних характеристик (вихідних параметрів) виробу загалом. Це відноситься насамперед до показників, що характеризують точність функціонування, потужність, швидкість, ККД та ін. всього виробу. У цьому випадку основним показником довговічності буде ресурс (або термін служби), пов'язаний з виходом за допустимі межі основних технічних характеристик виробу та настанням граничного стану виробу, при якому його експлуатація повинна бути припинена.

По-друге, довговічність всієї машини повинна характеризувати її здатність виконувати свої робочі функції з мінімальними витратами на заміну деталей, що зносилися, налагодження, ремонт і обслуговування. Чим менші сумарні витрати часу та коштів, що йдуть на відновлення працездатності машини протягом усього періоду її експлуатації, тим вона довговічніша.

Показником, що визначає довговічність машини, може бути коефіцієнт технічного використання K_{TB} , який дорівнює:

$$K_{TB} = \frac{T_{\text{роб}}}{T_{\text{роб}} + \sum_{i=1}^n T_{\text{рем}} \cdot t} \quad (1.1)$$

де $T_{\text{роб}}$ – час роботи машини за деякий період експлуатації; $\sum T_{\text{рем}}$ – сумарна тривалість ремонтів машини за цей же період експлуатації.

Коефіцієнт технічного використання є безрозмірною величиною ($0 < K_{TB} < 1$). Він чисельно дорівнює ймовірності того, що в даний, довільно взятий момент часу машина працює, а не ремонтується.

Коефіцієнт технічного використання, взятий за період між плановими ремонтами та технічним обслуговуванням, називається коефіцієнтом готовності K_2 .

Коефіцієнт готовності K_2 оцінює непередбачені зупинки машини, наявність яких свідчить про те, що планові ремонти та заходи щодо технічного

обслуговування не повністю виконують свою роль. K_e чисельно дорівнює ймовірності того, що виріб буде працездатним у довільно взятий момент часу в проміжках між плановими ремонтно-профілактичними заходами.

Слід наголосити, що коефіцієнт технічного використання $K_{ТВ}$ часто не є повноцінною характеристикою, якщо розглядається обмежений проміжок часу, оскільки малі витрати на ремонт за цей час ще не означають малих сумарних витрат за весь період експлуатації. Можливий варіант, коли недостатня увага до профілактичних ремонтів і технічного обслуговування в процесі експлуатації машини (тобто незначні витрати на ремонт за період, що розглядається) призведуть до підвищених витрат часу і коштів при наступних ремонтах, так як буде мати місце більш інтенсивне зношування машини.

Тому доцільніше брати весь період експлуатації машини або як мінімум період до її капітального ремонту. Як основний показник довговічності виробу слід застосовувати коефіцієнт довговічності K_0 , що дорівнює коефіцієнту технічного використання, взятому за весь період експлуатації.

Час, який витрачається на ремонт та технічне обслуговування, залежить не тільки від методів експлуатації та технології ремонту, а й від конструкції виробу, його придатності для ремонту та обслуговування.

Для машинобудування та в ремонтному виробництві об'єкт розгляду називатимемо виробом. Залежно від поставленого завдання виробом може бути окрема деталь, кінематична пара, вузол, агрегат, машина загалом або система машин.

Розв'язання задачі підвищення або оцінки надійності складної машини зазвичай включає розгляд її елементів, окремих вузлів і агрегатів.

Кожен виріб характеризується певними вихідними параметрами – величинами, що визначають показники якості виробу.

Терміни та визначення в галузі надійності стандартизовані. Нижче наведено основні з них.

Працездатність – це стан виробу, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, встановлених

нормативно-технічною документацією.

Відмова – це подія, що полягає у порушенні працездатності виробу.

Будь-яка відмова виникає або може виникнути через деякий період, який є випадковою величиною. Залежно від причин відмови слід по-різному оцінювати час роботи виробу. Тут можуть бути два основні випадки (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Оцінка тривалості експлуатації виробу

Обчислення часу роботи	Час роботи повністю (випадкова величина)	Регламентований час роботи виробу (детермінована величина)
У відпрацьованих годинах (напрацювання)	T – напрацювання до відмови	T_p – ресурс
У календарному терміні (напрацювання)	T – термін служби до відмови	T_{Cl} – строк служби

Перший – коли час оцінюється календарною тривалістю роботи виробу. Це характерно для таких причин порушення працездатності виробу, як корозія, дія зовнішніх температурних факторів або опромінення та ін. Час роботи в цьому випадку називається терміном служби.

Однак працездатність виробу пов'язана не тільки зі «здатністю працювати», тобто виконувати необхідні функції, але й з тим, щоб при цьому вихідні параметри виробу перебували у допустимих межах.

У тих випадках, коли вихідні параметри виробу виходять за межі допустимого, порушується працездатність та настає відмова.

Інтенсивності робочих $f_1(t)$ та руйнівних $f_2(t)$ процесів можуть бути представлені двома штриховими кривими (рис. 1.2). Звичайно, інтенсивність робочих процесів у міру напрацювання t машини зменшується, а інтенсивність руйнівних процесів – збільшується. Якщо не обмежувати руйнівні процеси, то незабаром настане момент, коли машина не буде здатна виконувати задану функцію. Роботи з технічного обслуговування машин стримують зростання

інтенсивності руйнівних процесів та зменшують падіння кривої робочих процесів. Розриви суцільних кривих у точках графіка $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n-1}, t_n$ пояснюються стрибкоподібною зміною інтенсивностей обох процесів за рахунок ремонтних робіт. Однак настає момент, коли руйнація починає превалювати над корисними процесами. Машина в цьому випадку або не здатна виконувати призначену функцію або виконання її пов'язане з витратами, що перевищують користь від застосування машини. Такий стан машини називають граничним.

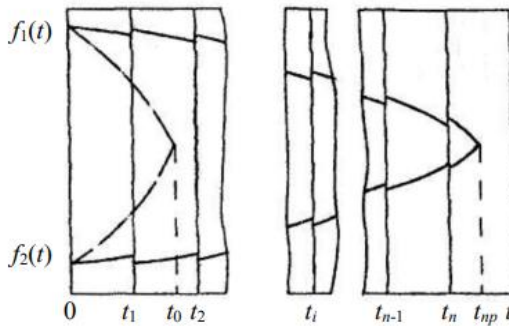


Рисунок 1.2 – Інтенсивність робочих $f_1(t)$ та руйнівних $f_2(t)$ процесів, що протікають у машині протягом напрацювання t

Площа, обмежена віссю ординат і кривими $f_1(t)$ і $f_2(t)$, характеризує здатність A виконувати корисну функцію машини, що виражається інтегралом:

$$A = \int_0^{t_{np}} \left[\sum_{i=1}^n f_1(t) - \sum_{i=1}^n f_2(t) \right] dt \quad (1.2)$$

де t_{np} – напрацювання, що відповідає граничному стану машини; n – число відрізків терміну служби машини, t – поточне напрацювання.

Час роботи виробу повністю, виражений у годинах, називається в цьому випадку напрацюванням повністю. Виріб або його елемент характеризується зазвичай не одним, а кількома вихідними параметрами. Термін служби або напрацювання виробу повністю – це час досягнення граничного значення будь-

яким з його параметрів.

Напрацювання чи термін служби до граничного регламентованого стану називається відповідно ресурсом чи допустимим терміном служби.

Ті зміни, які відбуваються з часом у будь-якій машині та призводять до втрати її працездатності, пов'язані із зовнішніми та внутрішніми впливами, яким вона піддається. У процесі експлуатації на машину діють всі види енергії, що може призвести до зміни параметрів окремих елементів, механізмів і машини в цілому, при цьому є три основні джерела впливу:

- енергія навколишнього середовища, включаючи людину, яка виконує функції оператора чи ремонтника;
- внутрішні джерела енергії, пов'язані як із робочими процесами, які у машині, і з роботою окремих механізмів машини;
- потенційна енергія, яка накопичена в матеріалах та деталях машини в процесі їх виготовлення (внутрішні напруги у виливку, монтажні напруги).

Разом з тим, названі джерела впливу можуть супроводжуватися такими видами енергії, як механічна, теплова, хімічна, ядерна, електромагнітна, біологічна.

Механічна енергія передається всіма ланками машин у процесі роботи та впливає на неї у вигляді статичних чи динамічних навантажень від взаємодії із зовнішнім середовищем.

Теплова енергія діє на машину та її частини при коливаннях температури навколишнього середовища, при здійсненні робочого процесу (особливо сильні теплові дії мають місце при роботі двигунів та в ряді технологічних машин), при роботі приводних механізмів, електротехнічних та гідравлічних пристроїв.

Хімічна енергія також впливає на роботу машини. Навіть повітря, що містить вологу та агресивні складові, може спричинити корозію окремих вузлів машини.

Ядерна (атомна) енергія, що виділяється в процесі перетворення атомних ядер, може впливати на матеріали, змінюючи їх властивості.

Електромагнітна енергія у вигляді електромагнітних коливань пронизує

весь простір навколо машини і може вплинути на роботу електронної апаратури.

Біологічні фактори також можуть впливати на працездатність машини. Наприклад, є мікроорганізми, які не тільки руйнують деякі види пластмас, а й можуть впливати на метал.

Таким чином, всі види енергії діють на машину та її механізми, викликають у ній цілу низку небажаних процесів, створюють умови для погіршення її технічних характеристик.

Ці процеси пов'язані, як правило, зі складними фізико-хімічними явищами і призводять до деформації, зношування, поломки, корозії та інших видів ушкоджень.

Це, у свою чергу, спричиняє зміну вихідних параметрів виробу, що може призвести до відмови.

Ці взаємозв'язки спрощено можна виразити наступною схемою, представленою на рисунку 1.3.

Слід підкреслити, що процеси, які призводять до зміни початкових властивостей виробу, протікають у матеріалах, з яких створено виріб, включаючи не тільки деталі машини, але й мастило, паливо та все, що бере участь у робочому процесі.



Рисунок 1.3 – Схема динаміки зміни вихідних параметрів

Слід пам'ятати, що частина процесів, які діють у машині і які впливають на її технічні характеристики, є зворотними. Зворотні процеси тимчасово змінюють параметри деталей, вузлів і всієї системи в деяких межах, без тенденції прогресивного погіршення. Найбільш характерний приклад таких процесів – пружна деформація вузлів та деталей машин.

Незворотні процеси призводять до прогресивного погіршення технічних характеристик машини з часом. Найбільш характерними незворотними процесами в машинах є зношування, корозія, втома, перерозподіл внутрішніх напруг і короблення деталей з часом.

Для оцінки надійності виробу необхідно оцінити швидкість перебігу процесів, що знижують його працездатність.

Швидко протікаючі процеси мають періодичність зміни, що вимірюється зазвичай частками секунди. Ці процеси закінчуються в межах циклу роботи машини і знову з'являються при наступному циклі. Сюди відносяться вібрації вузлів, зміни сил тертя в рухомих з'єднаннях, коливання робочих навантажень та інші процеси, що впливають на взаємне положення вузлів машини в кожному моменті часу і спотворюють цикл роботи.

Процеси середньої швидкості пов'язані з періодом безперервної роботи машини. Їх тривалість вимірюється зазвичай, у хвилинах чи годинах. Вони призводять до монотонної зміни початкових параметрів машини. До цієї категорії відносяться як оборотні процеси (зміна температури самої машини та навколишнього середовища, зміни вологості середовища), так і незворотні (знос ріжучого інструменту, який протікає набагато інтенсивніше, ніж зношування деталей і вузлів машини). Наприклад, на теплові поля машини впливають коливання температури навколишнього середовища, коливання коефіцієнта тертя в приводних механізмах (що визначає величину тепловиділення), теплоутворення при робочих процесах та ін.

Повільні процеси протікають під час роботи машини між періодичними оглядами чи ремонтами. Вони тривають дні та місяці. До таких процесів відносяться знос основних механізмів машини, перерозподіл внутрішніх напруг в деталях, повзучість металів, забруднення поверхонь тертя, корозія, сезонні зміни температури.

Слід наголосити, що повільні процеси, як і процеси середньої швидкості, є випадковими функціями. До повільних процесів відноситься знос машин, який призводить до пошкодження поверхонь, що труться і, як правило, є

причиною великої кількості відмов машини. Для створення працездатної машини необхідно забезпечити високу зносостійкість пар тертя.

Види пошкоджень деталей машини і, відповідно, відмови можна розбити на дві групи: допустимі (за характером, а не за величиною ушкодження), що виникають за нормальних умов експлуатації, та неприпустимі, які мають аварійний характер.

До допустимих ушкоджень відносяться короблення (залишкові деформації) деталі, у деяких випадках – поломка внаслідок втоми, деякі види зношування, втома поверхневих шарів.

Як правило, неприпустимі поломки деталей виникають внаслідок недостатньої статичної, динамічної або втомної міцності; теплові тріщини – внаслідок нагрівання деталі, у ряді випадків корозії. Усі неприпустимі пошкодження та причини їх виникнення мають бути усунені тими чи іншими методами. Допустимі пошкодження, як правило, не можуть бути повністю усунені; можна лише уповільнити їхній прояв, наприклад, шляхом зменшення швидкості зношування.

Ушкодження елементів машини можуть призвести до її відмов, якщо ступінь цих пошкоджень перевершив допустимий рівень. Види ушкоджень визначають утримання ремонтів машини. Допустимі пошкодження деталей усуваються плановими ремонтами машини. Відмовлення деталей через неприпустимі пошкодження усуваються під час аварійних ремонтів. Допустимі пошкодження викликаються в основному старінням матеріалів, з яких вони виготовлені.

Процесом старіння називається незворотна зміна властивостей чи стану матеріалу виробу внаслідок дії різних факторів. Воно пов'язане з переміщенням атомів у металі, тобто зі зміною кристалічної структури матеріалу. У випадку старіння має місце деформація деталей, особливо відчутна для великогабаритних, складних за конструкцією і відповідальних деталей. Ось чому при виробництві машин такі деталі, як блок циліндрів двигуна і корпуси агрегатів трансмісії, піддають попередньому (до обробки) природному (на

повітрі) або штучному (прискореному за рахунок підвищення температурних умов) старінню з тим, щоб після механічної обробки не було деформацій, які викликають похибки в геометрії оброблених поверхонь.

Старіння полімерів є процесом деструкції, тобто розпаду макромолекул під впливом різних факторів (температури, світла). Унаслідок старіння деталі з полімерних матеріалів втрачають свої фізико-механічні властивості, головним чином, еластичність, внаслідок чого не можуть виконувати своїх службових функцій. Складний та багатofакторний процес фізичного старіння машин та іншої сільськогосподарської техніки – неминучий і об'єктивний, безперервний і природний, хоча інтенсивність його виявлення значною мірою залежить від якості самих машин, їх технічного обслуговування в процесі експлуатації, якості ремонту, тобто пов'язана зі сферою виробництва, експлуатації і ремонту.

Руйнівні процеси, що діють на деталь, змінюють її розміри, форму та фізико-механічні властивості, утворюють різні дефекти, призводять до несправності вузлів, агрегатів і машин (рис.1.4).

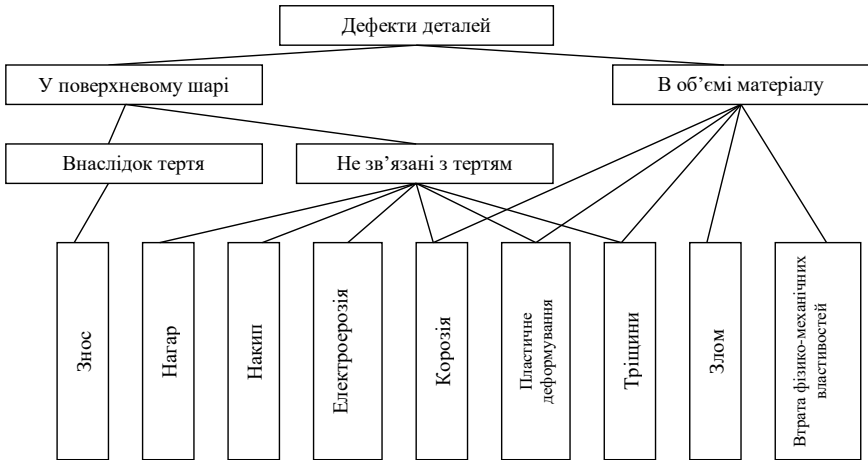


Рисунок 1.4 – Класифікація дефектів деталей машин

Наведемо класифікацію дефектів деталей за причинами їх виникнення, яка була запропонована О.В. Каракулевым (табл.1.2).

Таблиця 1.2

Класифікація дефектів деталей за причинами їх виникнення

Найменування факторів, які спричиняють дефекти деталей	Ознаки властивостей дефектів	Найменування деталей (приклади)	Конструктивно-технологічні фактори
Зношення при терті ковзання або кочення	Зміна габаритних розмірів, маси, об'єму, конфігурації, властивостей поверхні і її розмірів	Вали, півосі, шестерні, поверхні прилягання базових деталей, отвори картерів, маточини коліс	Геометрична конфігурація і габаритні розміри деталей
Скручування, згин	Зміна форми, цілісності деталей, конфігурації; порушення співвісності	Вали, осі, важелі, штанги, тяги, вилки, направляючі рами	Відносне положення поверхонь, геометрична конфігурація
Злом, сколювання, зріз, зрив	Зміна цілісності деталі, форми і конфігурації	Картери, стакани, шестерні, вали, осі, пружини, паси	Геометрична конфігурація, габаритні розміри
Корозія, роз'їдання	Погіршення властивостей матеріалу, зовнішнього вигляду	Капоти, кабіни, крила, кришки, дверцята	Геометрична конфігурація, властивість матеріалу
Старіння матеріалу	Зміна в'язкості, пружності, еластичності, твердості, пластичності	Пружини, паси, сальники, прокладки; матеріал деталей	Властивість матеріалу, геометричні розміри і конфігурація
Деформація поверхонь	Зміна геометричної конфігурації, розміру поверхні, тріщини, зминання, порушення співвісності	Картери, корпуси блоків, коробок, редукторів, головок; маточини коліс, рами	Геометрична конфігурація і габаритні розміри поверхонь

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ, ЩО ОПИСУЮТЬ ЗМІНУ У МАТЕРІАЛАХ ТА РОЗМІРАХ СПОЛУЧЕНЬ

Зміна властивостей матеріалу та стану геометрії – причина втрати працездатності машини. Класифікація процесів старіння. Види тертя та змащення. Основи теорії про зношування спряжень і з'єднань складових машин.

Зміна початкових властивостей та стану матеріалів, з яких виконано виріб, є першопричиною втрати ним працездатності, оскільки ці зміни можуть призвести до пошкодження виробу та небезпеки виникнення відмови.

Чим глибше вивчені закономірності, що описують процеси зміни властивостей та стану матеріалів, тим достовірніше можна передбачити поведінку виробу в умовах експлуатації і забезпечити збереження показників надійності в необхідних межах.

Відомо, що в основі втрати машиною працездатності завжди лежать фізичні закономірності, але в силу різноманітності та мінливості факторів, що діють, ці залежності набувають імовірного характеру.

Для вирішення інженерних завдань надійності необхідно знати закономірності зміни вихідних параметрів машини та її елементів у часі. Однак для пояснення фізичної сутності явищ і для отримання таких закономірностей їх виникнення, які в найбільш загальній формі відображають об'єктивну дійсність, необхідно також проникнути в мікросвіт явищ і пояснити причини взаємозв'язків.

Тому сучасна наука вивчає закономірності зміни властивостей та стану матеріалів на наступних рівнях.

Субмікроскопічний рівень передбачає розгляд будови атомів і молекул і утворення їх кристалічних решіток твердих тіл чи інших структур із виявленням закономірностей, які є базою пояснення якостей і поведінки матеріалів в різних умовах. Ці закономірності, зазвичай, є основою подальших досліджень, і розробок часткових залежностей.

Мікроскопічний. Рівень розгляду властивостей матеріалів виходить із аналізу процесів, що відбуваються у невеликій області. Отримані закономірності надалі поширюються на весь обсяг тіла.

Макроскопічний рівень розглядає зміну початкових властивостей чи стану матеріалу всього тіла (деталі).

Класифікація процесів старіння щодо їх зовнішнього прояву. Оскільки процеси старіння характеризуються складними та різноманітними явищами, що відбуваються в матеріалах деталей машини, їх класифікацію доцільно провести залежно від зовнішнього прояву, до якого привів даний процес. Щодо зовнішнього прояву процесу, то за деформацією деталі, її зносу, зміни властивостей та інших показників, можна судити про ступінь пошкодження матеріалу деталі і, отже, оцінити близькість виробу до граничного стану. Класифікуючи незворотні процеси старіння, слід також визначити ту область, в якій проявляється даний процес, тобто з'ясувати, чи він зачіпає весь обсяг матеріалу деталі, чи проявиться лише в поверхневих шарах або протікає при контакті двох сполучених поверхонь.

У таблиці 2.1 наведено класифікацію процесів старіння за їх зовнішнім проявом та вказано основні різновиди кожного процесу.

Тіло деталі може зазнавати руйнування, яке є найбільш небезпечним проявом процесів старіння, деформуватися або змінювати властивості матеріалу – його пластичність, електропровідність, магнітні властивості і т.д. Найчастіше процеси старіння протікають у поверхневих шарах.

Руйнування матеріалу деталі (його злам) відноситься, як правило, до неприпустимих видів ушкодження. Це пов'язано з тим, що поломка деталей у результаті руйнації часто носить лавиноподібний характер і протікає з великою швидкістю. Руйнування матеріалу деталі може статися як у результаті виникнення неприпустимих статичних або динамічних навантажень, так і при тривалій дії змінних навантажень, що призводять до руйнування втомі.

Таблиця 2.1

Класифікація процесів старіння (незворотні процеси)

Об'єкт	Зовнішній прояв процесу (вид ушкодження)	Різновиди процесів	
Тіло деталі (об'ємні явища)	Руйнування	Крихке руйнування, в'язке руйнування	
	Деформація	Пластична деформація, повзучість, короблення	
	Зміна властивостей матеріалу	Зміна: структури матеріалу, механічних властивостей (пластичності), хімічного складу, магнітних властивостей, газопроникності; забруднення рідин (мастила, палива)	
Поверхня (поверхневі явища)	Деталі	Роз'їдання	Корозія, ерозія, кавітація, прогар, тріщиноутворення
		Наріст	Налипання (адгезія, когезія, адсорбція, дифузія), нагар, облітерація (зарощування)
		Зміна властивостей поверхневого шару	Зміна: шорсткості, твердості, відбивної здатності, напруженого стану
	Пари	Зношування	Зношування (стирання), втома поверхневих шарів, зминання, перенесення матеріалу
		Зміна умов контакту	Зміна: площі контакту, глибини впровадження мікровиступів, суцільності мастила

Втома – явище руйнування матеріалу під дією змінної напруги, що не перевищує межі міцності.

Найбільш характерним проявом процесу старіння матеріалу є незворотна деформація деталі. Зростання деформації в часі призводить до поступової зміни початкових параметрів виробу, і при високих вимогах до точності, які характерні для сучасних машин, відмова настає значно раніше, ніж буде вичерпана здатність деталі.

Зміна деформації деталі у часі пов'язано, як правило, із виникненням на окремих ділянках пластичних деформацій.

Пластичні деформації деталей, що змінюються у часі, особливо якщо мають місце підвищені температури, називають повзучістю. Деформація деталей може відбуватися також при напругах, що знаходяться в межах пружності за рахунок перерозподілу внутрішніх напружень.

При взаємодії поверхні деталі із зовнішнім середовищем у поверхневому шарі можуть відбуватися різноманітні процеси старіння, котрим характерна або втрата вихідного матеріалу, або приєднання нового матеріалу з довкілля.

Корозія металів і сплавів є їх руйнування в результаті хімічної або електрохімічної дії середовища. Руйнування завжди починається з поверхні деталі.

Хімічна корозія є реакцією хімічної взаємодії металів з сухими газами і парами і рідкими неелектролітами.

Електрохімічна корозія протікає під час впливу на метали рідких електролітів. Її можна умовно поділити на макро- та мікрокорозію..

Макрокорозія – це явище руйнування поверхонь різних металів за наявності між ними електроліту.

Мікрокорозія (суцільна, місцева або точкова) викликається електрохімічною неоднорідністю контакту металу з електролітом. У деяких машинах можна зустріти специфічну корозію, що називається щілинною. Цей термін застосовують до всіх випадків корозійних ушкоджень у зазорі між двома поверхнями:

Корозія робочих поверхонь деталей у непрацюючих машин знижує зносостійкість нар тертя.

Вплив на поверхню деталі потоку газу або рідини за певних умов (велика швидкість потоку, наявність у ньому абразивних частинок тощо) може призвести до «розмивання», ерозії поверхневого шару. Часто процеси ерозії та корозії протікають одночасно.

Будь-який процес старіння виникає і розвивається лише за певних зовнішніх умов. Для оцінки можливих видів пошкодження матеріалів деталей машин необхідно встановити сферу існування процесу старіння і насамперед умови його виникнення. Для виникнення процесу старіння зазвичай має бути перевищено певний рівень навантажень, швидкостей, температур чи інших параметрів, що визначають його протікання.

Поняття старіння машин може використовуватись у трьох видах оцінки їхнього стану: моральне старіння; буквальне старіння матеріалів деяких деталей; старіння, пов'язане із зношуванням робочих поверхонь деталей машин.

Причиною морального старіння є поява у сфері експлуатації нових машин з ефективнішими робочими, екологічними, економічними, ергономічними та іншими властивостями, порівняно з машинами попередніх поколінь.

Буквальне старіння пов'язано з незворотними процесами фізико-хімічних змін властивостей матеріалів деяких деталей – гумових ущільнень, сальників, пластикових та синтетичних матеріалів деталей, включаючи оббивку салонів машин, електропроводів тощо. Такі деталі замінюють при ремонті.

Третій вид старіння пов'язаний із зміною геометричних розмірів та форм робочих поверхонь деталей у результаті їх зношування

Значущість трибології в останні десятиліття незмінно підвищується. Слово трибологія, яке походить від грецького «трибос», що означає тертя, було визначене як «наука і технологія взаємодії поверхонь, що знаходяться у відносному русі, а також пов'язані з цим явища та їхні практичні наслідки». Вона торкається найрізноманітніших сфер діяльності людини, але особливу важливість придбала у зв'язку з необхідністю підвищення зносостійкості

машин, приладів, устаткування, інструментів, робочих органів та інших виробів, а також зниження втрат на тертя при їх використанні. Вирішення задач з застосування досягнень трибології носить яскраво виражений міжгалузевий характер і здійснюється на державному рівні в багатьох високорозвинених, у науково-технічному плані, країнах.

Аналіз наукових публікацій та тематики великих комплексних і спеціалізованих науково-технічних конференцій останніх років дає підставу виділити в сучасній трибології як сфері знань і її додатках шість найважливіших перспективних галузей: трибоаналіз (теоретичні положення трибомеханіки, трибофізики і трибохімії); трибоматеріалознавство (вивчення триботехнічних матеріалів і управління їх властивостями); триботехнологія (технологічні методи управління фрикційними характеристиками рухомих спряжень); триботехніка (сукупність технічних засобів, що піддаються впливу тертя і зношування); трибомоніторинг (засоби і методи діагностики, контролю і випробувань трибосистем); трибоінформатика (засоби і методи обробки, збереження і передачі трибологічної інформації).

Трибоаналіз – найважливіший розділ трибології, що охоплює проблеми накопичення і систематизації наукової інформації про фундаментальні дослідження основних фрикційних процесів, а також побудови моделей цих процесів з метою прогнозування результатів контактної взаємодії твердих тіл у заданих умовах.

Триботехнологія, як і трибоматеріалознавство, є сполучною ланкою між трибоаналізом і реальними конструкціями трибосистем та охоплює два великих напрямки прикладної трибології: по-перше – вивчення триботехнічних аспектів формоутворення деталей, обробки матеріалів руйнуючими і деформуючими способами; по-друге – вивчення і розробка методів досягнення необхідних триботехнічних властивостей поверхонь тертя за рахунок застосування зміцнюючих технологій і нанесення спеціальних покриттів.

Трибомоніторинг – самостійна галузь трибології, яка ґрунтується на трибоаналізі, повинна використовуватися як на етапі випробування і

доопрацювання трибосистем, так і на етапі їхньої експлуатації. Трибомоніторинг включає такі два напрямки – трибометрію і трибодіагностику.

Трибометрія охоплює методи і засоби вимірювання основних параметрів процесу тертя і є найважливішим елементом усіх видів експериментальних, модельних і натурних досліджень трибосистем.

Трибодіагностика – як сукупність методів і засобів безперервного контролю і керування станом фрикційних параметрів деталей і трибосистем машин – один із наймолодших напрямків забезпечення створення сучасної і надійної триботехніки.

Триботехніка як прикладна галузь трибології охоплює кінцеву стадію процесу створення трибосистем, акумулюючи в них новітні досягнення трибоаналізу, трибоматеріалознавства, триботехнології і трибомоніторингу в методах розрахунку і конструювання.

Трибоінформатика є замикаючою ланкою в наукових дослідженнях і практичних додатках трибології. Метою трибоінформатики є одержання, узагальнення, збереження і використання інформації, отриманої у всіх перерахованих раніше галузях трибології.

Згідно ДСТУ «Зносостійкість виробів, тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення» використовуються такі поняття.

Абразивне зношування – механічне зношування внаслідок дії твердих тіл або твердих частинок, які ріжуть чи дряпають поверхню матеріалу.

Адгезійне зношування – зношування внаслідок локального з'єднання двох твердих третьових тіл та глибинного виривання матеріалу з їхніх поверхневих шарів.

Адгезія в умовах тертя; адгезія – явище локального з'єднання двох твердих тіл, яке відбувається внаслідок дії молекулярних сил під час тертя.

Газове, рідинне, тверде мащення – мащення, в умовах якого розділення поверхонь тертя тіл, що рухаються одне відносно іншого, відбувається за рахунок газоподібного, рідкого, твердого мастильного матеріалу.

Гідроабразивне, (газоабразивне) зношування – абразивне зношування внаслідок дії твердих тіл або твердих частинок, що їх переносить потік рідини (газу).

Гідродинамічне (газодинамічне) мащення – рідинне (газове) мащення, в умовах якого повне розділення поверхонь тертя відбувається за рахунок тиску, що самовільно виникає в шарі рідини (газу) під час руху поверхонь одної відносно іншої.

Гідроерозійне (газоерозійне) зношування – механічне зношування внаслідок дії потоку рідини (газу).

Гідростатичне (газостатичне) мащення – рідинне (газове) мащення, в умовах якого повне розділення поверхонь тертя тіл, які перебувають у стані відносного руху чи спокою, відбувається за допомогою рідини (газу), що подається під зовнішнім тиском у проміжок між поверхнями тертя.

Граничне мащення – мащення, в умовах якого тертя та зношування поверхонь, що рухаються одна відносно іншої, визначаються їх властивостями, а також тими властивостями мастильного матеріалу, які відрізняються від об'ємної в'язкості.

Електроерозійне зношування – зношування матеріалу внаслідок дії на поверхню тертя електричних розрядів.

Еласто-гідродинамічне мащення – мащення, в умовах якого характеристики тертя і товщина плівки рідкого мастильного матеріалу між двома поверхнями, що рухаються одна відносно іншої, визначаються пружними властивостями матеріалів поверхонь тертя, а також реологічними властивостями мастильного матеріалу.

Елемент трибосистеми (трибоелемент) – тіла, що перебувають у контакті, а також мастильний матеріал і навколишнє середовище, які беруть безпосередню участь у процесі тертя.

Інтенсивність зношування – відношення величини зносу до шляху тертя, вздовж якого відбувалося зношування.

Заїдання – нестационарний стан трибосистеми, який характеризується саморозвитком процесу зростання сили тертя і пошкодження поверхонь тертя внаслідок адгезії переносу матеріалу.

Зовнішнє тертя (тертя) – явище опору відносному переміщенню, яке виникає між двома тілами в зонах контакту їх поверхонь, тангенціально до них.

Зношування – процес відокремлювання матеріалу від поверхні тертя твердого і (чи) збільшення його залишкової деформації в умовах тертя, що виявляється у поступовому змінюванні розмірів, форми і (чи) маси тіла.

Знос – наслідок зношування, визначений у прийнятих одиницях: довжини, об'єму, маси тощо.

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню у певних умовах тертя, яка оцінюється величиною, оберненою до швидкості зношування чи інтенсивності зношування.

Змащування – підведення і (або) нанесення мастильного матеріалу до (на) поверхні тертя

Змішане мащення – мащення, під час застосування якого відбувається частково гідродинамічне, частково граничне мащення.

Кавітаційне зношування – механічне зношування в умовах руху твердого тіла в рідині, під час якого бульбашки газу руйнуються біля поверхні, що призводить до створення локального високого ударного тиску чи високої температури.

Коефіцієнт зчеплення – відношення найбільшої сили тертя спокою до нормальної сили, що притискує тіла одне до одного.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя до нормальної сили, що притискує тіла одне до одного.

Мастильний матеріал – матеріал, який підводять (наносять) до поверхні тертя для зменшення сили тертя і (чи) зносу.

Мастильна здатність – властивість мастильного матеріалу знижувати знос і силу тертя.

Мащення – дія мастильного матеріалу, у результаті якої зменшується знос, пошкодження поверхні і (чи) сили тертя.

Механічне зношування – зношування матеріалу внаслідок механічних впливів під час тертя.

Механохімічне зношування – зношування матеріалу внаслідок механічних впливів під час тертя, що супроводжуються хімічною і (чи) електрохімічною взаємодією матеріалу з середовищем.

Найбільша сила тертя спокою – сила тертя спокою, перевищення якої призводить до виникнення переміщення одного тіла по поверхні іншого.

Окислювальне зношування – механохімічне зношування, під час якого переважає хімічна реакція матеріалу з киснем чи окисним середовищем.

Перенесення матеріалу – явище, яке виникає під час тертя твердих тіл і полягає в тому, що матеріал першого тіла з'єднується з другим і, відокремлюючись від першого, залишається на поверхні другого.

Поверхня тертя – поверхня тіла, що бере участь у процесі тертя.

Попереднє зміщення – відносно мікрозміщення двох твердих тіл у момент переходу від стану спокою до відносного руху.

Припрацювання – процес переходу трибосистеми до стаціонарного стану, зумовлений зміною геометрії поверхонь тертя, складу та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів тертьових тіл, а також фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів.

Припрацьовуваність – властивість матеріалів тертьових тіл у процесі припрацювання змінювати геометрію поверхонь тертя та фізико-механічні властивості поверхневих шарів, внаслідок чого відбувається зменшення сили тертя і зносу.

Прострибування – явище, що полягає в самочинному чергуванні ковзання і спокою або в чергуванні збільшення і зменшення відносної швидкості ковзання під час тертя руху.

Пристосовуваність – властивість трибосистеми в умовах зовнішнього впливу змінювати і стійко відтворювати свою структуру в енергетично вигідному напрямку.

Стійкість заїдання – властивість трибосистеми працювати без заїдання під навантаженням.

Сила тертя – сила, що чинить опір відносному переміщенню одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, і яка спрямована тангенційно до спільної границі між цими тілами.

Стале тертя – стаціонарний стан трибосистеми, який характеризується динамічною рівновагою та саморегулюванням процесів у трибосистемі, в якому характеристики тертя і зношування залишаються сталими.

Структура трибосистеми – елементи трибосистеми, їхні властивості і зв'язки між ними, що виникають у процесі тертя.

Сумісність в умовах тертя – властивість матеріалів тертьових тіл і мастильного матеріалу разом забезпечувати задані характеристики тертя і зношування та запобігати адгезії в умовах тертя.

Теплостійкість в умовах тертя – властивість трибосистеми працювати без заїдання під час розігрівання.

Тертя кочення – тертя руху, під час якого швидкості тіл однакові за величиною і напрямком, принаймні, в одній точці зони контакту.

Тертя кочення з проковзуванням – тертя руху двох тіл з одночасним тертям кочення і ковзання в зоні контакту.

Тертя ковзання – тертя руху, під час якого швидкості тіл у точках дотику відрізняються за величиною і (чи) напрямком.

Тертя руху – тертя двох тіл, що рухаються одне відносно іншого.

Тертя спокою – тертя двох тіл при відсутності їх руху одне відносно іншого.

Трибологія – наука про явища і закономірності тертя, зношування, мащення та взаємодії двох тіл під час їх переміщення одного відносно іншого.

Триботехніка – сукупність знань про методи і засоби, які використовуються у прикладних галузях трибології.

Трибосистема – сукупність усіх трибоелементів, що беруть участь у терті і зношуванні, їхніх властивостей і зв'язків, параметрів, які впливають ззовні на трибоелементи, а також характеристики тертя та зношування.

Утомне зношування – механічне зношування внаслідок руйнування від втоми в умовах багаторазового деформування мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару.

Фретингове зношування – механічне зношування тіл, що перебувають у контакті, в умовах малих коливальних відносних їх переміщень.

Фретинг-корозійне зношування – механохімічне зношування тіл, що перебувають у контакті, в умовах їх малих коливальних відносних переміщень.

Швидкість ковзання – різниця між швидкостями тіл у точках їх дотику в умовах ковзання.

Шлях тертя – відстань, яку проходить точка поверхні тертя одного тіла по поверхні іншого тіла.

Тертям у широкому значенні слова називають таку взаємодію тіла, що рухається з іншими тілами або навколишнім середовищем, яке супроводжується розсіюванням енергії. Мірою тертя служить кількість енергії, розсіяної на одиницю шляху, вона має розмірність сили і чисельно дорівнює силі тертя, або силі опору середовища. Відношення сили тертя до навантаження називають коефіцієнтом зовнішнього тертя. Часто говорять ще про «тертя спокою», що навряд чи правильно. Адже в цьому випадку тіла нерухомі й енергія не розсіюється, а отже, немає й тертя. Правильніше тут говорити про опір тіла зстриганню з місця, точніше, про ту частину цього опору, яка не пов'язана з подоланням інерції тіла.

Найлегше судити про тертя як про шкідливе явище, на боротьбу з яким за деякими оцінками йде від однієї чверті до однієї третини всієї енергії, яка використовується людиною.

На різних етапах розвитку науки і техніки вченими висувалися різні

теорії для пояснення природи тертя та висувалися гіпотези про перебіг цього явища.

Вихідні теоретичні положення різних гіпотез і теорій, які пояснюють явища тертя і зносу і були висунуті в різні періоди розвитку техніки, зводяться до механічної, молекулярної і молекулярно-механічної взаємодії між поверхнями, що труться, а також енергетичної теорії тертя.

Механічна теорія. В основу механічної теорії тертя твердих тіл покладена теорія пружних і непружних механічних взаємодій елементарних нерівностей, що виникають на поверхнях тертя при ковзанні одного тіла по іншому.

Амонтон на підставі дослідів встановив, що сила тертя пропорційна вазі вантажу G_i не залежить від величини площі торкання:

$$F = f \cdot G, \quad (2.1)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Молекулярно-механічна теорія тертя. *Адгезійна теорія тертя* заснована на висунутому Ф. Боуденом і Д. Тейбором положенні про те, що містки, які вступають у контакт нерівностей, утворюють "містки зварювання" завдяки адгезії на плямах їхнього контакту. Сила тертя F обумовлена опором руйнуванню цих містків при відносному переміщенні контактуючих тіл:

$$F = \frac{\tau}{c \sigma_m} N, \quad (2.2)$$

де τ – напруження зрізу містків зварювання;

c – стала, що приблизно дорівнює 3;

σ_m – границя плинності більш м'якого матеріалу пари тертя;

N – навантаження на деталях.

Залежно від властивостей контактуючих матеріалів зріз містків зварювання може відбуватися по границі розділу нерівностей або по більш м'якому матеріалу. Зі збільшенням нормального навантаження ростуть пластична деформація контактуючих виступів і зближення тіл тертя. У результаті збільшуються розміри і кількість "містків зварювання", що супроводжуються зростанням сили тертя. Отже, сила тертя зростає пропорційно площі фактичного контакту, або навантаженню.

Молекулярна теорія тертя. В її основі лежить положення про те, що тертя обумовлене силами міжмолекулярної або міжатомної взаємодії контактуючих тіл. При терті молекули, розташовані на вершинах нерівностей, що вступають у контакт, зближаються настільки, що виникають сили взаємного відштовхування. З їх віддаленням, викликаним зсувом тіл при терті, виникають сили притягання, які перешкоджають розриву утворених зв'язків. Сукупність таких взаємодій між парами молекул контактуючих виступів обумовлює опір взаємному переміщенню третьових тіл. Таким чином, при ковзанні поверхонь відбувається неперервна зміна пар молекул, що врівноважують нормальний тиск, який супроводжується розсіюванням енергії. Сила тертя розраховується за формулою:

$$F = f(N + p_g A_r), \quad (2.3)$$

де f – коефіцієнт тертя;

p_g – рівнодіюча сила молекулярного притягання на одиницю площі фактичного контакту;

A_r – площа фактичного контакту.

Молекулярно-кінетична теорія тертя. Сутність її полягає в тому, що ланцюг макромолекули контактує з поверхнею сполученого тіла в даній точці обмежений час, а потім перескакує в іншу точку.

При відсутності зовнішньої сили імовірність перескоку ланцюга в будь-якому напрямку однакова, а величина тангенціальної сили знижує потенційний

бар'єр і збільшує імовірність перескакування в напрямку вектора швидкості. Сила тертя в цьому випадку зростає зі збільшенням швидкості ковзання, кількості ланцюгів молекул, які знаходяться в контакті з тілом, енергетичного бар'єра, а також залежить від температури і молекулярних констант полімеру.

Молекулярно – механічна теорія тертя. Відповідно до цієї теорії, тертя має двоїсту природу: молекулярну і механічну, тобто тертя обумовлене подоланням сил молекулярної взаємодії, на плямах фактичного контакту і опором деформованого матеріалу переміщенню j . Отже, сила тертя F повинна складатися з молекулярної F_A і механічної F_d складових.

$$F = F_A + F_d. \quad (2.4)$$

Сили молекулярної взаємодії на плямі контакту викликають утворення фрикційних зв'язків. Для відносного переміщення контактуючих тіл необхідно подолати сили молекулярної взаємодії і розрив молекулярних зв'язків. В міру переміщення, у нерівностей відбувається розрив одних (старих) зв'язків та утворюються нові. Отже, тертя є безперервним процесом руйнування і поновлення молекулярних зв'язків на фактичних плямах контакту A_r . Очевидно, що чим більше кількість плям контакту і їхні розміри, тим вищим повинно бути зусилля, необхідне для відносного переміщення контактуючих тіл. Отже, сила тертя $F_d \sim A_r$.

Друга складова сили тертя (деформаційна) обумовлена опором деформування матеріалу, що прилягає до впроваджених нерівностей рухомого трибоелемента. Проникнувши в поверхневий шар одного тіла, жорстка мікронерівність іншого тіла при збільшенні дотичного навантаження, буде деформувати цей шар.

Молекулярна складова обумовлена опором розриву молекулярних або міжатомних зв'язків, що виникають між контактуючими тілами. Розсіювання роботи тертя в теплоту пов'язане з пружною деформацією кристалічних решіток. Робота зовнішньої сили переходить у потенційну енергію решіток. Після розриву зв'язку потенційна енергія переходить в енергію коливань атомів – у внутрішню.

Механічна складова викликана опором пружного і пластичного відтискування виступів контактуючих тіл, що утворилися при русі поверхонь.

Відповідно до теорії тертя І.В. Крагельського відомо, що на характер руйнування впливають геометричні фактори нерівностей (R , h), механічна складова та фізико-механічні складові τ , δT .

У будь-якому випадку руйнування відбувається по поверхні розділу (плівки) – зовнішнє тертя, або в глибині основного матеріалу – внутрішнє тертя.

Фрикційний зв'язок – кінематичний зв'язок, що накладається на відносне переміщення тіл і реалізується через мікрогеометрію поверхні та адгезію. Залежно від значення адгезії $\tau/\delta T$ та відносної глибини впровадження h/R існують різні фрикційні зв'язки. І.В. Крагельський поділяє їх на п'ять видів (табл. 2.2):

- 1) пружне відтискання матеріалу;
- 2) пластичне відтискання матеріалу;
- 3) зріз впровадженого матеріалу;
- 4) схоплювання плівок, що покривають поверхні твердих тіл, та їх руйнування;
- 5) схоплювання поверхонь, що супроводжується глибинним вириванням матеріалу.

Складність явищ, що відбуваються при терті та зносі, ілюструє схема основних факторів, які необхідно враховувати під час аналізу фрикційної взаємодії твердих тіл (рис.2.1).

Структурно-енергетична теорія тертя. Явища, що мають місце при терті і зношуванні, багато в чому визначаються властивостями матеріалів, з яких виготовлені деталі машин, а також станом їхніх поверхневих шарів. Розглядання цього питання має на меті зосередити увагу до вивчення процесів руйнування поверхонь тертям, які будуть викладені надалі, оскільки для їхнього розуміння необхідно володіти мінімальною сукупністю знань з термодинаміки, фізики твердого тіла і фізичного металознавства.

Види фрикційних зв'язків (за І. В. Крагельським)

Вид	Схема	Характер деформування	Число циклів до руйнування	Умова здійснення
I		Пружне відтиснення матеріалу	$n \geq n_{кр}$	$\frac{h}{R} < 0,01$ (а) $\frac{h}{R} < 0,001$ (б)
II		Пластичне відтиснення матеріалу	$1 < n \leq n_{кр}$	$\frac{h}{R} < 0,1$ (в) $\frac{h}{R} < 0,3$ (г)
III		Мікрорізання матеріалу	$n = 1$	$\frac{h}{R} > 0,1$ (в) $\frac{h}{R} > 0,3$ (г)
IV		Руйнування плівок	$n \geq n_{кр}$	$\frac{d\tau}{dh} > 0$
V		Руйнування основного матеріалу	$n = 1$	$\frac{d\tau}{dh} < 0$

а – чорний метал; б – кольоровий метал; в – сухе тертя; г – мащення



Рисунок 2.1 – Схема факторів, що впливають на фрикційну взаємодію твердих тіл

Тертя є процесом перетворення зовнішньої механічної енергії на енергію внутрішніх процесів, а закономірності цього перетворення визначаються структурним станом матеріалів системи тертя. Нормалізація тертя та зносу є результатом термодинамічної природи цих процесів, їх здатності за дотримання певних умов спонтанно організувати стійкі впорядковані стани.

Вважається, що при терті навантажені ділянки поверхонь одержують енергетичні впливи до $100 \text{ eV}/(\text{атом}\cdot\text{с})$, тобто на рівні руйнування атомних зв'язків. Однак у дійсності частка латентної (накопиченої) енергії, яка створює руйнування, знижується до 4...5 порядків. Це зниження руйнівної енергії, її розсіювання обумовлене дисипативними властивостями поверхневих структур. Виходячи з термінології фізичного металознавства, у трибології їх прийнято називати дисипативними структурами. Сучасні підходи до розуміння явищ, що відбуваються під час тертя, пов'язують ці процеси із самоорганізацією дисипативних структур, досліджуваних синергетикою і термодинамікою нерівноважних процесів.

Прецизійні калориметричні дослідження енергетичного балансу тертя показують, що велика частина роботи зовнішнього тертя перетворюється на теплоту, менша частина йде на зміну внутрішньої енергії поверхневих шарів. Було встановлено, що від умов тертя залежать не тільки сумарна величина роботи тертя, а й співвідношення між основними се складовими – кількістю поглинається енергії ΔE і кількістю теплоти, що виділилася Q .

При порушенні цієї рівноваги виникають явища ушкоджуваності. Додаткова умова, що визначає рівень мінімізації нормального зносу, обумовлена якістю вторинних структур, що утворюються, їх розмірами, властивостями і зв'язком з основним металом.

Класифікація видів зношування. Зношування тертьових тіл варто розглядати як сумарний результат одночасного протікання елементарних актів руйнування і змін властивостей матеріалу, природа яких різноманітна. Це визначає різноманіття видів зношувань, що мають місце на одній і тій же контактній площадці в будь-який заданий момент часу і є причиною розробки

великої кількості класифікацій видів зношування, кожна з яких відрізняється принципом, взятим за основу.

Незважаючи на значну кількість досліджень в області тертя і зношування матеріалів, до цього часу немає єдиної класифікації видів зношування. Найбільш поширені класифікації, запропоновані М.М. Хрущовим, Б.І. Костецьким, І.В. Крагельським, які певною мірою узагальнені в стандартах. На рис.2.2 наведена класифікація видів зношування.

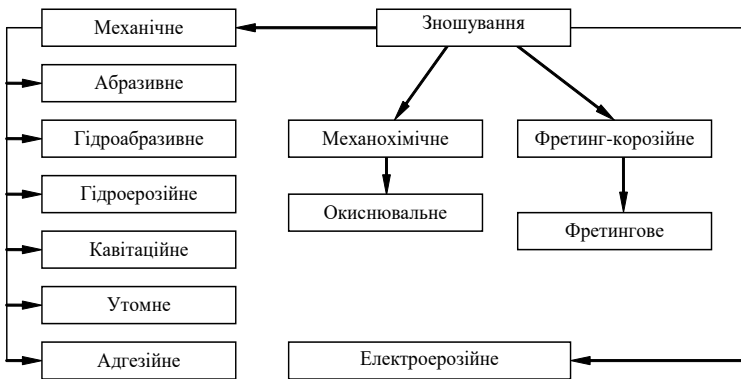


Рисунок 2.2 – Класифікація видів зношування

Механічне зношування відбувається в результаті механічної дії при терті.

Абразивне зношування – це механічне зношування внаслідок різальної або дряпальної дії твердих тіл або частин, яке є найпоширенішим видом зношування сільськогосподарської техніки.

Цей вид зношування реалізується при наявності:

– нерухомо закріплених твердих зерен на поверхні тертя одного з тіл, що спряжуються. Це тверді структурні складового матеріалу елементів пари тертя, частки абразивної шкірки, брусків та іншого інструменту, частки нагару на стінках циліндра двигуна внутрішнього згорання;

– вільних часток, що потрапляють у зону контакту тертьових тіл (оксидні плівки, частки зносу, пилу);

– незакріплених часток, які передають тиск маси (абразивні частки в ґрунті, гірських породах, насипних вантажах при їх транспортуванні), що деформується.

В абразивному середовищі процес зношування характеризується мікрорізанням і багаторазовим пластичним деформуванням одних і тих же мікрооб'ємів металу, у результаті якого має місце втомлюване руйнування поверхневого шару.

У випадку абразивного зношування лінійний знос, пропорційний питомому навантаженню і шляху тертя, значно залежить від твердості матеріалу, а також твердості та розміру зерен абразиву. Але пряма пропорційність зносу і питомого навантаження справедлива лише за певних умов (закріплений абразив). У загальному випадку знос пропорційний питомому навантаженню в ступені, більшому одиниці.

Гідроабразивне і газоабразивне зношування – абразивне зношування в результаті дії твердих тіл або твердих частинок, які забираються відповідно потоком рідини (наприклад, зношування лопаток насоса, що подає воду, яка містить пісок) або газу.

При гідро- і газоабразивному зношуванні також діє механізм розглянутого вище абразивного зношування, але з меншою інтенсивністю внаслідок менших питомих навантажень на матеріал.

Гідроерозійне зношування – механічне зношування поверхні в результаті дії потоку рідини.

Газоерозійне зношування – механічне зношування поверхні в результаті дії потоку газу. Гідро- і газоерозійне зношування часто поєднуються з іншими видами зношування.

Кавітаційне зношування – механічне зношування під час руху твердого тіла відносно рідини, за якого бульбашки газу лопаються біля поверхні, що створює місцевий високий питомий тиск або високу температуру.

Кавітація виникає там, де порушується суцільність відносного потоку рідини, у результаті чого утворюються порожнини, заповнені повітрям або паром.

До *утомного зношування* відносять випадки, коли при роботі трибосистем відсутні аномальні ушкодження (схоплювання, задир, мікрорізання, припикання поверхонь тощо), тертя протікає в нормальних умовах, з мастильним матеріалом, але внаслідок тертя матеріал поверхневого шару «утомлюється» і починає відокремлюватися у вигляді часток зносу. Тут можна провести аналогію з поняттям «утомна міцність».

Розрізняють утомне зношування двох видів: багатоциклічне і малоциклічне. Багатоциклічне зношування виникає при пружному контактуванні. Багаторазовий вплив на мікровиступ призводить до поступового нагромадження мікрodefektів, утворення мікротріщин, при злитті яких утворюються поверхневі макротріщини, які викликають руйнування матеріалу і відділення часток зносу.

Зношування при фретингу – механічне зношування контактуючих тіл при малих коливальних відносних переміщеннях.

Адгезійне зношування – це явище утворення міцних сполук у зонах фактичного контакту тертьових тіл, глибинного виривання матеріалу одного тіла і переносу на поверхню тертя іншого, яке супроводжується зміною їхніх лінійних розмірів.

Адгезійне зношування спостерігається в зубчастих і зубчато-гвинтових передачах; тяжко навантажених підшипниках ковзання; підшипниках кочення; парах тертя плунжер – втулка, циліндр – поршневе кільце, напрямні металорізальних верстатів – супорт; у трибосистемах, які експлуатуються у вакуумі або інертному середовищі; у сполученнях, що експлуатуються при високій температурі (ролики прохідних печей, прокатних верстатів, деталі гальмових пристроїв).

Механічно-хімічне зношування є результатом механічної дії при терті, яке супроводжується хімічною і (або) електрохімічною взаємодією матеріалу із середовищем.

Окислювальне зношування є окремим випадком механохімічного. Протікає воно в умовах, коли метал вступає в хімічну реакцію з окислювачами

навколишнього середовища або мастильного матеріалу. Кисень повітря, взаємодіючи з металом, утворює на ньому окисну плівку, яка значно впливає на процес тертя. У випадку тертя в умовах мащення метал окислюється киснем, розчиненим у маслі. Окисні плівки у місцях контактування поверхонь захищають метали від безпосереднього наближення до відстані, при якій можливе схоплювання. Під час тертя окисні плівки поступово стираються або, відриваючись, видаляються мастилом. Потім окисні плівки утворюються знову. Таким чином, окисне зношування представляє собою зношування безперервно відновлюваних окисних плівок.

Зношування при фретинг-корозії – це процес руйнування поверхонь тертя при малих циклічних переміщеннях спряжених тіл, який супроводжується зміною лінійних розмірів цих тіл.

Цей процес виявляється як сильно виражений процес окиснювання і схоплювання матеріалів третьових тіл, що локалізується на невеликих ділянках контакту і супроводжується їх утомним і абразивним зношуванням.

Електроерозійне зношування виникає в результаті дії на поверхню тертя розрядів при проходженні електричного струму.

У реальних умовах роботи спряжених деталей частіше за все поєднуються ті або інші види зношування.

Приблизне уявлення про швидкості зношування можна одержати з таких даних, мкм/год: окисне зношування – 0,1-0,5, абразивне – 0,5-5,0, адгезійне зношування – 10-15.

Швидкість зношування суттєво знижується в умовах тертя при наявності мащення. Мащення за типом поділу поверхонь тертя мастильним шаром поділяється на три основні види: гідродинамічне (повний поділ поверхонь тертя здійснюється в результаті тиску, що виникає в шарі рідини при відносному русі поверхонь), граничне (зношування і тертя між поверхнями, що рухаються одна відносно іншої, визначаються властивостями поверхонь і мастильного матеріалу, відмінними від об'ємної в'язкості) і змішане (здійснюється частково гідродинамічне, частково – граничне мащення).

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЗМІНИ ВИХІДНОГО ПАРАМЕТРУ. ДОПУСТИМИЙ І ГРАНИЧНИЙ СТАН СПОЛУЧЕННЯ

Зв'язок між ступенем пошкодження та вихідними параметрами машини.

Вплив макро- і мікроструктури матеріалу деталей на їх експлуатаційні властивості. Загальні закономірності процесу зношування і методи визначення зносу. Допустимі і граничні зношування деталей і спряжень. Критерії оцінки граничного стану по вихідному параметру. Регламентация граничного стану у нормативно-технічній документації.

Залежно від виду і якості обробки деталі, формування властивостей, на поверхні тертя з'являються різні макроструктурні зміни, які уповільнюють або прискорюють процес зношування металу. На інтенсивне руйнування робочого шару деталі і знос впливають концентратори напружень. Вони можуть бути пов'язані з наявністю глибоких рисок або із структурою металу (великі неметалічні включення, пори, раковини, тріщини тощо).

Великий вплив на стійкість проти зношування має мікроструктура матеріалу деталей, фазовий склад і фізичний стан поверхневого шару. Мінімальну стійкість проти зношування мають матеріали з переважно феритною або феритно-перлітною структурою, а максимальну – матеріали з бейнітною і мартенситною основою, включеннями цементиту і спеціальних карбідів.

Високу стійкість проти зношування мають високоміцні і спеціальні чавуни (леговані нікелем, хромом, молібденом), у яких є до 20 % карбідної фази, бейнітна матриця і включення графіту. Останні характеризуються змащувальною дією. Такі матеріали відрізняються низьким коефіцієнтом тертя.

Під час експлуатації, залежно від величини діючих навантажень, швидкості ковзання і температурних умов тертя, на поверхні формуються особливі структури. У початковий період експлуатації структурні зміни

відбуваються на електронному рівні: збільшується щільність дислокацій, потім відбувається їх упорядкування. Поява таких структур призводить до зміни мікроструктури. Надлишкові фази виділяються на ділянках скупчення дислокацій. Це, у першу чергу, вуглець (карбіди, нітриди), окисли, які спричиняють порушення суцільності поверхневого шару і викришування окремих ділянок.

У процесі тертя тонкий поверхневий шар деталей піддається нагартуванню, величина якого оцінюється за зміною рівня мікротвердості фази. Чим структурна складова м'якша, тим більший ступінь її зміцнення. Глибина нагартованого шару залежить від величини питомого тиску і, як правило, не перевищує 0,5-0,8 мм. У твердих фазах (карбіди, цементит) наклепування незначне, а дія великих питомих тисків виявляється у формуванні дислокаційних сіток і субграниць.

Крім того, можлива поява на поверхні тертя «білих» шарів, які не піддаються травленню, але можуть мати подвійну природу: сформовані під дією високих питомих тисків і підвищених температур представляють собою ультрадисперсний (дуже дрібний) конгломерат фаз, включаючи карбіди, карбонітриди; сформовані в результаті хімічної взаємодії металу з киснем і утворенням високотвердих окислів.

Такі структурні зміни на поверхні тертя призводять до поступового її руйнування. Ось чому перед ремонтом і відновленням поверхневого шару деталей потрібно усунути пошкоджені зони, які можуть стати причиною руйнування при подальшій експлуатації або навіть під час ремонту (наплавлення, напилювання тощо).

Суттєвий вплив на експлуатаційні показники деталей має і рівень розтягуючих напружень. Чим він вищий, тим більша схильність робочого шару деталей до пошкоджень. Рівень розтягуючих напружень особливо високий при відновленні деталей наплавленням, напилюванням, поверхневим загартуванням. Для зменшення таких напружень проводять релаксаційне відпалювання. Після відновлення деталь піддають поверхневому нагартуванню. При цьому поліпшується макроструктура (зменшується пористість).

Процес зношування є незворотним монотонним процесом із поступовим нагромадженням зносу, який можна уявити у вигляді інтегральної функції:

$$U(t) = \int_0^t v(t) dt, \quad (3.1)$$

де $U(t)$ – нагромаджений знос за час t ;

$v(t)$ – швидкість процесу зношування, яка у загальному випадку може залежати від часу зношування.

На зміну швидкості зношування за часом можуть впливати форма спряжених поверхонь, їх шорсткість, постійне або переривне контактування поверхонь у процесі роботи механізму тощо.

Динаміка зношування. На рис. 3.1 наведені варіанти кривих динаміки зношування поверхні пари тертя.

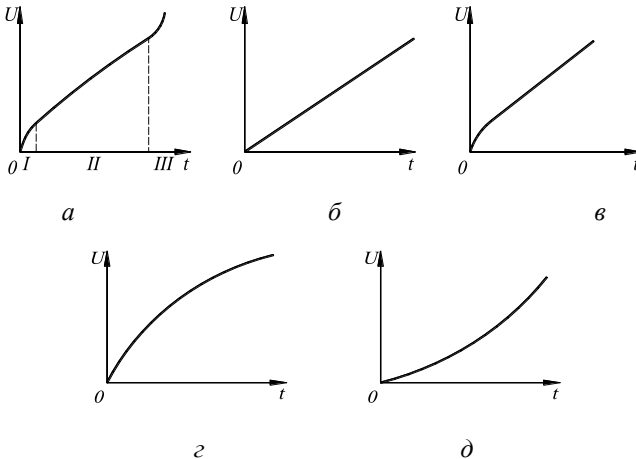


Рисунок 3.1 – Криві динаміки зношування

Розглянемо найбільш загальний варіант (рис.3.1,а) – типову криву, яка складається з трьох характерних ділянок:

I – характеризує початкову роботу спряження, коли найбільш виразно

відбувається процес зміни геометрії (шорсткості) поверхонь тертя і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу, які проявляються при постійних зовнішніх умовах у зменшенні роботи тертя, температури та інтенсивності зношування. Цей початковий період визначає процес припрацювання пари тертя;

II – характеризує нормальну роботу спряження. У цей період відбувається поступове нарощування зносу, який має у ряді випадків сталий лінійний характер (швидкість зношування в середньому постійна);

III – характеризує інтенсивне, форсоване нарощування зносу. Робота спряження при цьому може супроводжуватися з'явленням різного роду шумів та стуків і навіть призвести до руйнування деталі, тобто при досягненні третього періоду подальша робота спряження недопустима.

Найбільш характерні графіки динаміки зношування наведені на рис. 3.1 *б, в, г, д*, де:

б – лінія, характерна для абразивного зношування деталей сільськогосподарських машин (леміш плуга, шарніри ланцюгів транспортера тощо);

в – крива, характерна для зношування шийки вала, спряженої із сальником, а також для рухомих спряжень при таких умовах роботи, коли зазор постійно вибраний в один бік (наприклад, ролик штовхача паливного насоса, спряжений з віссю);

г – крива, характерна для спряжень, що працюють при великих питомих навантаженнях, які збільшуються із збільшенням зазору (наприклад, колінчастий вал – підшипник);

д – крива, характерна для зношування деталей внаслідок втомлюваних руйнувань поверхневих шарів металу (бігові доріжки кілець підшипників кочення, зуби шестерень тощо). У початковий період зношування практично не відбувається, оскільки відбувається нагромадження дефектів втомленості структури металу, які потім призводять до форсування відокремлення частинок, тобто до зношування.

Як відомо, процес зношування відноситься до категорії випадкових процесів, що призводить до розсіювання часу роботи однакових деталей до їх граничного стану, тобто до розсіювання ресурсу деталей.

Оцінка фактичного ресурсу деталей (вузлів, агрегатів машин) та його імовірні характеристики (середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс тощо) мають велике значення, оскільки інформація, отримана під час таких досліджень, є вихідною для виявлення резервів підвищення ресурсу виробів.

Оцінка довговічності деталей і спряжень зводиться до пошуку функції розподілу ресурсу, яку знаходять за даними спеціально проведених експлуатаційних або прискорених випробувань.

Вихідними даними для оцінки довговічності деталей є також результати мікрометражного вимірювання деталей машин, які надходять у капітальний ремонт (ремонтна інформація). Наробіток таких машин має випадковий характер. За сукупністю значень двомірної випадкової величини (знос-наробіток) виконуються статистичні розрахунки (кореляційно-регресивний аналіз) і оцінюється ресурс деталей.

На кафедрі СІТММБ ДБТУ тривалий час проводились дослідження для оцінки ресурсу дизельних 4-циліндрових двигунів, які експлуатувались в умовах господарств. Було встановлено, що використання стандартних статистичних методів для обробки такої інформації не коректно, оскільки вона не повною мірою відповідає вимогам, які ставляться до випадкових вибірок. У зв'язку з цим був прийнятий варіант дослідження із застосуванням методів статистичного моделювання. У моделі були враховані випадкові виробничі (неоднорідність початкових якостей деталей) і експлуатаційні (нестабільність умов експлуатації) фактори. За цими ознаками моделі процесу зношування поділяються на три види: віяловий процес (враховує тільки розсіювання початкових властивостей деталі), процес із сильним перемішуванням (враховує тільки мінливість експлуатаційних факторів) і процес із слабким перемішуванням (враховуються обидва фактори). Ознакою поділу цих процесів є поведінка їх дисперсій за часом.

Була прийнята статистична дискретна лінійна модель процесу зношування:

$$U(t_i, k) = \sum_{i=1}^k b(1 + V_{\xi} z_{\xi i}) \cdot (1 + V_{\mu i} z_{\mu ij}) \Delta t_j, \quad (3.2)$$

де $U(t_i, k)$ – знос i -ої реалізації у момент часу t ; b – середня швидкість зношування (за даними вихідної інформації); V_{ξ} і $V_{\mu i}$ – коефіцієнт варіації випадкових величин ξ і μ_i ; ξ_i – центрована випадкова величина середньої швидкості зношування для одної реалізації b_i відносно загальної швидкості; b_j μ_{ij} – центрована випадкова величина з нутування. b_{ij} (i -ої реалізації в j -му інтервалі наробітку) відносно b_i ; $z_{\xi i}$ і $z_{\mu ij}$ – нормовані випадкові величини, розподілені за будь-яким законом (генеруються на ЕОМ); Δt_i – інтервал наробітку.

Моделювання виконувалось за розробленою програмою на ЕОМ. При заданому значенні граничного зносу ЕОМ формує реалізацію (за попередньо прийнятим параметром моделі), видає вибірку ресурсів за кожною реалізацією і розрахункові значення гамма-відсоткових ресурсів (значення гамма задаються).

Результати досліджень були використані для виявлення резервів підвищення довговічності двигунів і конструктивно-технологічних рішень.

Методи визначення зносу деталей. *Мікрометражне вимірювання* деталей – найпоширеніший метод, який застосовується для виявлення динаміки зношування деталей, дослідження характеру зношування робочих поверхонь (топографія зносу).

Для мікрометражного вимірювання деталей використовуються універсальні та спеціальні вимірювальні мікрометричні засоби. Величина приросту зносу визначається як різниця розмірів поверхонь деталей до і після зношування.

Метод має свої недоліки: потрібно розібрати вузол, важко повторити вимірювання в одних і тих же точках, неможливо виділити із загальної

величини ту частину зносу, яка відбулася внаслідок пластичної деформації.

Зменшення і навіть усунення вказаних недоліків в окремих випадках може досягатися проведенням спеціальних статистичних випробувань без проміжного розбирання, застосуванням спеціальних пристроїв для забезпечення повторюваності вимірювань у тих же місцях.

Профілографування поверхонь проводять спеціальними приладами – профілографами, які дають можливість графічно записати фактичний рельєф зношеної поверхні.

Метод штичних баз застосовується у двох варіантах: за допомогою відбитків і вирізання лунок. У першому випадку на поверхню тертя натисканням наносять заглиблення строго визначеної форми (конус, піраміда). За зменшенням заглиблення, яке окремо вимірюють на відбитку у плані до і після зношування, визначають величину зносу. У другому випадку на поверхні тертя тригранним алмазним різцем, що обертається, нарізають лунки. У цьому разі, на відміну від попереднього способу, немає напливів від тиснення.

Визначення зносу за втратою маси є інтегральним методом, оскільки встановлюється загальний знос поверхні деталі. Вимірювання проводиться шляхом зважування деталей до і після зношування. Застосовується метод для деталей невеликих розмірів із використанням аналітичних терез з ціною поділки 10^{-4} г.

Визначення зносу за вмістом продуктів зношування у маслі проводиться за відібраною пробєю масла (наприклад, з картера двигуна), яке спалюється. За допомогою хімічного або спектрального аналізу золи спаленого масла визначають вміст металу. Перевага методу у тому, що він не потребує розбирання вузла чи агрегату, недолік – неможливо визначити кількісний знос окремих деталей.

Визначення зносу за допомогою радіоактивних ізотопів проводять за такою схемою: у досліджуваній зразок (деталь) вводять радіоактивний ізотоп. У процесі зношування маслом виносяться продукти зношування разом із радіоактивним ізотопом, які проходять через лічильник імпульсів, що вимірює

радіоактивність мастила, яка збільшується по мірі зносу деталі. Цим способом можна визначити динаміку зношування без розбирання, але без даних про розподіл зносу по поверхні. Спосіб потребує спеціального обладнання.

Під час ремонту має бути відновлена не тільки працездатність (або справність) машини, але й її міжремонтний ресурс. Тому у машині залишають для подальшої експлуатації тільки ті деталі і спряження, залишковий ресурс яких дорівнює або перевищує міжремонтний ресурс агрегату або машини. У зв'язку з цим граничний стан деталей і спряжень під час ремонту набуває трохи іншого змісту і визначається як допустиме при ремонті (або просто допустиме) значення параметру стану.

Таким чином, допустимим значенням параметру стану називається таке його значення, за якого залишковий ресурс деталі або спряження дорівнює міжремонтному ресурсу окремого елемента (вузла, агрегату) або машині цілому.

Граничний стан за ступенем пошкодження та вихідним параметром. Граничний стан характеризує вихід виробу з галузі працездатності. Це відноситься як до машини в цілому, так і до всіх вузлів, деталей і елементів зокрема.

Вимоги до виробу з точки зору точності функціонування, забезпечення технічних характеристик, безпеки експлуатації, впливу на довкілля, ефективності роботи та інших показників обумовлюються, як правило, у технічних умовах. При досягненні граничного стану подальша експлуатація виробу має бути припинена, оскільки виникає потреба у технічному обслуговуванні чи ремонті.

У всіх розглянутих моделях відмов вважається, що гранично допустиме значення параметра X_{max} відоме. Однак встановлення нормативів і розрахунків X_{max} є складним завданням, що вимагає спеціального методичного підходу.

Однак для оцінки надійності складного виробу та для забезпечення необхідних нормативно-технічних показників необхідно встановити гранично допустимі значення всіх параметрів елементів і деталей, від яких залежить

працездатність виробу в цілому.

Слід мати на увазі, що гранично допустимий стан може бути встановлений як для ступеня пошкодження виробу (U_{\max}), так вихідного параметра X_{\max} . Хоча X і U пов'язані функціональною залежністю, оцінка граничного значення для кожного з цих показників має сенс.

При цьому можуть бути три основні випадки взаємозв'язку X_{\max} та U_{\max} ;

- вихідний параметр визначає (в основному) один із видів пошкодження:

$$X_{\max} = k U_{\max} \quad (3.3)$$

- вихідний параметр визначається сумарним пошкодженням елементів з урахуванням їхнього впливу через деяке передаточне відношення k :

$$X_{\max} = \sum k_i U_{i_{\max}} \quad (3.4)$$

- вихідний параметр пов'язаний складною функціональною залежністю із граничними пошкодженнями елементів:

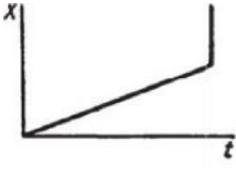
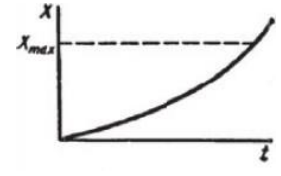
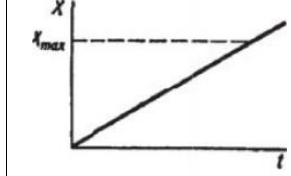
$$X_{\max} = \phi(U_1; U_2; \dots; U_n) \quad (3.5)$$

Таким чином, граничний стан за ступенем пошкодження (U_{\max}) повинен призначатися виходячи з допустимих відхилень вихідного параметра X_{\max} та враховувати залежність між X та показниками ступеня пошкодження елементів виробу U .

Основним критерієм граничного стану виробу є екстремальне значення параметра, яке допускається технічними умовами. Однак сам хід процесу зміни вихідних параметрів та наявність зон їх різкого зростання також є критеріями для встановлення максимально допустимих значень X_{\max} .

Можливі три основні групи критеріїв (табл.3.1).

Критерії граничного стану

Вид ушкодження			
	1-а група	2-а група	3-я група
Втрата міцності та жорсткості	Крихке руйнування деталі	Втомне руйнування поверхні	Деформація в межах пружності
Теплові деформації	Виникнення теплових тріщин	Деформація із виникненням пластичних зон	Деформація без зміни стану матеріалу
Корозія	Наскрізна корозія ємності	Втрата несучої здатності деталі	Окислення поверхні
Знос	Поломка внаслідок зношування	Зміна виду зношування	Спотворення форми поверхні тертя

1. Перша група – в результаті зношування або інших пошкоджень відбувається стрибкоподібна зміна стану виробу, і вона перестає функціонувати. Наприклад, втрата герметичності резервуара при корозії, заклинювання механізму при його зносі, поломка деталі через тендітне руйнування і т.д.

Тут, як правило, важко судити за вихідним параметром про близькість до

граничного стану, і доцільніше регламентувати максимально допустимий ступінь пошкодження U_{max} .

2. Внаслідок процесу пошкодження є зона інтенсивного зростання вихідних параметрів виробу – зростання вібрацій, температури, шуму. Тут, навіть якщо ці параметри ще перебувають у допустимих межах, необхідно встановити значення X_{max} , що відповідає початку інтенсифікації процесу втрати працездатності.

3. Основний випадок призначення X_{max} – коли процес пошкодження не має екстремальних зон та вихідні параметри визначаються встановленими на виріб технічними умовами.

Якість будь-якого виробу характеризується кількісними показниками його властивостей, які є вихідними параметрами.

Ефективність роботи машини визначається її призначенням. Прогрес техніки пов'язаний із зростанням швидкостей, навантажень, температур, точності, продуктивності та інших експлуатаційних показників машин.

Небезпека подальшої експлуатації машини може обмежити значення окремих параметрів, хоча ефективність цієї роботи може бути при цьому досить високою.

Шкідливий вплив на довкілля. Ряд обмежень на вихідні параметри машини може бути не пов'язані з її ефективністю, проте ці показники надають неприпустимий вплив на довкілля.

Трудомісткість відновлення. Зміна вихідного параметра в допустимих умовах експлуатації межах може іноді призвести до такого ступеня пошкодження виробу, при якій відновлення втраченої працездатності буде пов'язане з підвищеною трудомісткістю.

Технічні умови на вихідні параметри різних машин і агрегатів є основою для призначення допусків на граничні стани для вузлів і деталей, що входять до виробу.

При призначенні технічних умов на граничні стани вихідних параметрів виробу вибираються ті, зміна яких можлива в процесі експлуатації.

Максимально допустиме значення вихідного параметра випадкова величина. У всіх розглянутих вище випадках гранично допустиме значення параметра було детермінованою (невипадковою) величиною, оскільки визначалося конкретними вимогами до виробу. Однак в окремих випадках X_{max} може бути випадковою величиною, що має дисперсію. Це матиме місце, коли оцінюється конкретна вимога споживача до виробу та його параметрів.

У всіх цих випадках допустиме значення вихідного параметра характеризуватиметься математичним очікуванням та дисперсією, а схема виникнення відмови визначатиметься ймовірністю перетину двох областей – області можливого існування параметра (область станів) та області працездатності.

Можна відзначити, що гранично допустимі значення кожного вихідного параметра X_{max} встановлюються на підставі ТУ до експлуатаційних характеристик виробу або виходячи із закономірностей його зміни, з урахуванням вимог до працездатності інших елементів або впливу даного показника на довкілля.

Граничні величини зношування та терміни служби деталей. При встановленні граничних зносів необхідне виконання регулювальних операцій та вибракування деталей під час експлуатації і ремонті.

Граничні параметри деталей не можуть змінюватися і бути призначені довільно.

Застосування того чи іншого критеріїв залежить від призначення машини та її вузла чи механізму. При цьому один із критеріїв матиме основне значення, інші можуть бути допоміжними або контрольними.

Для визначення граничних величин зношування керуються трьома критеріями: технічним, функціональним та економічним.

Відповідно до *технічного критерію*, граничним значенням вимірювача зносу є значення, якому відповідає: початок різкого зростання інтенсивності зносу; гранично допустиме зниження міцності деталі, що зношується внаслідок зміни її розмірів; що виходить за межі допустимого впливу зносу робочого

органу або деталей сполучення на працездатність інших деталей; самовимкнення механізму із роботи.

За цим критерієм встановлюють граничні параметри деталей і спряжень з урахуванням міцності, характеру зміни діючих навантажень, умов тертя, теплової напруженості, властивостей поверхонь тертя тощо. При цьому граничні параметри деталей визначаються моментом різкого підвищення інтенсивності зношування або припиненням роботи механізму

Підставою для функціонального критерію є зміна зі зносом якості функцій, що виконуються вузлом або машиною. Відхилення розмірів профілю прокату від номінального внаслідок зношування валків, похибки форми обробленого на металорізальному верстаті виробу, продуктивність компресора при заданому тиску на виході – приклади показників якості.

За ним граничні параметри деталей і спряжень встановлюються, виходячи з норм на зміну показників якості роботи машини або її агрегатів та вузлів. Цей критерій може бути основним для робочих органів сільськогосподарських машин і механізмів, які керують ними, оскільки головним призначенням їх деталей і спряжень є забезпечення певної якості роботи (допустимі коливання за глибиною оранки, нерівномірність висіву насіння тощо).

Як було встановлено з розгляду технічного критерію, форсоване зношування елемента або сполучення наприкінці його служби не завжди є єдиною підставою для висновку про їх непридатність до подальшої роботи.

Економічні показники роботи машини покладено основою третього критерію. Найменші витрати на одиницю виробітку при збереженні якості в заданих межах є економічним критерієм оптимального терміну служби, міжремонтного періоду, робочого органу або вузла машини. Найбільша експлуатаційна продуктивність машини при збереженні якості виробітку в заданих межах – друге формулювання критерію.

У більшості випадків основні деталі досягають свого граничного стану не тому, що знос викликає небезпеку їх поломки, а тому, що із збільшенням зазорів у спряженнях погіршуються робочі параметри двигуна (знижується

потужність, збільшується питома витрата палива тощо), а значить і знижується продуктивність машини та збільшуються витрати експлуатаційних матеріалів, що впливає на економічність.

Одним із поширених параметрів економічного критерію граничного стану вузла, агрегату або машини є оптимальна довговічність, тобто такий ресурс або строк служби, за якого досягається мінімум витрат на її придбання, експлуатацію і ремонт, що припадають на одиницю продукції або одиницю наробітку (рис.3.2).

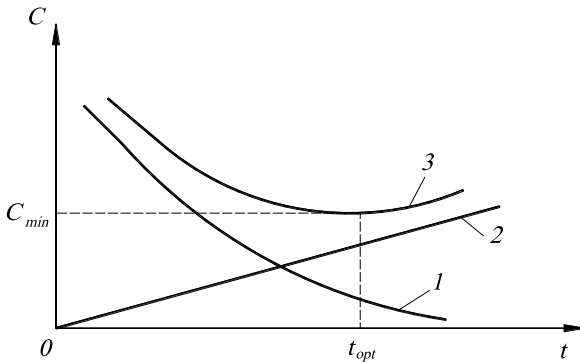


Рисунок 3.2 – Схема визначення економічно оптимального ресурсу машин:
питомі витрати: 1 – амортизаційні, 2 – експлуатаційні; 3 – сумарні

Експлуатація машини після оптимального часу t_{opt} , а відповідно і її зношування, викликає таке збільшення витрат, які можуть бути прийняті як граничні.

Найбільш загальною характеристикою граничного зносу, наприклад валу в підшипнику, може бути максимально допустимий зазор у місці найбільшого вироблення (рис.3. 3).

Міжремонтний термін служби з урахуванням фізичного зношування припрацьованого з'єднання у разі рівномірного зношування пари визначиться з виразу:

$$t_c = (\Delta_{max} - \Delta_0) / 2 \operatorname{tga} , \quad (3.6)$$

де Δ_{max} – максимальний допустимий зазор;

Δ_0 – зазор після підробітку;

tga – величина, що характеризує ступінь наростання зносу у процесі експлуатації.

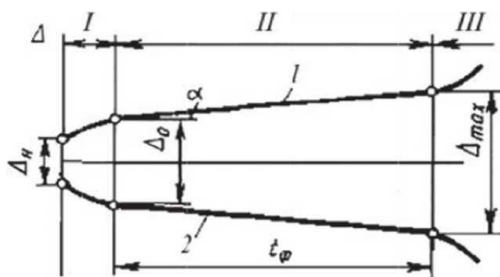


Рисунок 3.3 – Зміна зазору в залежності від часу роботи в результаті зносу валу (крива 1) та підшипника (крива 2)

Величина tga у разі ремонту валу залежить від обраного способу ремонту, встановлюється дослідним шляхом і залежить від початкового зазору, якості поверхні деталей, що труться, умов експлуатації та інших факторів.

Таким чином, допустимим значенням параметра стану називається таке його значення, за якого залишковий ресурс деталі або спряження дорівнює міжремонтному ресурсу окремого елемента (вузла, агрегату) або машини в цілому.

До параметрів граничного (допустимого) стану деталей і спряжень відносяться граничні значення зазору у спряженнях, розміру або зносу елементів деталі, похибки форми (овальність, конусоподібність тощо) і взаємного розміщення осей та поверхонь (неспіввісність, радіальне биття тощо), а також параметрів пружності пружин, поршневих кілець тощо.

Значення параметрів граничного (допустимого) стану деталей і спряжень обумовлюються в технічній документації. Для ремонту машин такою документацією є технічні вимоги на дефектацію для конкретної марки машини.

Граничні і допустимі значення геометричних та інших параметрів можуть бути встановлені шляхом: теоретичних розрахунків; масового мікрометражного

вимірювання деталей, які надійшли на ремонт, і відповідного статистичного аналізу даних; спеціальних випробувань (прискорених або експлуатаційних); порівняння з попередньою конструкцією (на першому етапі виробництва нової машини).

Приклад обробки результатів вимірювань. Результати вимірювання контрольованих поверхонь записували в порядку їх отримання у вигляді фактичних значень. Потім визначали розмах розсіювання виміряної випадкової величини за формулою:

$$R = X_{max} - X_{min}, \quad (3.7)$$

де X_{max} і X_{min} - максимальне та мінімальне значення виміряної величини відповідно.

Для визначення центру групування значень випадкової величини визначали середню величину \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{N}, \quad (3.8)$$

де x_i - значення випадкової величини;

m_i - частота;

N - обсяг вибірки.

Розсіювання вибірових значень навколо їхньої середньої величини характеризується емпіричною дисперсією S^2 .

$$D = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{x})^2}{N}. \quad (3.9)$$

Середньоквадратичне відхилення випадкової величини визначали за такою формулою:

$$\bar{S} = \sqrt{S^2}. \quad (3.10)$$

Наскільки велике розсіювання проти середніх значень випадкової величини визначали з допомогою коефіцієнта варіації:

$$U_x = \frac{\bar{S}}{\bar{X}}. \quad (3.11)$$

Після цього проводили вирівнювання емпіричного розподілу за гіпотетичними теоретичними законами. Для цієї мети виходячи з умов або ознак, за яких слід очікувати появу найбільш поширених у техніці функцій, вибирали відповідні для кожного конкретного випадку.

У розглянутому випадку вирівнювання проводили за трьома законами:

- нормальний закон:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}; \quad (3.12)$$

- логарифмічний нормальний закон:

$$\varphi(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \ln x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - a \cdot \ln x)^2}{2\sigma^2 \cdot \ln x}}; \quad (3.13)$$

- закон Вейбулла:

$$\varphi(x) = b \cdot \lambda \cdot x^{b-1} \exp(-\lambda \cdot x^b) \quad (3.14)$$

Визначення коефіцієнта придатності у разі нормального розподілу випадкової величини здійснювали виходячи з курсу теорії ймовірності нормованої функції Лапласа:

$$P_T(z_1 \leq z \leq z_2) = \Phi_0(z_2) - \Phi_0(z_1) = \Phi_0\left(\frac{x_2 - \bar{x}}{S}\right) - \Phi_0\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{S}\right), \quad (3.15)$$

де x_1 і x_2 – відповідно найбільший та найменший допустимі без ремонту розміри. Розмір ймовірності придатності буде відповідати ймовірному відсотку деталей придатних для подальшого використання, тобто коефіцієнту придатності:

$$P_T = K_T \quad (3.16)$$

Коефіцієнти відновлення деталей відповідають ймовірному відсотку деталей, що потребують даного дефекту відновлення.

Значення коефіцієнта відновлення визначалося за такою формулою:

$$K_T = P_B = 1 - P_T. \quad (3.17)$$

Коефіцієнт повторюваності дефекту визначався за формулою:

$$K = \frac{N}{n}, \quad (3.18)$$

де N – кількість однойменних дефектів на деталі;

n – кількість деталей.

РОЗДІЛ 4

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Втрата працездатності машин через порушення технології їх виготовлення й експлуатації. Несправності деталей і агрегатів. Особливості та доцільність капітального і поточного ремонту. Порівняльний аналіз ремонтного виробництва. Механізм впливу режимів і зовнішніх умов експлуатації на знос деталей машин. Втрата працездатності машин через порушення технології їх виготовлення й експлуатації

У процесі експлуатації технічний стан машин безупинно змінюється, внаслідок чого погіршуються техніко-економічні показники роботи цих машин: знижується потужність, збільшуються витрати палива й мастила, зростає число простоїв через окремі поломки (відмови).

Основні причини погіршення технічного стану машин – порушення початкових регулювань, ослаблення кріплень у з'єднаннях і зміна зазорів та натягів у з'єднаннях внаслідок зношування деталей.

Правильне й своєчасне регулювання механізмів, систем та агрегатів машин дуже важливе для підтримання їх працездатності. Так, зменшення кута випередження впорскування палива на 2° або збільшення його на $5...6^\circ$ проти нормального для дизеля знижує потужність на 2,2 кВт і збільшує витрату палива на 27 г/квт-год. Відповідне регулювання зазору в клапанах попереджає зниження потужності на 1,5...3 кВт і збільшує витрату палива на 19...22 г/квт-год.

Порушення зазорів між підшипниками й шейками колінчастого валу двигуна, зубами конічних шестерень, осьового зазору в конічних й радіального в кулькових і роликів підшипниках, а також порушення (збільшення) зазорів у точних з'єднаннях (деталі шатунно-поршневої групи, плунжерні пари й ін.) приводять до падіння потужності двигуна, перевитраті палива й до зниження ефективності використання машини.

Ослаблення кріплення з'єднань викликає додаткову вібрацію й динамічні навантаження на деталі, а також порушення співвісності між окремими агрегатами. Наприклад, порушення співвісності в машинах між колінчастим валом двигуна й первинним валом коробки передач, валом заднього мосту й ведучими шестернями супроводжується підвищеним нагріванням і швидким руйнуванням деталей цих спряжень і з'єднань.

Умови, що значно впливають на зношування деталей і вузлів машини: температура навколишнього повітря, якість застосовуваного палива й мастильних матеріалів, склад ґрунту, рівномірність навантаження в процесі роботи, своєчасність і якість виконання технічного обслуговування й експлуатаційних ремонтів.

Пуск непрогрітого двигуна й робота при зниженій температурі збільшують зношування всіх його деталей у кілька разів. Тому двигуни перед пуском необхідно прогрівати, а повне навантаження можна давати тільки після прогріву до нормальної температури.

У холодну пору року необхідно застосовувати паливо й мастильні матеріали зниженої в'язкості з відповідними присадками, що рекомендуються технічними умовами.

Застосування палива й мастильних матеріалів, що не відповідають технічним умовам для машини даної марки, або порушення їх температурного режиму неминуче викликає підвищене зношування деталей. Робота двигуна при зниженій температурі спричиняє зношування деталей шатунно-поршневої групи в десятки разів більше, ніж при роботі в нормальних умовах. Зношування деталей двигуна при роботі на паливі зі змістом сірки до 0,8% і температурі охолоджувальної рідини 35°C у 4 рази вище, ніж при роботі на цьому ж паливі, але при температурі охолоджувальної рідини 70°C.

Щоб уникнути підвищення зношування деталей, застосовують паливо з відповідними присадками, а двигун утеплюють різними пристроями. Винятково важливо висувати високі вимоги до чистоти палива й мастильних матеріалів, тобто звільняти їх від механічних домішок, які підвищують зношування.

Вплив конструктивних і експлуатаційно-технологічних факторів на зміну технічного стану. На технічний стан машини впливають конструктивні, технологічні, експлуатаційні та інші фактори.

Конструктивні фактори визначаються формами й розмірами деталей (від них залежать тиск на поверхню деталі, концентрація напружень, ударна міцність і міцність від втомлення металу); жорсткістю конструкції, тобто властивістю деталей, особливо базових та основних, трохи деформуватися під дією навантажень, що сприймаються; точністю взаємного розміщення поверхонь та осей спільно працюючих деталей; правильним вибором посадок, які забезпечують надійну роботу спряжень та ін.

Технологічні фактори залежать від якості матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей, застосування відповідної термічної обробки їх та складальних робіт (центрування, співвісності, регулювання зазорів, якості кріплення) та ін.

Експлуатаційні фактори залежать від дорожніх, транспортних і кліматичних умов. Вони найбільше впливають на технічний стан машин. Дорожні умови характеризуються типом, станом і міцністю покриттів, поздовжнім профілем дороги, режимом руху, видимістю тощо. Кліматичні умови в різні періоди року визначаються температурою і вологістю повітря, атмосферним тиском, кількістю опадів, силою і напрямком вітру, тривалістю снігового покриву та ін. Транспортні умови охоплюють обсяг і відстань перевезень, умови завантаження і розвантаження, особливості організації перевезень, умови зберігання, обслуговування та ремонту машин.

Залежно від умов експлуатації змінюються швидкісні і навантажувальні режими деталей, механізмів та агрегатів машин і термін їхньої безвідмовної роботи. Наприклад, на коротких маршрутах частіше користуються зчепленням, гальмами, переключують передачі, внаслідок чого збільшується ймовірність їхніх відмов. При експлуатації машин у важких дорожніх умовах збільшуються навантаження на деталі машини, в результаті чого деталі швидше спрацьовуються, настає втомлення металу, порушується стабільність кріплень і

регулювань, а в деяких випадках трапляються поломки деталей трансмісії, ходової частини і рульового керування. Різні дорожні умови впливають на зміну характеру дії навантажень. Вібрація рами внаслідок нерівностей дороги ослаблює заклепкові з'єднання, порушує співвісність двигуна і коробки передач, спричиняє додаткові навантаження у деталях. Вібрація машини прискорює спрацьовування і призводить до поломки кріпильних деталей двигуна, агрегатів трансмісії і підвіски та ін.

Зниження температури навколишнього повітря, погіршення стану дороги внаслідок снігових заметів або бездоріжжя спричиняють додаткове передчасне спрацьовування або поломки деталей машини (спрацьовування шліців, шипів і підшипників хрестовин, зрізування шпильок кріплення підвісної опори та ін.).

Щоб зменшити вплив кліматичних умов на робочі процеси машини, створені спеціальні мастильні матеріали. Робота машини на вологих дорогах, а також в умовах вологого клімату спричиняє корозію деталей підвіски, рами, кузова, крил, кабіни та ін.

На термін служби силових передач машини істотно впливає їхній тепловий режим. Він визначається температурою навколишнього повітря, ступенем навантаження машини, його швидкістю й залежить від довжини маршруту, тривалості простою під навантаженням і розвантаженням, якості ТО і ПР та інших показників.

У процесі роботи і зберігання машини деякі його агрегати і деталі перебувають у постійній взаємодії з експлуатаційними матеріалами. Властивості цих матеріалів та умови їхнього застосування позначаються на процесі спрацьовування і корозії деталей, витрачанні мастильних матеріалів, продуктивності машини. Експлуатаційні матеріали повинні відповідати конструктивним і технологічним особливостям агрегатів машини, їхньому технічному стану й умовам експлуатації.

Значно впливає на технічний стан машини якість її водіння, від якого залежать динамічні навантаження в деталях трансмісії машини. Найдієвішими при цьому є режими рушання з місця в разі розгону машини. При різкому

включенні зчеплення крутний момент, що прикладається до трансмісії, може значно перевищити максимальний крутний момент двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу. Цим пояснюються поломки в трансмісії машини, яка працює в поганих дорожніх умовах.

Відмови і несправності машини можна класифікувати за різними ознаками залежно від поставленого завдання. За джерелом виникнення відмови машини можна поділити на конструктивні, технологічні, експлуатаційні і відношування.

Конструктивна відмова виникає в результаті порушення правил і (або) норм конструювання. Може бути невдало вибрана конструктивна схема машини та його агрегатів, невідомі умови експлуатації, погано захищені деталі від потрапляння абразивів, вологи тощо.

Технологічні відмови виникають у наслідок неправильно призначеної технології виготовлення деталей, неякісного матеріалу, низької культури виробництва та ін.

Експлуатаційні відмови – у наслідок неправильної експлуатації машини або його елементів, порушення режимів ТО та інших факторів. Природне зношування і старіння металів або інших матеріалів спричиняють відмови від зношування.

В умовах автотранспортних підприємств кількість експлуатаційних відмов можна значно зменшити дотриманням правил навантаження і розвантаження вантажів; правильним регулюванням агрегатів, механізмів і систем; застосуванням експлуатаційних матеріалів відповідно до інструкцій заводів-виробників та ін.

За характером процесу відмови машини поділяють на поступові і раптові. Відмову, якій передують поступова зміна якогось параметра або властивості, називають *поступовою* (наприклад поломка корінного листа ресори в результаті нагромадження пошкоджень від втоми), а відмову, виникнення якої практично можливе в будь-який період експлуатації (залежить тільки від випадкових факторів), – *раптову* (наприклад прокол шини).

Багато раптових відмов є такими лише за формою виникнення, і прогнозування їх залежить від рівня знань спеціаліста, контрольно-діагностичних засобів та економічної доцільності їхнього застосування. Тому в групі раптових відмов доцільно виділити підгрупу *умовно-раптових відмов*, які виникають в результаті такої поступової зміни параметрів технічного стану, яка сьогодні вивчена ще недостатньо і не може бути зафіксованою існуючими приладами й методами. До цієї групи належать також несправності і відмови, фіксація яких у процесі експлуатації з економічних причин недоцільна. Доведено, що близько половини відмов належать до поступових, з яких 60...65% безпосередньо залежать від регулярності та якості ТО. Кількість умовно-раптових відмов становить близько 20 %. Група умовно-раптових відмов є резервом профілактичних дій, що дедалі ширше застосовуються в міру вдосконалення конструкції машин та використання ефективних контрольно-діагностичних засобів.

За наслідками відмови поділяють на *безпечні* й *небезпечні* для життя і здоров'я людей. Прикладами безпечних відмов на транспорті можуть бути відмови рульового керування, гальм, а небезпечних – двигуна, коробки передач.

Для аналізу взаємного зв'язку відмов важливого значення набуває поділ їх на залежні і незалежні.

Незалежна відмова елемента не зумовлена пошкодженням або відмовою іншого елемента об'єкта, а *залежна відмова* елемента зумовлена. Прикладом залежних відмов можуть бути наслідки викришування зубця однієї з шестерень коробки передач машини. Внаслідок цього може вийти з ладу спряжена шестерня, погнутися вали, зруйнуватися підшипники і картер коробки передач.

Обґрунтування доцільності капітального ремонту. Порівняльний аналіз ремонтного виробництва. Одним із способів обґрунтування техніко-економічної доцільності реноваційного машинобудування є порівняльний аналіз ремонтного виробництва та виготовлення машин. На рис 4.1, а, б наочно показані основні етапи основного (виготовлення) та ремонтного виробництва.

На відміну від ремонту виробництво нових машин починається задовго до складної механічної обробки, що призводить безпосередньо до отримання деталей машин. Спочатку здійснюється видобуток та переробка (збагачення) вичерпних природних ресурсів (металів), запаси яких обмежені і вже зараз спостерігається їх дефіцит і як наслідок зростання вартості металу, у т. ч. вторинного (металевого брухту), а споживання зростає. Виплавлення та переплавлення металевого брухту також є складними та дорогими процесами,

Якщо порівняти схеми на рис. 4.1, а, та рис. 4.1, б, можна відзначити, що сировиною для ремонтного виробництва є готові деталі, які вимагають очищення та усунення дефектів. Статистичні дані ремонтних виробництв показують, що близько 80% деталей технічно можливо відновити, а частка механічної обробки при відновленні становить 15-25% виробництва нової машини. При цьому втрати металу мінімальні та мінімізовані екологічні збитки.

Тоді виникає питання, чому реноваційне машинобудування сьогодні занепадає? По-перше, це значна по відношенню до виготовлення частка ручної праці при розбиранні та дефектації. Дефектація – досить відповідальний та складний етап технологічного процесу, від якого безпосередньо залежить якість ремонту машин. Цей процес погано піддається автоматизації, і лише при виявленні окремих дефектів, тому здійснюється слюсарем вручну. Це підвищує трудомісткість та собівартість робіт. Варто дефектувальнику припуститися помилки, і деталь піде за маршрутом механічної обробки та (або) на складання, а в експлуатації виникне відмова, тобто висока ймовірність виникнення браку та суттєвих збитків. Крім зовнішніх (знос, задири, корозія, тріщини), можуть бути внутрішні дефекти, як правило, спричинені втомою (мікротріщини, зони підвищеної деформації та розміцнення металу та ін.). Для контролю втоми металу та виявлення внутрішніх дефектів необхідне дороге обладнання. Складності є і на етапі збирання машин: так як ремонт передбачає ремонтні розміри, то виникає необхідність у наявності широкого асортименту відповідних деталей ремонтних розмірів, добірці пар тертя, тобто селективної збірці, що також виконується вручну.

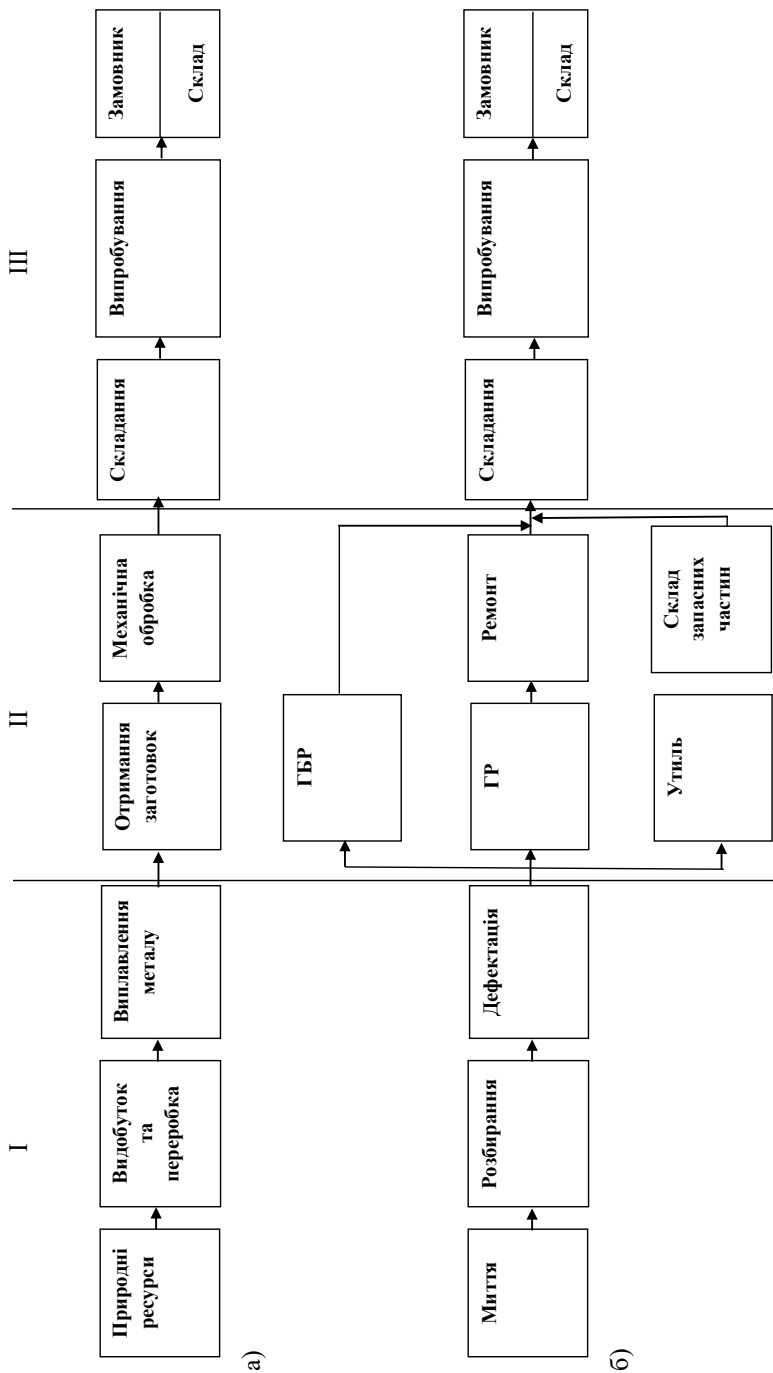


Рисунок 4.1 – Порівняльні схеми: а – виготовлення машин; б – ремонт машин

Незважаючи на об'єктивні труднощі, які є в технології реноваційного індустріального ремонту, все ж таки вони є переборними як у питанні проведення дефектації, так і при автоматизації технологічного процесу. Сучасні технології відновлення деталей машин (гальванічні, термомеханічні, зварювально-наплавні, газодинамічні та ін.), основа більшості з яких була закладена ще в другій половині ХХ століття, дозволяють компенсувати зношений або віддалений при механічній обробці шар металу під номінальний розмір, тобто виключити необхідність виготовлення деталей ремонтних розмірів. При цьому фізико-механічні властивості відновленого шару можуть перевершувати якість вихідного металу.

Експлуатаційні показники автомобіля як засобу здійснення транспортної роботи у міру його старіння погіршуються: знижується продуктивність, збільшуються простой та витрати на ремонт, зростає ймовірність зриву графіків доставки вантажів та пасажирів, виникає потреба у використанні складного технологічного обладнання для підтримки автомобіля у працездатному стані, потрібна наявність висококваліфікованих ремонтників.

За даними літературних джерел, зміна деяких експлуатаційних показників машин за інтервалами пробігу виглядає так, як показано в таблицях 4.1 та 4.2.

Як видно з наведених у таблицях 4.1 і 4.2 статистичних даних, старіння машин призводить до суттєвого погіршення їх найважливіших показників якості. Технічним службам автотранспортних підприємств, навіть в умовах досконалого оснащення технологічним обладнанням та правильної організації праці, не вдається підтримувати коефіцієнт технічної готовності парку старих машин на високому рівні.

Прийнявши експлуатаційні показники нових машин (пробіг в інтервалі 0-50 тис. км) за 100%, їх зміну в міру старіння машин можна проілюструвати даними таблиці 4.2.

Таблиця 4.1

Вплив пробігу техніки з початку експлуатації на витрату запасних частин та трудомісткість ремонту

Інтервали пробігу, тис. км	Витрата запасних частин		Трудомісткість ремонту	
	% до середнього	% до загального	% до середньої	% до загальної
0-50	4,0	0,6	2,6	0,3
50-100	19,7	2,8	12,5	1,8
100-150	33,5	4,8	43,8	6,3
150-200	55,7	7,9	67,7	9,7
200-250	153,7	21,9	93,8	13,4
250-300	204,7	29,2	134,8	19,3
300-350	230,6	32,8	343,8	49,2

Таблиця 4.2

Зміна експлуатаційних показників техніки у міру їхнього старіння, %

Показники оцінки	Інтервали пробігу, тис. км						
	50	50- 100	100- 150	150- 200	200- 250	250- 300	300- 350
Добовий пробіг	100	98,9	61	57	54	47	46
Простої в ремонті	100	109	115	125	139	163	184
Витрата запасних частин на автомобіль	100	152	242	242	337	337	337
Коефіцієнт технічної готовності	100	99	98	98	95,5	92,5	89,4

Продуктивність машин та пов'язаний з нею дохід від їх експлуатації у міру старіння машин зменшується. Очевидно, що в міру старіння машин, що супроводжується зносом циліндро-поршневої групи двигуна, приладів системи живлення, мастила, агрегатів трансмісії і т. д., зростають витрати палива та мастильних матеріалів, експлуатаційних рідин.

Як приклад у таблиці 4.3 наведені відомі з публікацій чисельні значення шкідливих викидів, які мають місце у процесах виготовлення та капітального ремонту двигунів легкового та вантажного транспорту.

Щодо шкідливих викидів можна зробити висновок, що капітальний ремонт машин несе екології набагато меншу шкоду, ніж виробництво нових машин. Слід підкреслити, що значення шкідливих викидів (табл.4.3)

відповідають існуючим технологіям капітального ремонту, які здебільшого є досить примітивними. При організації фірмового ремонту безпосередньо на автомобільних заводах або при кооперації вузькоспеціалізованих підприємств з відновлення конкретних деталей плюс до того, при подальшому вдосконаленні технологічних процесів, результат буде ще вищим.

Таблиця 4.3

Показники екологічності процесів виготовлення та капітального ремонту

двигунів

Шкідливі викиди та енерговитрати	Легковий автомобіль			Вантажний автомобіль		
	виготовлення	кап. ремонт	відношення	виготовлення	кап. ремонт	відношення
Аерозолі, кг	4,21	0,008	526	38,04	0,85	447
Діоксид вуглецю, кг	54,38	1,410	38	488,9	8,69	56,15
Монооксид вуглецю, кг	10,62	0,034	312	95,8	0,642	149,3
Оксиди азоту, кг	0,13	0,045	2,89	0,86	0,101	8,51
Діоксид сірки, кг	2,52	0,001	2520	22,8	0,03	760
Вуглеводні, кг	0,17	0,009	18,89	1,49	0,005	298
З'єднання свинцю, кг	0,00002	0,00002	1,0	-	-	-
Їдкий калій, кг	0,003	0,002	1,5	0,03	0,019	1,57
Сольвент, кг	0,024	0,012	2,0	0,22	0,104	2,11
Бутил-ацетат, кг	0,007	0,003	2,3	0,062	0,03	2,06
Хромовий ангідрид, кг	0,006	0,001	6,0	0,055	0,01	5,5
Енерговитрати, кВт год	1126,1	95,6	11,78	1144	84,5	12,0

За наявними публікаціями, на виготовлення машин, запасних частин до них і виробництво конструкційних та експлуатаційних матеріалів витрачається до 20 % вироблених у світі чорних металів, 7 % міді, 13 % нікелю, 35 % цинку, 50 % свинцю, 50 % натурального каучуку тощо д. У середньому для виготовлення тони деталей переробляється 150 тон природної речовини. Таким чином, з кожної тони переробленої природної речовини в автомобілі її залишається лише 0,7%, а решта 99,3% витрачається марно. При цьому автомобілебудування на даний момент споживає до 10% всіх видобутих та перероблених матеріалів. Отже, в його частку припадає й стільки ж забруднень від промислових виробництв.

Як показують розрахунки, екологічних забруднень у процесі виробництва

автомобіля виходить у 2 рази більше, ніж у процесі його експлуатації. Наприклад, відомо, що автомобільний транспорт споживає приблизно 50% нафтопродуктів і на його частку припадає лише 6,3% усіх енергоресурсів, що спалюються. Відповідно і обсяг шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу при експлуатації машин не перевищує 5 % сумарних викидів, що утворюються в результаті спалювання видобутого органічного палива, що використовується на теплових і електричних станціях, в металургії і т. д.

Тому, стає очевидним: задоволення автомобіля вимогам екологічних норм – це лише частина складнішої проблеми, для вирішення якої необхідний цілий комплекс заходів. І насамперед заходів, які можна назвати виробничими у найширшому значенні слова, тобто пов'язаними зі створенням, виготовленням та реновацією машин.

Тим часом при екологічній оцінці автомобіля та інших технічних виробів виробничі забруднення навколишнього середовища, попри здоровий глузд, ніяк не враховуються ні державними, ні міжнародними стандартами, що відображають якість продукції. Іншими словами, у вік екологічного імперативу, коли перед людством гостро стоїть проблема «бути чи не бути», виробнича екологічність виробів, що на 95% визначає забруднення навколишнього середовища, поки так і не стала строго регламентованим показником якості. Як наслідок, споживання природних ресурсів у процесі виробництва нових виробів збільшується, що погіршує без того критичний стан нашої планети. Хоча все має бути з точністю навпаки: в першу чергу слід було б враховувати транспортні засоби забруднення, які дає виготовлення автомобіля,

Нині у світі налічується більш 2 млрд. машин. Їх щорічний приріст становить приблизно 8%, причому всі вони виготовляються в основному з первинних ресурсів, що не відновлюються. У той же час приблизно стільки ж (7-8%) машин щорічно списується, і кожен має значну залишкову вартість та ресурс. З'явився навіть термін «повний життєвий цикл автомобіля», під яким, на жаль, розуміється лише безпосереднє виготовлення, експлуатація та утилізація. Однак при утилізації часто втрачається до 50% металу (плавка та

подальша технологічна обробка), створюються додаткові викиди забруднень та споживаються мільярдні фінансові кошти.

Механізм впливу режимів та зовнішніх умов експлуатації на знос деталей машин. Характер і періодичність навантаження, питомий тиск, швидкість ковзання, величина зазору в поєднанні і т. д. мають великий вплив на швидкість зношування деталей. Зазначені фактори впливають на температуру поверхні тертя, яка, у свою чергу, викликає зміну структури і властивостей поверхневих шарів деталей, що труться, і інтенсивність пластичної деформації поверхневих шарів. Чим спокійніше навантаження, тим довговічніша машина. І навпаки, ударні, знакозмінні навантаження, вібрації підвищують швидкість зношування (рис. 4.2).

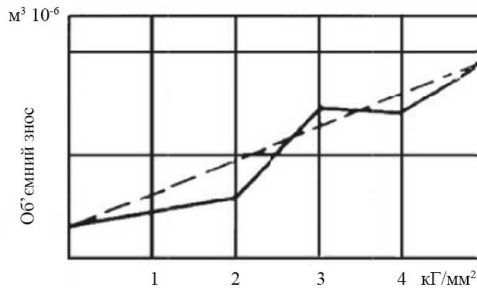


Рисунок 4.2 – Залежність зношування від питомого тиску

Особливо інтенсивно зношуються деталі машин при важких режимах роботи та частих включеннях.

Одним із головних факторів, що визначають швидкість зношування, є питомий тиск. Найчастіше при однорідних матеріалах швидкість зношування пропорційна питомому тиску. Як очевидно з рис.4.2, зростання зносу залежно від питомого тиску відбувається за законом прямої лінії.

Швидкість зношування великою мірою залежить від виду тертя (рис. 4.3). При роботі деталей, що труться, доводиться зустрічатися з поєднанням різних видів тертя. Порівнюючи швидкості зношування при різних вилах тертя, можна розташувати їх у порядку наростаючого зносу: рідинне, напіврідинне, граничне, напівсухе та сухе.

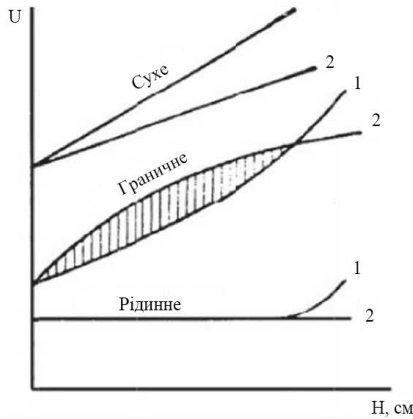


Рисунок 4.3 – Залежність зношування від виду тертя:

1 – при перпендикулярних слідах обробки; 2 – при паралельних слідах обробки

Рідинне тертя має місце в тому випадку, коли деталі, що труться, розділені шаром рідини, який утворюється в результаті гідродинамічних явищ, що виникають при швидкому відносному руху сполучених деталей.

Теорія рідинного тертя, яка розроблена проф. М. П. Петровим ще наприкінці минулого століття, показує, що при обертанні валу в підшипнику виникає масляний клин, під впливом якого вал піднімається і поверхні, що труться, перестають торкатися один одного (рис. 4.4). Дослідження показують, що при рідинному терті знос тертьових поверхонь практично мізерний. Однак для отримання рідинного тертя потрібно дотримання низки умов, які в землерийних і дорожніх машинах не завжди здійсненні (великі швидкості обертання валу, підшипники ковзання, що самовстановлюються, стабільна в'язкість мастила і т. д.).

Математичною умовою здійснення рідинного тертя в підшипнику є нерівність:

$$h_{\min} > \delta_1 + \delta_2, \quad (4.1)$$

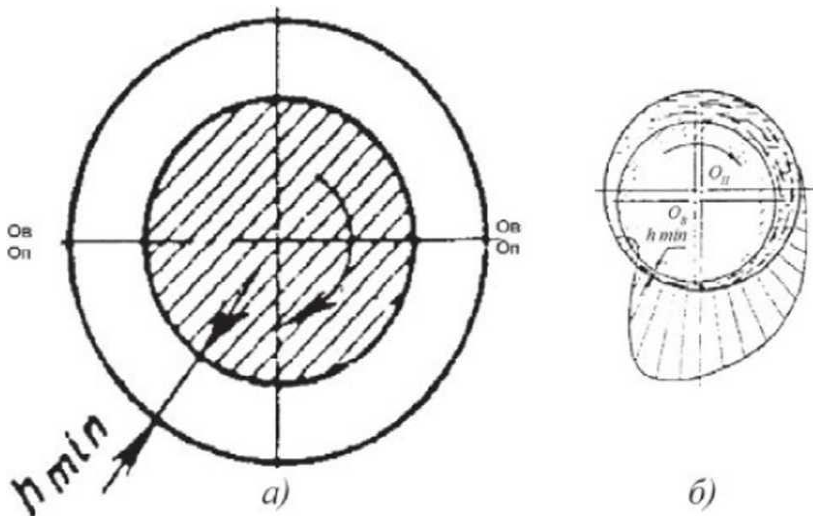


Рисунок 4.4 – Утворення масляного клину в підшипнику:

а – рух, що встановився; б – під час пуску; h_{\min} – товщина масляного шару;

$O_{\text{п}}$, $O_{\text{ш}}$ – положення осі підшипника та валу відповідно

де h_{\min} – мінімальна величина зазору, що утворюється в результаті гідродинамічних явищ в підшипнику, мм; δ_1 , δ_2 – висота нерівностей третьових поверхонь, мм.

Практикою встановлено, що надійне та стійке рідинне тертя буде забезпечено за умови, мм:

$$h_{\min} = 1,5(\delta_1 + \delta_2), \quad (4.2)$$

З іншого боку, між найменшою товщиною масляного шару та рядом інших факторів, що визначають можливість появи масляного клина, є наступна залежність, мм:

$$h_{\min} = \frac{d^2 n \eta}{18,36 p s c}. \quad (4.3)$$

де d – діаметр валу мм; n – число оборотів валу за хвилину; η – в'язкість

масла при робочій температурі підшипника η с/м² (кг с/м²); p – питомий тиск у підшипнику в Н/мм² (кг/мм²); s – зазор між валом та підшипником у мм;
 $c = \frac{l+d}{l}$ – параметр, що характеризує розмір підшипника; l – довжина опорної шийки валу і підшипника, мм.

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ МАШИН ПРИ ПРОЕКТУВАННІ, ВИРОБНИЦТВІ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Класифікація відмов машин. Вплив кінематики взаємодії та стан поверхні тертя на знос. Характеристика вимог до ремонтпридатності, що входять до технічного завдання при проектуванні та виготовленні машини. Вплив конструктивних та експлуатаційно-технологічних факторів на зміну технічного стану. Загальні вимоги показника ремонтпридатності. Додаткові показники ремонтпридатності.

Класифікація сполучення за умов зношування. При вирішенні завдань, пов'язаних із зносом деталей, необхідно враховувати, що конструктивна схема сполучення впливає на розподіл зносу на поверхні тертя і характер взаємодії зношених поверхонь.

У багатьох випадках вплив конструктивних факторів на форму зношеної поверхні проявляється більшою мірою, ніж вплив закономірностей зношування матеріалів. При проектуванні машин конструктор повинен мати у своєму розпорядженні методи розрахунку на знос різних пар, характерних для даної машини, щоб обґрунтувати вибір тієї чи іншої конструкції. На рисунку 5.1 наведено класифікацію сполучення за умов їх зношування. Залежно від характеру можливого зближення деталей при зношуванні їх поверхонь всі сполучення поділяються на два типи. У сполученнях I типу є додаткові не зношувані або малозношувальні напрямні, які забезпечують зближення деталей при зносі тільки в заданому напрямку $X-X$. У сполученнях II типу відбувається самовстановлення зношених деталей, а їхнє взаємне становище залежить від форми зношеної поверхні. У таких поєднаннях знос зазвичай сильніше позначається на функціональних властивостях пари.

Крім того, у класифікації всі сполучення розділені на п'ять груп залежно від сталості умов тертя та зношування для розташованих на одній траєкторії точок сполучених поверхонь (табл. 5.1).

Тип	А		В		
	1-а група	2-а група	3-я група	4-а група	5-а група
I тип					
II тип					

Рисунок 5.1 – Класифікація сполучення за умов їх зношування

У пар 1-ї групи точки, розташовані на одній траєкторії, мають однакові умови зношування для кожного з тіл. Наприклад, при зносі поверхонь обертання (дисків, конусів) всі точки, розташовані на колі даного радіусу, мають однакові швидкості ковзання, питомий тиск та тривалість зношування. Тому їх знос буде однаковим, і для визначення форми зношеної поверхні достатньо розглянути осьовий переріз.

Таблиця 5.1

Приклади сполучення різних видів

Група	Тип сполучення (за можливістю взаємного зближення при зносі поверхонь)	
	1 (напрямок x-x)	2 (самовстановлення)
1	Конічні гальма та фрикційні муфти	Диски фрикційних муфт
2	Ходовий гвинт-гайка, гальма колодки (з жорстким зачепленням колодки)	Вал – підшипник ковзання та колодкові гальма (з самовстановленням колодок); кругові напрямні ковзання (ексцентричне навантаження)
3	Поршневі кільця – гільза циліндра	Поступальне напрямне ковзання, куліса – камінь
4	Зубчасте зачеплення, кулачок – штовхач	Колесо – рейка, підшипники та напрямні кочення
5	Ріжучий інструмент з жорсткою установкою,	Леміші плугів, різальний інструмент із самовстановленням

Якщо є зовнішні фактори, які змінюють умови зношування для точок, що лежать на одній траєкторії, то дане сполучення не буде відноситися до 1-ї групи.

До 2-ї групи відносяться сполучення, у яких зберігаються незмінними умови зношування для всіх точок, що лежать на цій траєкторії, для одного тіла. Тому лише одна поверхня має умови для рівномірного зношування у цьому перерізі.

Наприклад, з розгляду в поперечному перерізі сполучень типу вал – підшипник ковзання або барабан – гальмівна колодка видно, що всі точки тіла, що обертається, за кожен його оборот проходять через однакові значення зусиль при будь-якій епюрі тисків. Також, якщо в сполученні I-II сила діятиме не центрально, то для точок нерухомої деталі, розташованих на одній траєкторії, будуть неоднакові тиски, і знос цієї деталі буде нерівномірним. У цьому випадку дане поєднання буде відноситися до 2-ї групи.

У сполученнях 3-ї та 4-ї груп умови зношування не зберігаються постійними для всіх точок обох тіл. Отже, тут є великі можливості виникнення нерівномірного зносу поверхонь. До 3-ї групи віднесені сполучення з нижчими парами, а до 4-ї з вищими парами.

До сполучення 5-ї групи відносяться випадки, коли поверхня деталі контактує з твердим середовищем – ґрунтом, породою, оброблюваною деталлю. У цьому випадку вивчають зношування лише однієї поверхні, яку обтікає абразивне або інше середовище, від характеру взаємодії з якою (епюри навантажень і швидкостей) залежатиме форма зношеної поверхні.

Таким чином, всі поєднання можна поділити на дві категорії:

а) ті, на знос яких накладається умова торкання поверхні (1, 2 та у ряді випадків 3 групи);

б) у яких при зношуванні умови контакту змінні.

Вплив схеми тертя на знос. Зміна зношування пар тертя, критичних значень швидкості відносного переміщення їх елементів і тиску в залежності від розмірів цих елементів обумовлено насамперед зміною температурного

режиму тертя. Залежно від умов теплоутворення і тепловідведення при терті, що визначаються розмірами елементів, що труться, розвиваються відповідні процеси тертя і зносу. Температурне поле, поширюючись углиб матеріалу, призводить до зміни механічних властивостей його поверхневих шарів.

На ступінь нагрівання поверхні тертя при ковзанні впливають не тільки такі фактори, як тиск і швидкість ковзання, а й діаметр зразків, що труться. Це пов'язано з тим, що відношення площі поверхні зразка до його площі тертя неоднаково у зразків різного діаметра. Відведення тепла від поверхні тертя зразків більшого діаметра значно слабше, ніж відведення тепла від поверхні тертя зразків меншого діаметра.

Об'ємне температурне поле та температурний градієнт призводять до зміни властивостей матеріалу, що відображається на характері руйнування його поверхні та коефіцієнті тертя. Можливі також і структурні зміни матеріалу.

На температурний режим тертя, а отже, на коефіцієнт тертя і інтенсивність зносу великий вплив має коефіцієнт взаємного перекриття поверхонь тертя $\kappa_{\text{вз}}$, що представляє собою відношення площ поверхонь пари, що труться. Коефіцієнт взаємного перекриття дуже впливає на коефіцієнт тертя і зносостійкість пари в тому випадку, коли його зміна призводить до істотних змін температурних умов.

Величина тепловідведення залежить від маси, форми та розміру деталей, тобто від масштабного фактора. Масштабний фактор важко піддається обліку, тому що в процесі зносу беруть участь два тіла (пара тертя), які можуть мати різні розміри, форму і можуть бути виготовлені з різних матеріалів. У цьому випадку необхідно враховувати зміну форми, розмірів і матеріалу кожного з компонентів пари, що труться.

Розмір зразків помітно впливає на вид зношування і на положення критичних точок переходу від одного виду зносу до іншого, які залежать від температури поверхневих шарів матеріалів, що труться. Зразки великих розмірів за тих самих умов нагріваються сильніше, ніж зразки менших розмірів. При нерівновеликих площах деталей, виготовлених з однакових матеріалів,

деталі з більшою поверхнею тертя втрачають при зношуванні велику масу.

Руйнування при зносі відбувається в «слабких місцях» плям контакту поверхонь, що труться. Так як на більшій поверхні значно збільшується кількість слабких місць, вона і зношується значніше.

Коефіцієнт відносної твердості матеріалу передає і сприймає поверхні та істотно впливає на знос.

Тому при практичних випробуваннях матеріалів на зношування необхідно приймати таку схему тертя, в якій були б враховані прямі (тиск, швидкість) і непрямі (розмір деталей, місце зазору, передача обертання, відведення тепла і т. д.) фактори, що впливають на знос пар тертя. На рисунку 5.2 представлені можливі схеми випробування, а в таблиці 5.2 – результати зносу.

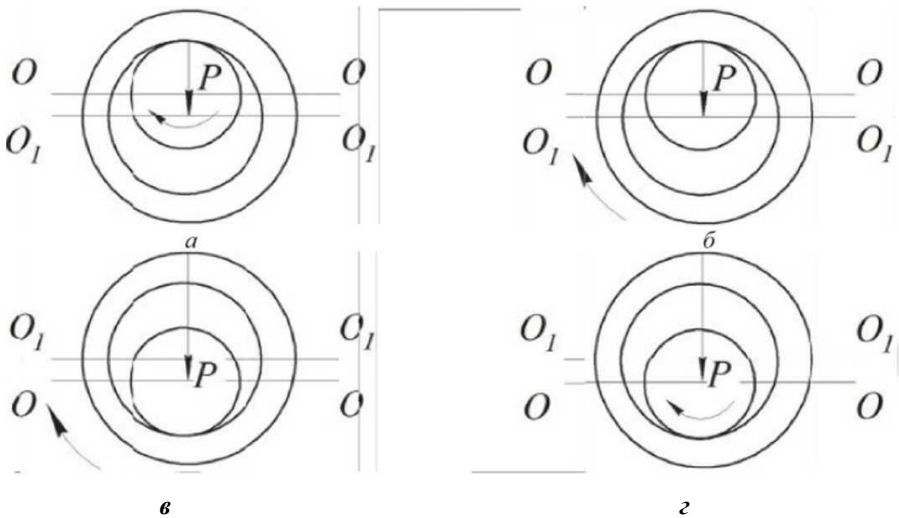


Рисунок 5.2 – Схеми тертя при випробуванні зразків на машині МІ-1М:
а, б – навантаження передається через втулку; в, г – навантаження передається через ролик; а – ролик обертається, втулка нерухома; б – ролик нерухомий, обертається втулка; в – обертається втулка, ролик нерухомий; г – ролик обертається, втулка нерухома.

Вважається, що при терті пар ковзання деталь, що знаходиться в безперервному контакті з поверхнею тертя повинна бути твердіше деталі, що знаходиться в періодичному контакті, тобто здійснює менший шлях тертя і, отже, менш нагрівається. Величиною, що визначає зносостійкість поверхні зі змінним контактом, є не тільки втомна характеристика поверхневого шару металу, але і частота контактів, що повторюються в одиницю часу, з такою поверхнею.

Таблиця 5.2

Зношення сполучення залежно від схеми тертя

Схема тертя (див. рис. 5.2)	Абсолютне зношування, мг		Знос пари, мг	Наведений знос, мг/см ²		Об'ємний знос, мм ³		Тиск, МПа
	втулки	ролика		втулки	ролика	втулки	ролика	
<i>a</i>	27,3	35,3	62,6	6,5	28	3,64	4,5	3,75
<i>б</i>	27,2	33,4	60,6	2,16	7,95	3,63	4,3	10*
<i>в</i>	33,4	43,5	76,9	2,65	10,3	4,45	6,8	12*
<i>г</i>	35,4	53,0	88,4	8,42	4,2	4,72	6,8	7**

* При вищому тиску схоплювання не спостерігалось. ** При вищому тиску відбувалося схоплювання металу, і експеримент припиняли

При дослідженнях на зношування зразки з різних матеріалів необхідно на установках розташовувати за такою схемою тертя, за якою ці матеріали контактують у вузлах тертя машин. Так, наприклад, умови тертя підшипників лісових машин характеризується тим, що мастила виявляється недостатньо для забезпечення передачі зусиль через гідродинамічний шар, що несе. Основні вузли змащують пластичними мастилами, і в цьому випадку небайдуже, яким чином потрапляє мастило, де розташовуються мастильні канали та зазор у поєднанні.

У випадку розташування матеріалів за твердістю в парах тертя, що утворені ковзними поверхнями та мають різні твердості та розміри площ тертя,

можна розрізняти дві умови, пов'язані з розміщенням матеріалів:

$$H_1 < H_2; S_1 < S_2; \quad (5.1)$$

$$H_1 < H_2; S_1 > S_2; \quad (5.2)$$

де H_1 і H_2 – твердості поверхонь, що труться; S_1 і S_2 – площі поверхонь тертя.

Пари з розташуванням матеріалів, що задовольняють першу умову, називають зворотною парою тертя; другій умові – прямою парою тертя.

У прямій парі тертя більш твердий повзун ковзає по м'якій поверхні, у зворотній парі більш м'який повзун ковзає по твердій поверхні.

Схеми прямих і зворотних пар для вузлів з поступальним і обертальним рухами наведені на рис. 5.3. Досвід експлуатації машин і стендові випробування деталей, що труться, показують, що зворотні пари тертя більш стійкі проти заїдання і мають менше пошкодження поверхонь.

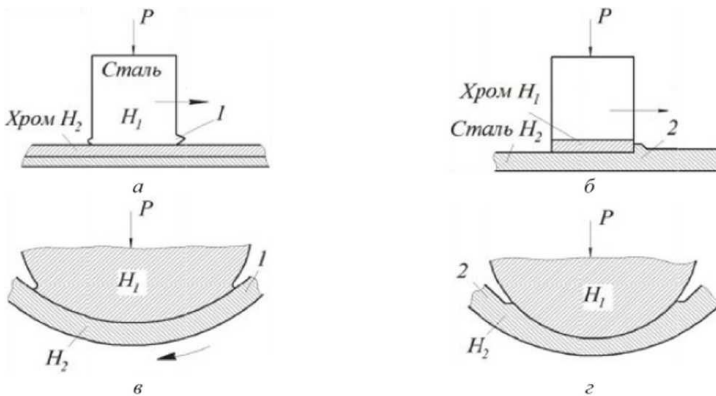


Рисунок 5.3 – Зворотні та прямі пари тертя:

а – пластична деформація матеріалу деталі 1 у разі зворотній пари під час поступального руху; б – використання деталі 2 у разі прямої пари при поступальному русі; в – пластична деформація деталі 1 у разі зворотній пари при обертальному русі; г – впровадження деталі 2 у разі прямої пари при обертальному русі

Відмінність у роботі прямих та зворотних пар полягає в тому, що при перевантаженнях пластична деформація зразка прямої пари з меншою твердістю перешкоджає нормальній її роботі, внаслідок чого підвищується тертя, посилюється пошкодження поверхні, і пара швидко виходить з ладу. У зворотних парах під час перевантаження пластична деформація зразка з меншою твердістю не перешкоджає роботі пари. При випробуванні на машині тертя з поступовим ступінчастим навантаженням хромованих сталевих циліндричних зразків по сталевому диску (пряма пара) і сталевих циліндричних зразків по хромованому диску (зворотня пара) було встановлено, що заїдання в другому випадку настає при навантаженнях в 15 разів більших, ніж у першому випадку.

На додаток до сказаного необхідно розглянути питання про так званих «звернених парах». Цей термін з'явився у зв'язку з конструюванням вузлів підшипників, в яких антифрикційний матеріал нанесений на вал, а підшипник виконаний зі сталі. Дослідження показують, що є переваги звернених пар перед звичайними парами. При постійному напрямку вектора навантаження до валу, що обертається, як це має місце в підшипниках електродвигунів, шпинделів металообробних верстатів і т. п., антифрикційний шар вкладиша піддається односторонньому місцевому зносу, що знижує несучу здатність підшипника. При зверненій парі внаслідок обертання валу знос буде розподілятися рівномірно по всій поверхні валу, тим часом як місцевий знос твердого вкладиша буде меншим, ніж місцевий знос вкладиша в першому випадку.

Мікроструктури поздовжнього перерізу сталевих зразків по передній та задній кромках після роботи його по хромованому диску показані на рис. 5.4.

Як на передній, так і на задній кромках зразка утворилися задирки внаслідок пластичного тертя поверхневого шару. При терті хромованих зразків об сталевий диск пластичного перебігу хромового шару не відбувалося, що призводило до взаємного впровадження поверхонь тертя і заїдання металів при незначному перевантаженні. Таким чином, при розстановці металів у зчленуванні поряд із загальноприйнятими положеннями (умови міцності,

ремонту, конструктивні та технологічні міркування) необхідно враховувати співвідношення величин поверхонь тертя і міцності деталей, що контактуються.

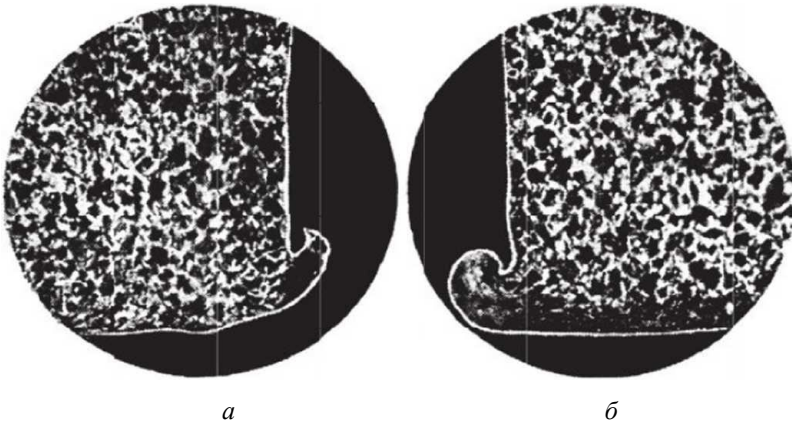


Рисунок 5.4 – Мікроструктури поздовжнього перерізу зразка:
а – передня кромка; б – задня кромка

Основною перешкодою створенню оберненої пари є технологічні проблеми нанесення антифрикційного матеріалу (покриття).

Для підвищення зносостійкості деталей, схильних до абразивного зносу, необхідно максимально підвищити основні властивості опору металу зносу, тобто підвищити опір зминання і зрізання стружки твердими абразивними частинками. Цього можна досягти правильним вибором матеріалу та застосуванням найбільш ефективного режиму термічної або хіміко-термічної обробки.

Для техніки дуже важливим є захист поверхневих шарів деталей, що труться, від попадання на них абразивних частинок ззовні.

У зв'язку з цим, конструктивне оформлення вузлів тертя машин має гарантувати неможливість проникнення абразивів із довкілля.

Правильне конструктивне рішення способів підведення мастила та видалення продуктів зносу, що особливо важливо для зниження швидкості

зношування, а також оптимальний підбір змащувальних матеріалів, обґрунтований підхід до визначення періодичності мастила та його заміни є необхідними умовами безвідмовної роботи деталей автомобіля.

Завдання та методи забезпечення ремонтпридатності машин при проектуванні та виготовленні. Проектування та виробництво є найважливішими етапами забезпечення заданих властивостей машин, у тому числі пристосування їхньої конструкції до виконання профілактичних та відновлювальних робіт у процесі використання, тобто до ремонтпридатності.

Ремонтпридатність – це властивість виробу, яке полягає у його пристосованості до попередження, виявлення та усунення відмов та несправностей шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів. Ремонтпридатність визначає витрати часу $\Sigma T_{рем i}$ є складовою довговічності.

Для визначення коефіцієнта довговічності K_d необхідно встановити його залежність від термінів служби елементів виробу.

Час простою через ремонт даної i -ї деталі або вузла машини буде:

$$T_{рем i} = \frac{T_{роб}}{T_i} \tau_i, \quad (5.3)$$

де T_i – термін служби (напрацювання) до відмови i -ї деталі (вузла) машини; τ_i – тривалість (трудомісткість) ремонту i -ї деталі машини (вузла), включаючи розбирання, збирання та вивіряння.

Відношення $T_{роб}/T_i$ показує, скільки разів протягом періоду, що дорівнює $T_{роб}$, ремонтувалася дана деталь. Для визначення K_d необхідно брати той період $T_{роб}$, коли мають місце всі види відмов, тобто більше, ніж термін служби будь-якої деталі машини.

При розробці конструкцій машин та їх виготовленні вирішуються три групи завдань забезпечення ремонтпридатності:

- а) встановлюються вимоги до ремонтпридатності;
- б) здійснюється забезпечення вимог та прогнозування характеристик ремонтпридатності;

в) проводиться оцінка досягнутого рівня показників ремонтпридатності.

Зміст робіт із забезпечення вимог ремонтпридатності оформляється як програми забезпечення ремонтпридатності, що є частиною програми забезпечення надійності виробів.

Показники ремонтпридатності повинні входити до складу основних техніко-економічних показників виробу та підлягати обов'язковому забезпеченню та оцінці на всіх етапах проектування, виготовлення та випробувань машин.

Вирішувати питання ремонтпридатності машин поза зв'язком з вимогами до їхньої безвідмовності, довговічності та ефективності недоцільно, оскільки ці вимоги до машин у значній мірі визначають вибір і включення в ТЗ складу показників ремонтпридатності, а також утримання системи технічного обслуговування та ремонтів.

При проектуванні нового виробу повинні враховуватись умови його експлуатації та ремонту, включаючи питання технологічності створюваної конструкції в обслуговуванні та ремонті.

Основними шляхами вирішення проблеми ремонтпридатності на етапі розробки ТЗ та проектування є:

- аналіз тенденцій розвитку конструкцій машин та вдосконалення системи їх технічного обслуговування та ремонту;
- застосування раціональних методів вибору складу показників ремонтпридатності та їх нормування на основі врахування конкретних умов створення та використання машин та вимог до рівня надійності та ефективності;
- аналіз ремонтпридатності машин, що знаходяться в експлуатації, на основі використання даних діючої системи інформації;
- якісна та кількісна оцінка характеристик ремонтпридатності;
- експериментальні дослідження для перевірки конструктивних рішень, вкладених у забезпечення ремонтпридатності.

Вимоги до ремонтпридатності машин можна поділити на дві групи: загальні та вимоги до умов експлуатації та ремонту.

До загальних вимог показника ремонтпридатності слід віднести:

- склад та кількісні значення показників та доповнюючі їх якісні характеристики ремонтпридатності;

- вимоги до експлуатаційної та ремонтної документації;

- методи оцінки якісних характеристик та показників ремонтпридатності.

До розділу вимог до умов експлуатації та ремонту виробів включаються:

- прийнята система технічного обслуговування та ремонту;

- умови виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту;

- кваліфікація та чисельність експлуатаційного та ремонтного персоналу;

- застосовувана система матеріально-технічного забезпечення, експлуатації та ремонту.

Стосовно конкретного типу машини ТЗ такі вимоги можуть містити показники та характеристики досконалості її конструктивного виконання, найбільш важливі характеристики факторів ремонтпридатності та рекомендації щодо забезпечення ремонтпридатності, у тому числі:

- загальні вимоги до конструкції та компонування виробу, що спрямовані на скорочення часу, праці та засобів при технічному обслуговуванні та ремонті;

- вимоги та показники, що характеризують переважно придатність конструкції до технічного обслуговування та ремонту (доступність, легкоз'ємність, контролепридатність та ін.);

- вимоги до ремонтної технологічності деталей та складальних одиниць;

- вимоги та показники, що характеризують технічну оснащеність робіт засобами контролю технічного стану при технічному обслуговуванні та ремонті.

На основі накопиченого досвіду забезпечення та оцінки ремонтпридатності машин можна вказати такі вимоги до технологічності в

обслуговуванні та ремонті.

Вимоги до стандартизації та уніфікації. При розробці конструкції нових машин мають бути широко використані стандартизовані та уніфіковані складові, що випускаються промисловістю, висока якість яких підтверджена досвідом експлуатації; їх застосування має призводити до зниження інших техніко-економічних характеристик машин.

Конструкція машини повинна забезпечувати мінімальне використання при технічному обслуговуванні та ремонті спеціального інструменту та пристроїв, дефіцитних матеріалів.

Конструювання машин одного виду повинно йти по лінії створення параметричних та типорозмірних рядів уніфікованих складальних одиниць з максимальним використанням їх у компонованні машин задля мінімізації запасних частин. Загальна кількість використовуваних у виробі кріпильних деталей та їх типорозмірів має бути мінімальною.

Повинна бути також обмежена кількість типорозмірів підшипників кочення, пробок і заглушок, гумо-технічних виробів.

Конструкція машини повинна передбачати використання обмеженої кількості змащувальних матеріалів, висока якість яких підтверджена досвідом експлуатації. Детальний розгляд питань стандартизації та уніфікації конструктивних елементів машин при забезпеченні вимог ремонтопридатності має практичне значення.

Вимоги до послідовності технологічних процесів технічного обслуговування та ремонту конструктивно однотипних машин

При створенні нових конструкцій машин повинні враховуватися прийняті в галузі системи технічного обслуговування та ремонту, типізація технологічних процесів, можливість застосування найкращих зразків засобів механізації, що серійно виготовляються, призначених для проведення технічного обслуговування та ремонту.

Вимоги до контролю придатності машин. Складальні одиниці машин, для контролю технічного стану яких потрібен великий обсяг робіт, повинні

бути пристосовані до діагностування за допомогою способів і засобів непрямого контролю. Особливо легко доступними для контролю технічного стану повинні бути складальні одиниці та деталі, ресурс яких менший від міжремонтного ресурсу машини. Питання забезпечення контролепридатності конструкцій машин та методи її оцінки мають практичне значення

Вимоги до принципів раціонального розчленування та розташування складальних одиниць машини. Конструкція машини повинна забезпечувати зручність та легкість незалежного розчленування її на складальні одиниці, що дуже важливо при агрегатному способі ремонту. У місцях з'єднань складальних одиниць повинні бути встановлені швидкокороз'ємні з'єднання для електроланцюгів, маслопроводів, паливопроводів тощо. Розташування складальних одиниць машини має забезпечувати можливість незалежного виконання операцій технічного обслуговування.

З'єднання в складальних одиницях, що підлягають розбиранню та складанню, повинні виконуватися таким чином, щоб виключалася можливість їх неправильного монтажу при ремонті (рекомендується використання маркування, фарбування у різний колір однотипних деталей, призначених для виконання різних функцій, нанесення рисок та ін.).

Деталі, що мають відповідальні сполучення, оброблені при виготовленні спільно або припрацьовані в процесі використання, повинні мати мітки спареності, що запобігають їх знеособленню при ремонті.

Вимоги до доступності деталей та складальних одиниць. При конструюванні машин повинна враховуватися необхідність проведення робіт з технічного обслуговування та ремонту у встановлені терміни та із заданою трудомісткістю.

Частини машини, що підлягають технічному обслуговуванню та ремонту (різьбові з'єднання, інші кріпильні деталі, точки мастила, місця регулювання, контролю тощо) повинні бути легкодоступними. Вимоги до доступності повинні виключати необхідність роботи персоналу з технічного обслуговування та ремонту у незручних позах.

Не допускається конструювати різьбові з'єднання, розташовані у важкодоступних місцях, у яких при відвертанні гайок проверталися б болти. Нарізання різьбових з'єднань має бути, як правило, захищена від механічних пошкоджень та корозії.

Вимоги до легкознімності деталей та складальних одиниць при технічному обслуговуванні та ремонті повинні встановлюватися з урахуванням вимог безвідмовності, довговічності та збереження. У деталей і складальних одиниць, що мають велику вагу, повинні бути передбачені елементи їх захоплення (болти, вушка, припливи і т. д.) підйомно-транспортними пристроями.

Системи кріплення деталей, конструкції роз'ємів тощо повинні забезпечувати легкознімність деталей і складальних одиниць, що особливо потребують періодичної заміни. Розміщення деталей, що стопорять, не повинно викликати труднощів при розбиранні і складання вузлів. Стопорні кільця повинні мати демонтажні вушка.

Не допускається конструювати такі сполучення, у яких при демонтажі підшипників кочення зусилля пресування передавалося через кульки або ролики.

Питання забезпечення та оцінки доступності та легкознімності конструктивних елементів мають практичне значення при експлуатації.

Вимоги до взаємозамінності однотипних деталей та складальних одиниць. Деталі та складальні одиниці, що виконують однакові функції та які несуть близькі за величиною навантаження, повинні бути взаємозамінними за геометричними розмірами, характеристиками посадок, робочими параметрами тощо в межах технічних можливостей та економічної доцільності. Деякі питання взаємозамінності елементів машин та її вплив на ремонтпридатність необхідно враховувати під час створення конструкції.

Вимоги до пристосованості складових частин машини для виконання регульовально-довідкових робіт. Конструкція машини має бути пристосована до виконання довідково-регульовальних робіт у процесі технічного

обслуговування та ремонту з допустимими витратами часу та праці. У конструкції мають бути забезпечені: необхідна кількість регульованих елементів у складових частинах машини, необхідні межі зміни значень параметрів; можливість регулювання параметрів ланцюгів складових частин шляхом регулювання параметрів окремих ланок.

Вимоги до конструкції деталей, що зношуються. Деталі, що зношуються, машини, ремонт яких економічно доцільний, повинні бути пристосовані до відновлення до початкових або ремонтних розмірів із застосуванням прогресивних відновлювальних технологічних процесів. Для відновлення різальної здатності робочих органів повинен бути передбачений доступ до них заточувальних пристроїв або забезпечена легко з'ємність ріжучих елементів.

Базові конструктивні елементи (рами, корпуси тощо) не повинні мати ділянок, що зношуються, термін служби яких менший за повний термін служби машини. У разі неможливості виконання цієї умови доцільно використовувати змінні частини (втулки, накладки тощо) із зазначенням у технічній документації, відповідно до ДСТУ 2.604:2005, ремонтних та вибракувальних розмірів за умовами зміни цих частин.

Односторонньо деталі, що зношуються, доцільно конструювати з урахуванням можливості перестановки їх для роботи іншою стороною.

Ресурс деталей, що зношуються, як правило, повинен дорівнювати заданому міжремонтному періоду складальної одиниці машини або більшому і кратному йому. Ресурс швидкозношувальних легкознімних деталей (ременів, пальців і ножів різальних апаратів, елементів фільтрів тощо) може бути меншим за міжремонтний період складальної одиниці (за винятком деталей, що впливають на умови праці та техніку безпеки).

Вимоги щодо пристосованості до транспортування та зберігання. У технічній документації з експлуатації машин повинні бути наведені правила їх транспортування та установки на зберігання, зазначені агрегати та складальні одиниці, які не можна транспортувати та зберігати у будь-якому положенні, а також зазначено, в яких місцях машини допускається встановлювати підставки,

підкладки та домкрати. У конструкціях частин машини, що піддаються корозійним впливам, повинні бути місця скупчення вологи, пилу, робочих відходів тощо.

Додаткові показники ремонтпридатності. Додаткові показники дозволяють більш повно охарактеризувати як економічну, так і оперативну сторони ремонтпридатності, а також використовувати їх як керовані змінні при забезпеченні якості ремонтпридатності.

Залежно від призначення машин та складу факторів, що впливають, змінюється склад додаткових показників ремонтпридатності. Розглянемо один із прикладів класифікації додаткових показників.

1 група – показники, що характеризують загальну досконалість конструкції – тут мають на увазі досконалість конструкції як об'єкта експлуатації, обслуговування і ремонту, так і об'єкта виробництва.

2 група – показники, що характеризують переважно пристосованість конструкції машин до технічного обслуговування та ремонту. До таких показників відносяться в першу чергу показники доступності, легкості та контролепридатності.

3 група – показники, що характеризують переважно досконалість конструкції з погляду її пристосованості до застосування прогресивних організаційно-технічних форм та методів технічного обслуговування та ремонту.

РОЗДІЛ 6

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Терміни і поняття. Особливості капітального і поточного ремонту. Дефектація деталей. Загальні методи усунення дефектів зношених деталей та спряжень. Комплектування. Балансування.

На сьогодні прийнята та застосовується *комплексна система технічного обслуговування і ремонту машин*, під якою розуміється сукупність взаємопов'язаних засобів, документації та виконавців, необхідних для підтримання і відновлення якості сільськогосподарської техніки. Ця система передбачає застосування засобів діагностування.

Технічне обслуговування (ТО) – це комплекс робіт щодо підтримання працездатності або справності машин під час їх використання за призначенням, зберігання та транспортування (детальна технологія і організація ТО розглядається у самостійному курсі).

Перед розглядом проблем ремонтного виробництва пригадаємо деякі терміни і поняття теорії надійності.

Надійність – це властивість об'єкта зберігати за часом у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах виконання ТО, ремонтів, зберігання і транспортування.

Фактори, які викликають зміну параметрів, що визначають нормальне функціонування об'єкта, впливають на його технічний стан, тобто об'єкт у процесі експлуатації в деякий момент часу може бути справний або несправний, працездатний або непрацездатний. Уточнімо ці поняття.

Справний стан – це стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Несправний стан – стан об'єкта, за якого він не відповідає хоча б одній із вимог нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Працездатний стан – стан об'єкта, за якого значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Непрацездатний стан – це стан об'єкта, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації.

Працездатний об'єкт може вважатися несправним. Наприклад, трактор зберігає працездатність за наявності вм'ятин на облицюванні, несправного лічильника мото-годин тощо.

Перехід об'єкта з одного стану в інший визначається такими подіями.

Пошкодження – подія, яка полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатного стану.

Відмова – подія, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкта.

З метою наукових досліджень і вирішення прикладних (інженерних) задач численні види відказів класифікуються за різними ознаками. Наприклад, залежно від причин, які викликали відказ – на раптові та поступові; за ознакою складності усунення відказів – на кілька груп складності; за ознакою походження – розрахунково-конструкторські, виробничо-технологічні або експлуатаційні; за ознакою умов усунення відказів (у польових умовах, майстернях різного виду господарств, на спеціалізованих ремонтних підприємствах) – на ресурсні і нересурсні. Усунення наслідків відказів завжди пов'язане з матеріальними і трудовими затратами.

Слід відзначити, що найбільший вплив на експлуатаційні якості сільськогосподарської техніки мають такі властивості надійності, як довговічність і безвідмовність.

Безвідмовність – це властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання. Одним із показників даної характеристики є вірогідність безвідмовної роботи, тобто вірогідність того, що в межах заданого наробітку відказ об'єкта не виникне.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати працездатний стан до

настання граничного стану при встановленій системі ТО і ремонту.

Граничний стан – це стан об'єкта, за якого його подальше застосування за призначенням недопустиме чи недоцільне, або працездатність неможлива чи недоцільна.

Довговічність кількісно оцінюється двома показниками: ресурсом і строком служби.

Ресурс – наробіток об'єкта від початку його експлуатації або її відновлення після ремонту певного виду до переходу в граничний стан (наробіток – тривалість або обсяг роботи об'єкта).

Строк служби – календарна тривалість експлуатації об'єкта від її початку або відновлення після ремонту певного виду до переходу в граничний стан.

Спираючись на поняття і термінологію, сформульовані в науці про надійність, легко визначити відповідні терміни, які застосовуються в галузі ремонту техніки.

Ремонт – це комплекс операцій, призначених для відновлення справності або працездатності виробів і відновлення ресурсу виробів або їх складових частин. Розрізняють два види ремонту сільськогосподарської техніки: капітальний і поточний.

Капітальний ремонт – вид ремонту, який виконується для відновлення справності і повного (або близького до повного) відновлення ресурсу виробів із заміною або відновленням будь-яких складових частин, у тому числі базових. Відповідно розрізняють капітальний ремонт машини і складових частин (агрегатів).

Поточний ремонт – вид ремонту, який виконується для забезпечення або відновлення працездатності машини із заміною або відновленням окремих складових частин. Під час цього ремонту складові частини, що досягли граничного стану, піддають капітальному ремонту, а які не досягли – поточному (у випадку необхідності).

Поточний ремонт може виконуватись як на місці використання машини, так і у відповідних майстернях або на станціях ТО. Планові поточні ремонти

тракторів проводять за результатами ресурсного діагностування через певний, передбачений нормативними документами, період наробітку, а комбайнів і сільськогосподарських машин – після сезонів збирання і польових робіт відповідно.

Найпоширеніші такі методи ремонту машин:

незнеособлений і знеособлений, які відрізняються тим, що під час першого з них зберігається, а під час другого не зберігається належність відновлюваних складових частин до певних машин (обладнання);

агрегатний – різновид знеособленого методу, під час якого несправні агрегати і вузли замінюють новими або раніше відремонтованими. Агрегатним методом ремонтують машини, конструктивні особливості яких дозволяють розчленувати їх на складові частини (агрегати і вузли). При цьому кожна складова частина повинна бути автономною, конструктивно закінченою, легко відокремлюватись (без складних розбирально-складальних і регулювальних робіт) від інших частин машини. Завдяки автономності складові частини машини можна самостійно ремонтувати на ремонтних підприємствах.

Терміни «відновлення» і «ремонт» деталей розглядаються як технологічні процеси, реалізація яких спрямована на відновлення початкових властивостей деталей, але відрізняються вони за рівнем досягнення цих властивостей.

Відновлена деталь повинна мати повну взаємозамінність за розмірно-точносними параметрами, а фізико-механічні та інші властивості поверхневих шарів і в об'ємі матеріалу забезпечувати ресурс до граничного стану не нижчий нової (якщо інше не обумовлене діючою нормативно-технічною документацією).

Відремонтована деталь повинна перейти із непрацездатного у працездатний стан, маючи при цьому як повну, так і неповну взаємозамінність, а відповідні технологічні операції забезпечувати її ресурс не менше, як до наступного чергового ремонту.

Виробничий процес ремонту – це сукупність взаємопов'язаних людей і знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для здійснення

ремонту машин, обладнання та іншої техніки.

Технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу. У виробничий процес входять і допоміжні процеси, наприклад виробництво пристроїв та інструменту, ремонт власного обладнання тощо, а також обслуговуючі процеси (внутрішньовиробниче транспортування матеріалів і деталей, складські операції тощо), які забезпечують виконання основного технологічного процесу ремонту.

Технологічний процес ремонту – основна частина виробничого процесу, яка містить дії по послідовній зміні стану об'єктів ремонту або його складових частин (машина, агрегат, вузол, деталь) під час відновлення їх справності або працездатності.

Технологічний процес ремонту машин у загальному випадку включає певний набір складових частин, тісно пов'язаних у своїй технологічній послідовності. Структура технологічного процесу характеризує і ступінь розчленування операцій. Необхідність розробки варіантів структурної побудови технологічних процесів обумовлена кількістю типів і марок об'єктів ремонту, видів ремонтних підприємств за своїм призначенням, спеціалізацією та програмою.

На рис.6.1 наведена принципіальна схема технологічного процесу капітального ремонту машин. Вона ілюструє укрупнене розчленування процесу на складові частини та їх технологічні зв'язки від початку ремонту до виходу справної машини.

Схеми технологічних процесів повинні бути інформативними (у межах їх призначення). У принциповій схемі, наприклад, крім складу і призначення окремих частин технологічного процесу, можна знайти передбачену процесом багатостадійність очисних операцій, необхідність і характер сортування деталей ремонтного фонду тощо.

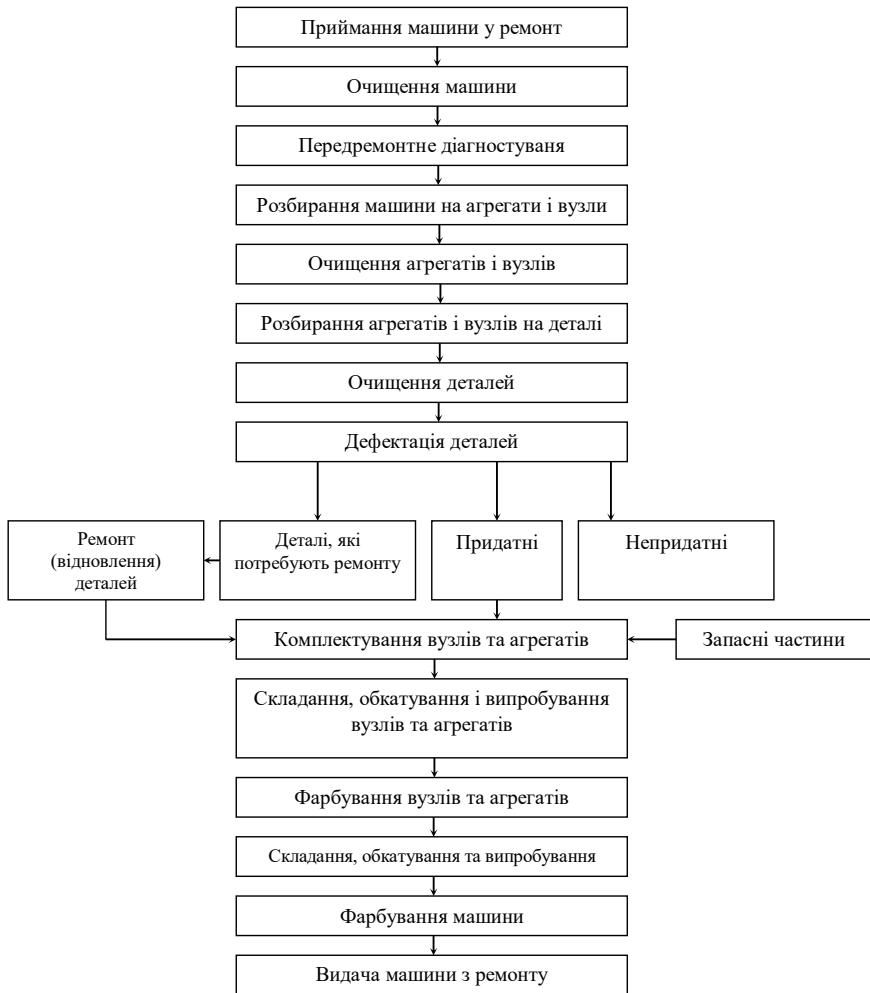


Рисунок 6.1 - Принципова схема технологічного процесу капітального ремонту

Структура технологічного процесу може змінюватись, наприклад, внаслідок розгалуження за ходом основного напрямку процесу через необхідність прийняття (за результатами діагностичного контролю) технологічних рішень за альтернативними ознаками (рис.6 2).

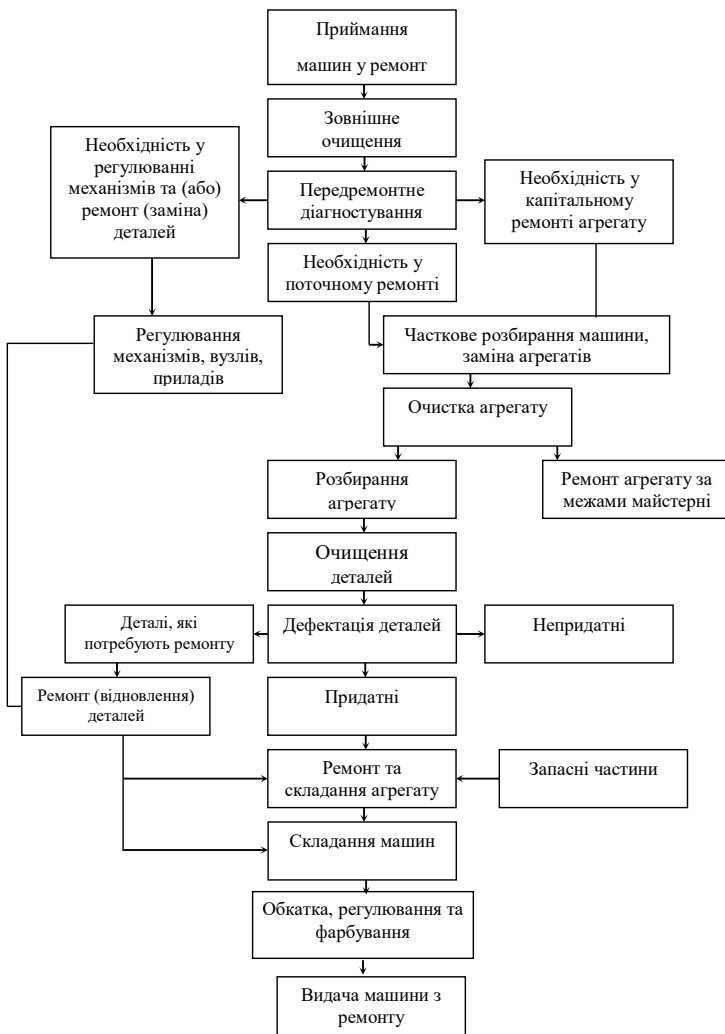


Рисунок 6.2 – Схема технологічного процесу поточного ремонту машини

У випадку великої програми ремонтного підприємства виникає можливість поділу технологічного процесу ремонту на велику кількість окремих технологічних процесів і створення умов для оснащення робочих місць високопродуктивним технологічним обладнанням і оснасткою.

Технологічне обладнання – це знаряддя виробництва, у яких для

виконання окремих частин технологічного процесу розміщуються об'єкти ремонту або матеріали, засоби дії на них, а при необхідності – джерело енергії. До ремонтно-технологічного обладнання відносяться металообробні верстати, зварювальні і наплавлювальні установки, нагрівальні печі, стенди тощо.

Технологічне оснащення – це засоби, які доповнюють обладнання для виконання частини технологічного процесу. До технологічного оснащення належать патрони, люнети, інструмент, пристрої для базування і закріплення деталей тощо.

Мета дефектації деталей – визначити їх технічний стан під час надходження машин і агрегатів у ремонт.

Для прийняття об'єктивних рішень відносно подальшого використання деталей керуються нормативно-технічними документами для даного виду і об'єкта ремонту. Порівняння фактичних (вимірних або визначених іншими методами) і нормативних значень параметрів стану дозволяє виявити наявність дефекту деталі (звідси термін «дефектація деталей»).

У нормативних документах (технічних вимогах на дефектацію) зазначені два види оцінюваних параметрів, тобто критеріїв технічного стану деталей: критерій допустимості подальшого використання деталі, який забезпечує ресурс до наступного ремонту, і критерій граничного стану, за якого деталь не може бути встановлена на машину. Таку деталь ремонтують (відновлюють), якщо це технічно можливо і економічно доцільно, або замінюють запасною.

Отже у процесі дефектації деталі сортують на групи, які визначають технологічні потоки деталей: деталі, придатні для подальшого використання у процесі ремонту машин; деталі, які відправляють на ремонт; непридатні деталі, які утилізують. У деяких випадках у технічних нормативних документах першу групу деталей розбивають на дві підгрупи: деталі, придатні у спряженні тільки з новою (або відновленою) деталлю, і деталі, придатні у спряженні з частково зношеною. Такий підхід передбачає можливість використання тих деталей, які за величиною зносу вже не відносяться до придатних для спряжень із зношеними деталями, але у спряженні з новими деталями ще забезпечують допустимі

значення зазору у з'єднанні. Наявність такої додаткової групи деталей деякою мірою збільшує кількість деталей, які не потребують затрат на ремонт, але при цьому ускладнюється організація технологічних потоків і комплектування деталей.

В умовах ремонтного виробництва деталі, придатні для ремонту, також можуть бути розділені на дві частини: ті, які ремонтують на самому підприємстві, і ті, що відправляють на спеціалізоване підприємство.

Деталі після дефектації маркують фарбою: придатні – зеленою, придатні у спр'яженні з новими або відновленими деталями – жовтою, деталі, що підлягають ремонту на даному підприємстві – білою, на спеціалізованих ремонтних підприємствах – синьою, непридатні – червоною.

Важливим завданням, особливо для великих ремонтних підприємств, є накопичення інформації про результати дефектації і сортування деталей з метою вдосконалення організації ремонту. Для всіх груп відсортованих деталей даної марки машин за накопиченою інформацією визначають коефіцієнти придатності (K_n), відновлення (K_B) і змінності (K_3). Вони характеризують кількість придатних деталей, що підлягають ремонту, і непридатних деталей відносно всіх однойменних деталей, які пройшли дефектацію:

$$K_n = \frac{n_n}{N}; K_B = \frac{n_B}{N}; K_3 = \frac{n_3}{N}; N = n_n + n_B + n_3, \quad (6.1)$$

де n з індексами « n », « B » і « 3 » — відповідно кількість деталей придатних, що потребують відновлення, і непридатних (змінних). Важливими для спеціалізованих ремонтних підприємств є коефіцієнти повторності дефекту K_{no} , які визначаються відношенням кількості деталей одного найменування з даним дефектом n_{oi} до загальної кількості ремонтпридатних деталей n_n :

$$K_{n_{oi}} = \frac{n_{oi}}{n_n} \quad (6.2)$$

Маючи дані про коефіцієнти повторності дефектів деталей, можна значно точніше оцінювати необхідність трудових і матеріальних витрат на відновлення деталей як під час проектування, так і в процесі функціонування ремонтного підприємства, а значить – і впливати на скорочення витрат виробництва.

Для реалізації завдань дефектації використовують такі методи: органолептичні, інструментальні за геометричними параметрами і виявлення прихованих дефектів.

Органолептичні методи дефектації ґрунтуються на оцінках технічного стану деталей за допомогою органів чуття і виконуються:

- зовнішнім оглядом, за допомогою якого виявляють видимі пошкодження і зміни початкової форми деталі (тріщини, пробоїни, обломи, викришування, раковини, задири, жолоблення, пошкодження різьб);

- остукуванням – на слух (за деренчливим або глухим звуком) визначають малопомітні тріщини, ослаблення заклепок рам, зазори у нерухомих з'єднаннях деталей;

- випробуванням вручну – визначають, наприклад, придатність різьб закручуванням і відкручуванням болта або гайки, заїдання у підшипниках кочення провертанням їх внутрішнього або зовнішнього кільця, вільність переміщень деталей рухомих з'єднань.

Усі ці способи дефектації у багатьох випадках не дають можливості зробити остаточний висновок про технічний стан об'єктів дефектації, оскільки вони мають суб'єктивний характер.

Інструментальні методи дефектації за геометричними параметрами передбачають визначення дійсних розмірів зношених деталей, похибок їх форми і взаємного розміщення осей і поверхонь, а також зазорів у спряженнях. Для цього використовують універсальні і спеціальні вимірювальні засоби. Крім того, застосовують калібри і шаблони, які відносяться до контрольних, а не вимірювальних засобів, оскільки визначають лише відповідність геометричних параметрів технічним вимогам, а не їх дійсні значення.

Вимірювання при дефектації виконують у місцях максимального

зношування за найменшим значенням розміру валу й найбільшим значенням отвору.

До універсальних вимірювальних засобів відносяться: штангенінструменти, мікрометричні, індикаторні, важільно-механічні, оптико-механічні і оптичні інструменти.

До спеціальних засобів дефектації належать різні індикаторні пристрої для перевірки згину валів, згину і скрученості шатунів, неспіввісності гнізд корінних підшипників, радіальних зазорів у підшипниках кочення, пружності поршневих кілець і пружин тощо.

Вимірювальні засоби мають певні метрологічні характеристики. До основних із них з точки зору вибору вимірювального інструменту для конкретного об'єкту вимірів відносяться межі вимірювань, ціна поділки і гранична похибка вимірювання. Вибір вимірювального засобу залежить від співвідношення між допуском на допустиме зношування δ_z (а не допуском на розмір) і граничною похибкою інструменту Δ_{lim} (за довідковими даними). Задля того, щоб ймовірність вибракування придатної деталі або пропуску непридатної була допустимо мала, повинно зберігатися відношення:

$$\Delta_{lim} \leq K \delta_z, \quad (6.3)$$

де K – коефіцієнт точності методу вимірювання приймають рівним 0,25-0,30.

Під час дефектації допуск δ_z визначається як різниця між середнім за кресленником і допустимим при ремонті розмірами.

Калібри для дефектації використовують не з двома граничними межами, як у випадку виготовлення або відновлення деталей, а з однією, прохідні, налагоджені тільки на допустимий розмір. Можливе застосування калібрів з двома межами, якщо, наприклад, один бік налагоджений на допустимий розмір у з'єднанні з новою деталлю, а другий – на розмір, допустимий з деталлю, яка була в експлуатації, при цьому деталі сортуватимуться на дві групи.

Для контролю отворів під час виготовлення (відновлення) застосовують повні пробки, а при дефектації – неповні або у вигляді нерегульованих нутромірів. Такі конструкції калібрів дозволяють уникнути помилок, пов'язаних з нерівномірністю зношення внутрішніх поверхонь (повна пробка може пропустити непридатну деталь, бо не ввійде в отвір по меншому розміру нерівномірно зношеної поверхні, хоча її більший розмір вийшов за межі допустимого).

Методи виявлення прихованих дефектів. Для визначення тріщин від втомленості (у колінчастих валах, шатунах, важелях поворотних кулаків, кульових пальцях рульових тяг тощо), тріщин від силових і теплових навантажень (у блоках і головках циліндрів) та дефектів зварних швів застосовують фізичні методи дефектоскопії (магнітної, капілярної, ультразвукової, гідравлічної і пневматичної).

Порівняльна характеристика і сфери застосування методів дефектоскопії в експлуатації і при ремонті машин. Дефектоскопічний контроль в умовах експлуатації і при ремонті має особливості, через які неможливо, за деяким винятком, для його проведення використовувати методики, що використовуються для контролю деталей при виробництві. Ці особливості полягають у такому:

- контролю піддаються деталі, що були в експлуатації, на поверхні яких є лакофарбові покриття, окисні плівки, різні відкладення (нагар, забруднення), механічні пошкодження (забоїни, риски, корозійно-ерозійні пошкодження);

- на одному типі техніки контролюють деталі, що відрізняються матеріалами і формою;

- виявленню підлягають в основному втомні тріщини і корозія;

- деталі, що перевіряються, знаходяться в нероз'ємних вузлах, інколи – у важкодоступних місцях.

У порівнянні з контролем у промисловості перед контролем в експлуатації необхідно проводити підготовчі роботи великої трудомісткості – частковий демонтаж, видалення захисних покриттів, забруднень.

Технічні засоби експлуатаційного контролю машини повинні задовольняти таким вимогам:

- універсальність застосування;
- портативність, мала маса, транспортабельність;
- простота в обігу, висока надійність;
- автономність живлення електричної мережі, якщо вона використовується.

У даний час в експлуатації і при ремонті машин широко застосовують такі методи неруйнівного контролю:

- оптико-візуальний;
- капілярний;
- магнітопорошковий
- ультразвуковий.

Оптико-візуальний метод, у порівнянні з іншими методами, має низьку чутливість і достовірність при визначенні дефектів. Він дозволяє виявити розкриті тріщини (шириною 0,1...0,01 мм), знос, корозію, ерозійні пошкодження, пробоїни, обриви, залишкову деформацію, нагар, течу в системах.

Капілярні методи застосовують на будь-яких матеріалах, за винятком пористих. Вони дозволяють контролювати деталі складної форми по всій поверхні відразу, відрізняються високою чутливістю і дозволяючою здатністю, наочністю результатів, за якими можна встановити місце розташування дефекту та його протяжність. Дозволяє знімати дефектограми або фотографувати малюнок дефекту.

Магнітопорошковий метод є основним для контролю деталей з магнітних сталей. Він дозволяє виявляти поверхневі і підповерхневі дефекти. Метод відрізняється високою чутливістю і достовірністю, простотою й універсальністю методик контролю (за результатами контролю можна точно встановити місце і протяжність дефекту), дозволяє фотографувати малюнок дефекту або знімати дефектограму.

Ультразвуковий метод знаходить все більш широке застосування і

виступає як основний метод контролю. Цим методом перевіряють будь-які деталі, виготовлені з будь-яких матеріалів (за винятком гум і композитів). Метод дозволяє з високою чутливістю виявляти поверхневі, підповерхневі і глибинні дефекти, маючи високу продуктивність. Проте вимагає високого рівня підготовки фахівців і вживання складних методик контролю.

Оптико-візуальний, капілярний, магнітопорошковий методи є прямими методами контролю, що не вимагають еталону для налаштування дефектоскопа. Дефект спостерігається візуально і можливе його фотографування.

Ультразвуковий метод контролю є непрямим методом і для налаштування дефектоскопа вимагає еталону. Дефект не спостерігається візуально, а визначається за непрямим сигналом, спостереження місця розташування дефекту і його фотографування неможливе.

Оптико-візуальний метод неруйнівного контролю заснований на використанні законів оптики, тобто законів віддзеркалення і заломлення променів світла в системах оптичних приладів. У поняття «світло» включають електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 0,4 до 0,75 мкм, що сприймається людським оком, а також виміру в інфрачервоній і ультрафіолетовій областях спектру. Оптико-візуальний контроль проводиться в основному у видимому світлі. Оптичні системи приладів утворюють зображення об'єкту, що оглядається, і передають його в око людини.

Із зростанням можливостей сучасних оптичних приладів істотно скорочується поле зору і зменшується глибина різкості, швидше настає втома людини, а також знижується продуктивність контролю. Тому для огляду деталей в основному застосовують оптичні прилади збільшенням до 20...30 раз.

Оптичні прилади застосовують:

- для пошуку поверхневих дефектів, а також для виявлення дрібних тріщин при капілярному і магнітопорошковому контролі;
- для пошуку течі, негерметичності, місць відкладення нагару.

Оптичні прилади за призначенням поділяють на:

- прилади для контролю близько розташованих об'єктів (лупи, мікроскопи);

- прилади для контролю прихованих дефектів, огляду внутрішніх поверхонь (ендоскопи).

Бінокулярний зір більш рекомендований при оптико-візуальному контролі. Він забезпечує правильне сприйняття простору, об'єму і форми об'єктів. Огляд двома очима менш утомливий, ніж одним оком. Тому вищої ефективності досягають при оптико-візуальному контролі із застосуванням бінокулярних приладів, що забезпечують стереоскопічний ефект при огляді деталей.

При контролі близько розташованих об'єктів застосовують лупи і мікроскопи. Для збільшеного зображення лупу розміщують поблизу поверхні деталі 1 (рис.6.3) так, щоб відстань між ними була трохи менше фокусної відстані лупи.

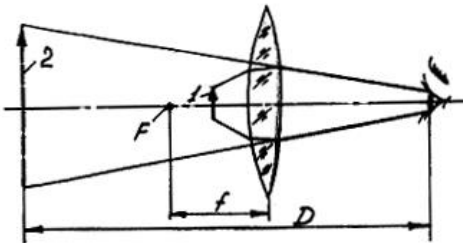


Рисунок 6.3 – Схема огляду із застосуванням лупи

1 – об'єкт контролю;

2 – уявне зображення;

F – фокус лупи;

f – фокусна відстань лупи

Спостерігач при цьому бачить збільшене пряме уявне зображення 2 деталі, яке виходить на відстані зору ($D=250\text{мм}$), тобто на найменшій відстані, на якій нормальне око чітко бачить предмет. Збільшення лупи Γ приблизно дорівнює:

$$\Gamma = D / f = 250 / f, \quad (6.4)$$

де f – фокусна відстань лупи.

Через істотне скорочення поля зору при великих збільшеннях, зменшення глибини різкості та інших причин контроль деталей в основному проводять за

допомогою луп із збільшенням від 2 до 10.

Лупи і мікроскопи дозволяють виявляти відносно крупні дефекти, що мають високий контраст на поверхні деталі, наприклад, розкриті тріщини різного походження, поверхневі корозійні й ерозійні пошкодження та інші дефекти. При аналізі характеру дефектів, виявлених кольоровим або магнітопорошковим методом, ці прилади дозволяють відрізнити тріщини від рисок, задирок, сколів окисної плівки, ниткоподібних забруднень.

Деталі й елементи конструкцій, які недоступні прямому спостереженню, оглядають із застосуванням приладів-ендоскопів, жорстких або гнучких.

У порівнянні із звичайними телескопічними системами оптична система ендоскопів повинна задовольняти двом вимогам. У цих приладах хід променів має вигляд ламаних ліній. Проте прилади повинні давати пряме, не перевернуте зображення. Це досягається використанням обертаючих систем.

Друга вимога полягає в тому, що ендоскоп повинен мати велике поле зору, хоча його оптична система поміщена у вузьку трубку. Цю вимогу можна задовольнити, якщо змусити світло проходити уздовж труби через лінзи. Із збільшенням числа лінз і зменшенням відстані між ними поле зору ендоскопа збільшується.

Гнучкі ендоскопи містять джгути оптичних волокон діаметром, зазвичай, менше 0,3мм, що мають світлову жилу з прозорого матеріалу і оболонку з матеріалу з меншим показником заломлення.

Промені світла, падаючі на один торець такого волокна, завдяки повному внутрішньому віддзеркаленню на поверхні розділу жили і оболонки поширюються уздовж волокна до протилежного торця.

У джгутах, призначених для передачі світла до об'єктів, що оглядаються, оптичні волокна розташовані регулярно й ідентично на обох кінцях. Кожне волокно несе один елемент зображення. На вихідному торці зображення, передане джгутом, виходить мозаїчним. Вигин джгута не порушує зображення, що передається по ньому.

На кінцях джгута ендоскопа встановлюють об'єктив і окуляр (рис.6.4).

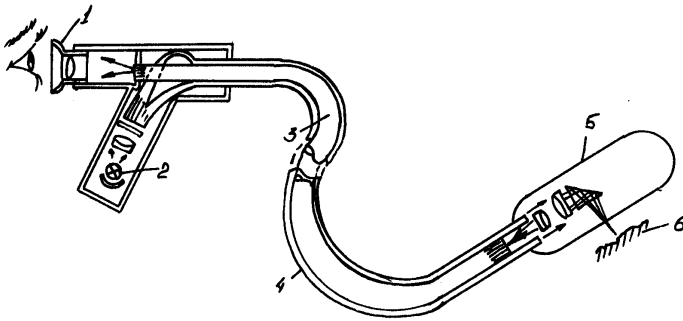


Рисунок 6.4 – Схема гнучкого ендоскопа

- 1 – окуляр; 2 – джерело світла; 3, 4 – джугти волокон ; 5 – голівка об'єктиву;
6 – об'єкт контролю

На ефективність оптико-візуального контролю суттєвий вплив має освітленість та його спрямованість. При вертикальному освітленні деталей можна побачити риски та інші сліди ковзання на поверхні.

Бокове і похиле освітлення збільшує враження від рельєфу внаслідок появи тіней від нерівностей.

У всіх випадках контролю забезпечують високу освітленість деталей, що оглядаються, приблизно до 4000...5000 лк. Така освітленість деталей є неодмінною умовою ефективного оптико-візуального контролю.

Загальні методи усунення дефектів зношених деталей спряжень. Зношування поверхонь спряжених деталей призводить до порушень розмірних зв'язків між деталями спряження, механізму або вузла. Ці зв'язки виражаються основним рівнянням розмірного ланцюга:

$$A\Delta = \sum_{i=1}^p A_{i3\delta} - \sum_{i=1}^q A_{i3\mu} , \quad (6.5)$$

де $A\Delta$ – замикаюча ланка; $A_{i3\delta}$ і $A_{i3\mu}$ – складові, які відповідно збільшують і зменшують ланки розмірного ланцюга; p і q – кількість збільшуваних і зменшуваних ланок.

У процесі роботи взаємопов'язаних деталей значення замикаючої ланки

змінюється. У той же час її розмір є одним із параметрів, граничне значення якого визначає втрату працездатності спряження (механізму, вузла). Відновлення працездатності за рахунок відновлення початкового значення замикаючої ланки може бути досягнуто шляхом впливу на зміну розмірів складових ланок.

Разом з тим у випадку багатоланкових розмірних ланцюгів відновлення працездатності механізму (вузла) початково-можливе за допомогою регульовальних операцій. Наприклад, регулювання зазору між клапаном і коромислом клапана газорозподільного механізму двигуна, між зубами конічних шестерень головної передачі заднього моста машини тощо.

Однак, оскільки у процесі зношування змінюються не тільки розміри, але й форми поверхонь тертя, відновлення замикаючої ланки регулюванням обмежене значенням похибки форми деталей. У цьому випадку необхідні інші способи відновлення розмірних ланцюгів.

Розглянемо ці питання для триланкових розмірних ланцюгів, які входять до складу розмірних ланцюгів механізмів і вузлів. Рівняння таких ланцюгів подаємо у вигляді:

$$S = A - B, \quad (6.6)$$

де S – зазор (у деяких випадках натяг); A – розмір отвору (охоплюючої поверхні, у тому числі, наприклад, шпонковий паз тощо); B – розмір вала (охопленої поверхні, у тому числі, наприклад, шпонка тощо).

Зміна розмірів A і B через зношування призводить до зміни зазору S , тобто зміни характеру посадки. Відновити посадку можна зміною розмірів зношених деталей A_p і B_p до значень A_n і B_n певними способами ремонтних впливів за умови збереження рівності:

$$S = A_n - B_n = A_p - B_p, \quad (6.7)$$

де індекс « n » відноситься до нових незношених деталей нормального розміру, тобто розміру за робочим (основним) кресленням.

Із аналізу наведеної рівності можна встановити загальні методи

відновлення посадки спряжених деталей.

На рис. 6.5, а зображена схема вихідного стану спряження, а на рис .6.5,б. б - з – після ремонтних впливів. Зношені поверхні позначені пунктиром.

Відновлення посадки одночасним збільшенням (див. рис.6.5,б) або зменшенням (див. рис.6.5, в) розмірів отвору і вала. Ці варіанти дозволяють відновити посадку, але розміри отвору і вала відрізнятимуться від розмірів, передбачених для виготовлення цих деталей. Розміри, встановлені для ремонту або виготовлення нової деталі, які відрізняються від аналогічних розмірів деталі за робочим (основним) креслеником, називаються ремонтними розмірами. Вони діляться на категорійні і пригоночні. Категорійними називаються ремонтні остаточні розміри деталей, встановлені для певних категорій ремонту, пригоночними – ремонтні розміри деталей, встановлені із врахуванням припуску на пригонку деталі за місцем призначення.

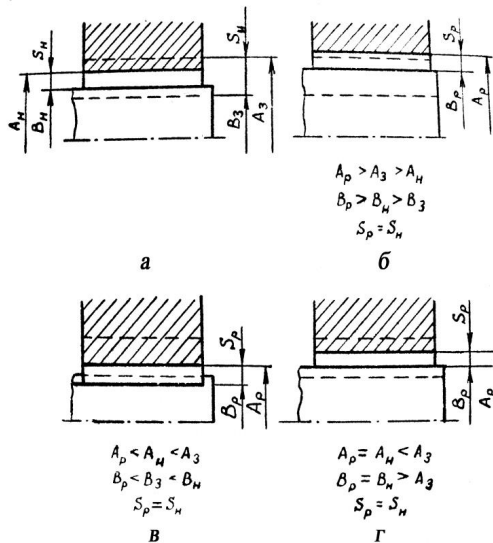


Рисунок 6.5 – Схеми варіантів загальних методів відновлення

Під час ремонту спряжень із відновленням тільки посадки використовуються деталі ремонтного розміру, при застосуванні яких одна з них піддається механічній обробці у процесі ремонту, а друга (збільшеного розміру

для валу і зменшеного розміру для отвору) випускається промисловістю у вигляді запасних частин. Деталь, яку механічно обробляють, коштує більше. Наприклад, відновлення спряження циліндр – поршень здійснюється механічною обробкою циліндра до ремонтного розміру, якому відповідає поршень ремонтного (збільшеного) розміру, що випускається промисловістю; зношені корінні і шатунні шийки колінчастого вала шліфуються і комплектуються із вкладишами ремонтного (зменшеного) розміру виробничого виготовлення.

Ремонтні розміри встановлюють виходячи із величини і характеру зношування поверхні. Таких розмірів для даної деталі може бути декілька.

На рис. 6.6 зображена схема формування ремонтного розміру для отвору і валу. Із схеми видно, що із урахуванням нерівномірності зношування перший ремонтний розмір може бути розрахований за такими залежностями:

- для отвору

$$D_{p1} = D_H + 2(U'_{max} + Z), \quad (6.8)$$

- для валу

$$d_{p1} = d_H - 2(U'_{max} + Z), \quad (6.9)$$

де D_H , і d_H – номінальні розміри отвору і вала;

U'_{max} – максимальне однобічне зношування;

Z – припуск на механічну обробку на бік.

Замість однобічного максимального зношування для розрахунку використовують коефіцієнт нерівномірності зношування, який визначається так:

$$K_{\kappa} = \frac{U'_{max}}{U'_{max} + U''}, \quad (6.10)$$

де U'' – діаметрально протилежне зношування відносно U'_{max} ; U – загальна величина зношування по діаметру; звідси $U'_{max} = K_{\kappa} U$, а залежність для розрахунку ремонтних розмірів набуває вигляду:

$$D_{p1} = D_H + 2(K_{нз}U + Z) \text{ і } d_{p1} = d_H - (K_{нз}U + Z) \quad (6.11)$$

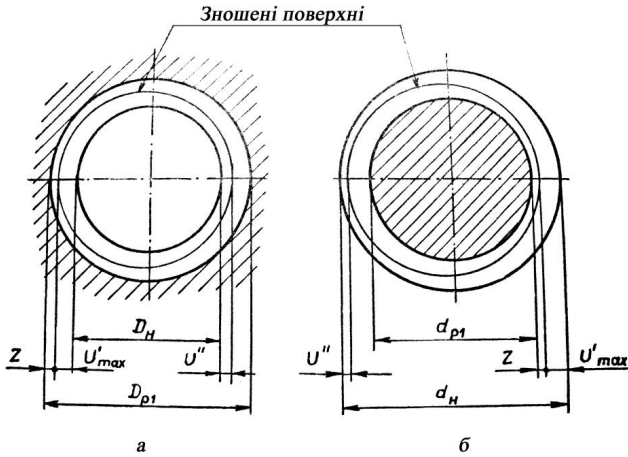


Рисунок 6.6 – Схема формування ремонтних розмірів:

a – отвору; *б* – валу

У випадку симетричного зношування відносно осі деталі $K_{нз} = 0,5$, у випадку однобічного – $K_{нз} = 1$, тобто $0,5 < K_{нз} < 1$. Величина $K_{нз}$ для конкретних деталей встановлюється експериментальним шляхом. Наприклад, для шийок колінчастого валу $K_{нз} = 0,7—0,8$, для циліндрів двигуна $K_{нз} = 0,6—0,7$.

Якщо вираз $2(K_{нз}U + Z)$, який визначає ремонтний інтервал позначити Δ , то розрахункові формули для ремонтних розмірів набудуть вигляду:

$$D_{pi} = D_H + i\Delta \text{ і } d_{pi} = d_H - i\Delta, \quad (6.12)$$

де i – номер ремонтного розміру (1, 2, ...).

Граничні, максимальний для отвору (D_{pmax}) і мінімальний для вала (D_{pmin}), ремонтні розміри призначаються з урахуванням можливого впливу зміни розмірів деталі на зменшення жорсткості і механічної міцності, на збільшення

питомого тиску і зниження поверхневої твердості ремонтваної деталі, інакше кажучи – на зниження ресурсу (строку служби).

За значеннями ремонтного інтервалу і граничних ремонтних розмірів отвору або валу можна визначити кількість ремонтних розмірів:

$$\text{- для отвору: } n_A = \frac{D_{p \max} - D_H}{\Delta}, \quad (6.13)$$

$$\text{- для валу: } n_B = \frac{d_H - d_{p \min}}{\Delta}. \quad (6.14)$$

Однак застосування ремонтних розмірів має суттєвий недолік – порушується взаємозамінність деталей (зберігається тільки у межах одного ремонтного розміру). Крім того, збільшується номенклатура запасних частин і ускладнюється організація процесів комплексування і складання вузлів, зберігання деталей на складах. Незважаючи на ці недоліки, застосування стандартних ремонтних розмірів виправдовується певною економічною доцільністю.

Відновлення посадки за рахунок зміни розмірів до початкових із дотриманням взаємозамінності відновлених деталей з новими розв'язується, перш за все, за тим же принципом, що й у випадку застосування деталей ремонтних розмірів, з тією різницею, що в одному випадку схема спряження виглядає так: оброблена деталь – зазор – нова деталь ремонтного розміру, а в другому – нарощена деталь – зазор – нова деталь стандартного розміру. Наприклад, зношене посадочне місце під підшипник кочення в картері коробки передач може бути відновлене місцевим залізненням із встановленням нового стандартного підшипника кочення.

Способів компенсації зношеного поверхневого шару багато і використовуються вони залежно від факторів, що впливають на інтенсивність зношування конкретного спряження, а також економічної доцільності способу. До останніх відносяться різні види наплавлення і напилення, електролітичні,

електрофізичні та інші види покриттів, встановлення додаткових деталей (наприклад, цілісні і скрутні втулки, приварювання металевої стрічки). Компенсація зношеного поверхневого шару наведеними способами – це частина технологічного процесу, після чого обов'язкова, як правило, розмірно-точносна, а нерідко і зміцнювальна обробка.

Життєвий цикл деталей машин, а отже термін служби виробів продовжують за рахунок відновлення зношених деталей (рис.6.7).

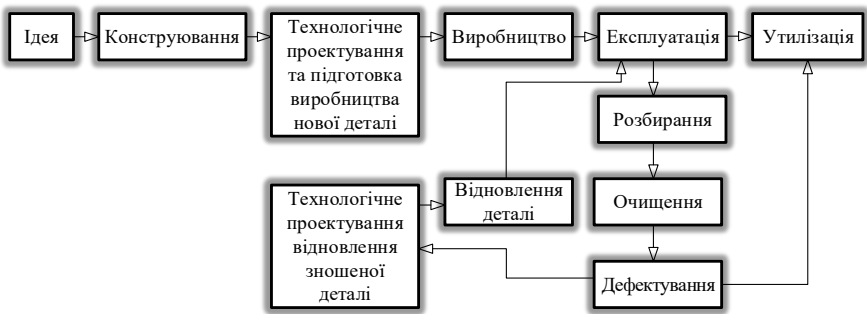


Рисунок 6.7 – Життєвий цикл виробу з уточненням етапів подовження термінів служби за рахунок відновлення зношених деталей

Відновлення спряження до початкових розмірів можливе способами компенсації зношеного поверхневого шару не тільки до однієї, але й одночасно до двох деталей спряження.

Для всіх методів відновлення посадки спряжень точність замикаючої ланки повинна відповідати початковій. Оскільки допуск замикаючої ланки дорівнює сумі допусків складових ланок, то допуск на обробку валу і отвору має бути таким, як при виготовленні нових деталей.

Балансування деталей і вузлів машин. Цій операції підлягають вироби із значними обертальними масами і великими кутовими швидкостями (колінчасті вали з маховиками, карданні вали, молотильні барабани тощо).

Унаслідок механічної незрівноваженості деталей виникають додаткові динамічні зусилля, які діють на підшипники та інші опори деталей. Усе це

призводить до вібрацій і, як наслідок, прискореного зношування спряжень і руйнування деталей. Для зрівноважування обертального тіла необхідно виконати дві умови: центр мас має знаходитися на геометричній осі обертання; вісь обертання – бути головною віссю інерції.

Ці умови витримуються під час проектування і виготовлення машин, однак у процесі експлуатації через зношування і деформації деталей, а також через ремонтні впливи порушуються умови зрівноваження. Тому обертальні елементи ремонттованих об'єктів повинні бути обов'язково збалансованими.

Розрізняють статичну і динамічну незрівноваженість (балансування). Статична незрівноваженість деталі – це незбігання її центра тяжіння з віссю обертання (рис.6.8). Наприклад, якщо до ідеально (теоретично) зрівноваженого тіла на відстані R_H від центра обертання O прикріпити тягарець масою m_H , то центр тяжіння його зміститься у бік вантажу. Виникає статична незрівноваженість, яка під час обертання тіла викликає дію відцентрової сили:

$$P_H = m_H R_H \omega^2, \quad (6.15)$$

де ω – колова швидкість тіла.

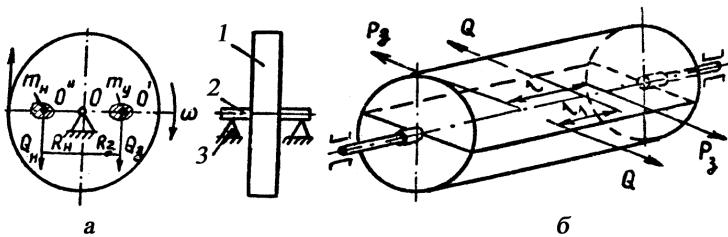


Рисунок 6.8 – Схема зрівноваження деталей під час балансування: а – статичного; б – динамічного; 1 – деталь; 2 – оправка; 3 – опора

Для усунення цього виду незрівноваженості застосовують статичне

балансування деталей і вузлів. Деталь 1 насаджують на гладеньку, точно оброблену і зрівноважену оправку 2, яку встановлюють на паралельні, строго горизонтальні опори з малим тертям (призми або підшипники). Під дією незрівноваженої маси деталь довільно повернеться і встановиться так, що маса знаходитиметься у крайньому нижньому положенні. Виявивши місце концентрації незрівноваженої маси (O''), необхідно у діаметрально протилежній точці (O') на відстані R_3 прикріпити тягарець масою m_3 . У цьому випадку деталь знаходиться в умовах рівноваги:

$$\Sigma M_o = Q_H R_H - Q_3 R_3 = 0 \quad (6.16)$$

Звідси маса зрівноваженого тягарця:

$$Q_3 = Q_H \frac{R_H}{R_3}, \quad (6.17)$$

Із наведеної залежності видно, що статична незрівноваженість не залежить від довжини, а тільки від діаметра деталі. Тому статичне балансування виконують для деталей (вузлів) з відносно великим діаметром і малою довжиною (маховики, шківів, диски тощо) шляхом знімання металу, викручування штифтів, встановлення додаткових шайб, пересування спеціальних тягарців.

Динамічна незрівноваженість виникає, якщо вісь обертання (вузла) не збігається з головною віссю інерції. Під час обертання вала (рис. 6.8, б) незрівноважені (за довжиною) маси викликають дію пари сил Q_{I1} , які намагаються повернути вісь вала на деякий кут, тобто змінити головну вісь інерції відносно осі інерції. Зрівноважується момент цієї пари іншою парою сил, прикладеною у тій же площині:

$$Q_{I1} = P_3 l, \quad (6.18)$$

де P_3 – зовнішня зрівноважувальна сила;

l – відстань (плече) пари зрівноважувальних сил.

Динамічному балансуванню підлягають деталі з великою довжиною і невеликим діаметром (колінчасті і карданні вали тощо). Динамічне балансування виконують на спеціальних балансувальних машинах.

Комплектування деталей – це підготовча операція до складання вузлів, агрегатів і машин.

В умовах основного виробництва деталі комплектують за номенклатурою, відповідною даній складальній одиниці, з урахуванням однорідності груп, у випадку селективного складання, а також підбирання деталей за масою.

Підбирання деталей за масою відноситься до деталей шатунно-поршневої групи двигунів і має важливе значення, оскільки різниця маси рухомих деталей від різних циліндрів може викликати вібрацію двигуна і підвищення інтенсивності зношування його деталей. Номер селективної групи і маса деталей маркуються на деталі.

Комплектування – частина виробничого процесу, що здійснюється перед складанням і має на меті забезпечити безперервність та збільшення продуктивності процесу складання для ритмічного виробництва та виготовлення виробів необхідного та постійного рівня якості та зниження трудомісткості та вартості складальних робіт.

Комплектування деталей полягає у підборі та припасуванні повного комплекту деталей, що входять до складу складальної одиниці. У комплект відбирають деталі, що відповідають технічним умовам, згруповані за масою, розмірами та іншими показниками. Наприклад, такі деталі, як поршні та шатуни двигунів внутрішнього згорання, призначені для установки в один двигун, не повинні значно відрізнятися за масою, щоб уникнути виникнення вібрації в процесі роботи.

Так як у однойменних деталей не можна отримати абсолютно однакові розміри, їх підбирають за розмірами. Для цього деталі, що охоплюються і

охоплюють, виготовлені із заданими допусками, сортують за кількома групами; деталі з максимально допустимими діаметрами отворів збирають із групою валів, діаметри яких виконані з найбільшими розмірами. Аналогічно деталі з діаметрами отворів, близькими до нижньої межі, збирають із валами мінімальних розмірів. Такий підбір деталей дозволяє дотримуватися необхідних посадок при відносно невисоких вимогах до точності деталей.

Комплектування деталей значно прискорює та спрощує складальні роботи. Однак на ремонтних підприємствах будівельних організацій не завжди вдаються до комплектувальних робіт, що передують складанню. У цьому випадку деталі виготовляють по розмітці та вимірюють універсальними вимірювальними інструментами, що не дає змоги отримати точні розміри. Тому, крім попереднього сортування та підбору деталей, при індивідуальному складанні за принципом часткової взаємозамінності необхідна точність сполучення досягається застосуванням компенсаторів або припасування деталей за місцем. При збиранні із застосуванням компенсаторів необхідну точність з'єднання отримують шляхом зміни розміру одного з елементів, що входять у вузол у процесі збирання.

Компенсатори виготовляють у вигляді прокладок, шайб, проміжних кілець, стяжних гайок, рухомих шліцевих з'єднань, різних муфт. Їхню установку передбачають при конструюванні вузла або машини. У сучасних машинах компенсатори поширені, оскільки вони знижують вартість і підвищують термін служби машин.

При складанні з припасуванням деталей за місцем необхідний характер сполучення досягається зняттям з поверхні однієї з деталей зайвого шару металу. Найчастіше застосовують такі види пригоночних робіт: зачищення, пришабрування, притирання, полірування, розгортання отворів за місцем.

Опиловку застосовують для зняття з поверхні шорсткостей і задирок з метою припасування поверхонь, що сполучаються. Опиловкою виправляють неточності форми, розмірів та відносного розташування поверхонь деталей. Для надання більшої чистоти обробки обпиляні поверхні зачищають

напилками, шкіркою та шліфувальними колами різних марок.Опилювання та зачищення деталей механізують, використовуючи пересувні електричні та пневматичні установки з гнучким валом, у патроні якого зміцнюють спеціальні круглі напилки або абразивні круги різних форм та розмірів.

Наступний комплекс робіт характерний для комплектування:

1. Підбір та пригін деталей в окремих з'єднаннях;
2. Підбір комплектуючих частин складального комплекту (групи деталей, складальних одиниць та комплектуючих виробів, що становлять той чи інший виріб) за номенклатурою та кількістю;
3. Підбір сполучених деталей за ремонтними розмірами, розмірними та масовими групами;
4. Накопичення, облік та зберігання нових, що пройшли відновлення та придатних без ремонту деталей, складальних одиниць і комплектуючих виробів, подання заявок на складові, що бракують;
5. Транспортування складальних комплектів до постів збирання на початок виконання складальних робіт.

Комплектування вузлів та агрегатів проводять згідно комплектувальної відомості з нових, відновлених та визнаних придатними до подальшої експлуатації деталей. У комплекті підбирають деталі, що відповідають вимогам технічних умов. Процес комплектування деталей включає попередній підбір деталей за розмірами, масою та іншими параметрами, а також виконання певних слюсарно-підгонкових операцій.

Слюсарно-підгонкові роботи виконують у процесі попереднього складання (запресування та обробка втулок шатунів, підганяння зазорів у замках поршневих кілець, притирання клапанів і т. д.).

Процес комплектування деталей проводять у певній послідовності. Зазвичай комплектують вузли, а потім із зібраних вузлів – агрегати. Підбір деталей для вузла починають з основної (базової) деталі вузла, що комплектується. Потім підбирають пов'язані з нею деталі. Дрібні деталі (прокладки, болти, гайки, шайби, шплінти та ін.) комплектують за кількістю

кожного вузла. Підібрані вузли та деталі укладають у спеціальну тару та відправляють на робочі місця збирання.

Розрізняють три способи комплектування деталей:

- штучний,
- груповий,
- змішаний.

При штучному комплектуванні виходячи з величини зазору або натягу, що допускається технічними умовами, до базової деталі підбирають деталь, що сполучається. Наприклад, поршні та гільзи двигуна Д-130 обробляють з широким полем допусків, внаслідок чого не кожен поршень може бути поставлений у будь-яку гільзу. За технічними умовами на складання нормальний проміжок між гільзою і поршнем повинен бути в межах 0,34-0,38 мм. Поршні для одного двигуна підбирають до гільз по зазору за допомогою двох щупів.

Недолік – при штучному доборі витрачається багато часу. Цей спосіб має сенс застосовувати на невеликих універсальних ремонтних підприємствах.

При груповому комплектуванні поле допусків розмірів обох деталей, що сполучаються ділять на кілька інтервалів, а деталі за результатами вимірювань сортують відповідно до цих інтервалів на розмірні групи. Цифрами, літерами або фарбами маркують розмірні групи деталей, що сполучаються. Групове комплектування використовують для підбору відповідальних деталей (гільз, поршнів, пальців поршневих, колінчастих валів, плунжерних пар).

При змішаному комплектуванні деталей використовують обидва способи. Менш відповідальні комплектують – штучним способом, а відповідальні деталі – груповим.

З способом забезпечення точності при складанні в тісному зв'язку знаходиться спосіб комплектування деталей.

Практика роботи низки ремонтних підприємств виробила деякі заходи, що сприяють зниженню трудомісткості цього процесу:

1. Комплектування окремих вузлів, а не агрегатів. Така організація сприяє більш рівномірному навантаженню комплектувальників і збиральників, особливо при затримках у подачі на комплектування одну або двох деталей. В цьому випадку при порушенні комплектності одного-двох вузлів, решта може бути укомплектована і зібрана без затримок.

2. Виділення з комплектів агрегатів всіх дрібних деталей і нормалей типу шайб, гайок, болтів, шпильок, прокладок, пружин, шплінтів та подібних деталей, що комплектуються зазвичай лише кількісно. Такі дрібні деталі слід передавати на складання великими партіями, створюючи заділ на тижневу або двотижневу програму.

3. Застосування комплектувальної тари, яка полегшує процес комплектування, оберігає деталі від розкомплектування та полегшує їх транспортування. Тара є ящиками з відділеннями за розмірами деталей, а для більших комплектів – пересувні стелажі.

«Індустрія 4,0» у технічному сервісі АПК. «Індустрія 4.0» – це майбутнє виробництва, машинобудування та технічного сервісу. Це збірний термін, що означає поєднання інноваційних технологій, додатків та цифрових процесів. Інноваційність – це здатність випереджати майбутнє.

«Індустрія 4.0» є цифровою трансформацією виробництва, і в даний час зосереджена на таких вигодах і потенціалах таких як:

- підвищення продуктивності, автоматизація та оптимізація операційних процесів, бізнес-процесів, використання промислового інтернету.
- використання інформаційно-комунікаційних технологій для переведення інформації в цифровий формат та інтеграції систем на всіх етапах створення та використання продукції (включаючи логістику та постачання);
- кіберфізичні системи, для моніторингу та контролю фізичних процесів та систем;
- обмін даними по мережі, включаючи бездротові та веб-технології, що використовуються для зв'язку обладнання, продуктів, систем та людей як

усередині середовища виробничого об'єкта, так і з постачальниками та дистриб'юторами;

- симуляція, моделювання та віртуалізація на етапі проектування продуктів та при організації виробничих процесів;

- великі набори даних, а також їх аналіз та хмарних обчислень;

- покращений доступ до точної та актуальної інформації, включаючи можливість приймати зважені рішення, а також більш точне прогнозування.

У міру розвитку технологій стираються межі між фізичним та цифровим світом. Індустрія 4.0 дозволить промисловій галузі та технічному сервісу машин вийти на принципово новий рівень продуктивності, безпеки та ефективності роботи. Прискорення застосування технологічних нововведень, які буквально через рік-два стають уже не нововведеннями, стрибок саме в галузі мікроелектроніки та її похідних. Крім того, прорив у розвитку програмного забезпечення, що дозволило по-новому підходити до процесу проектування, виготовлення і технічного сервісу тракторів, сільськогосподарської техніки автомобілів, а також до проектування технології виробництва та технічного сервісу.

Для виробника, який перейшов на новий промисловий уклад, відкриваються значні переваги:

- зростання продуктивності з допомогою автоматизації;

- підвищення якості продукції;

- кастомізація продукції, кожен клієнт зможе отримати варіацію вашого продукту саме під його потреби;

- випередження конкурентів, які все ще «розгойдуються» і продовжують працювати по-старому з масовим використанням ручної праці;

- скорочення кількості помилок та проблем, викликаних людським фактором.

- • здатність брати участь у розробці проектів машинобудівних виробів та виробництв з урахуванням технологічних, конструкторських, експлуатаційних, естетичних, економічних та управлінських параметрів,

аналізувати та вибирати оптимальні рішення, прогнозувати їх наслідки, планувати реалізацію проектів;

- здатність розробляти та впроваджувати ефективні технології виготовлення реновації машинобудівних виробів, брати участь у модернізації та автоматизації діючих та проектуванні нових машинобудівних виробництв різного призначення, засобів та систем їх оснащення, виробничих та технологічних процесів з використанням автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва.

Четверта промислова революція – це об'єднання промисловості та цифрових технологій, що призводить до створення цифрових виробництв або розумних заводів, майстерень та СТО, де всі пристрої, машини, продукція та люди спілкуються між собою за допомогою цифрових технологій та інтернету

РОЗДІЛ 7

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЕФЕКТИВНОСТІ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Джерело економічної ефективності ремонтного виробництва. Оцінка ефективності відновлення деталей. Обґрунтування часу дії ремонту машин. Методики розрахунку довговічності відновлених деталей при рідинному та граничному терті. Безрозбірні методи підвищення довговічності сполучень.

Необхідність ремонту машин у процесі їх експлуатації пояснюється технічними та економічними причинами.

З технічного погляду ремонт машин є об'єктивно необхідний у зв'язку з низьким коефіцієнтом рівномірності машин. Машина складається з великої кількості різноманітних конструктивних елементів (деталей). Кожен з цих елементів виготовлений з різних матеріалів (сірий, ковкий, високоміцний чавуни, мало-, середньо-, високовуглецеві сталі, леговані, високолеговані сталі, кольорові метали, пластмаси та інші матеріали), підданий різним видам термообробки, працює в різних умовах і випробовує різні навантаження. Усе це зумовлює різний термін служби деталей. Наприклад, для автомобіля ресурси окремих деталей коливаються від 25 до 450 тис. км. У плуга термін служби окремих елементів залежно від видів оброблюваних ґрунтів і коливається від кількох (5-15) днів до кількох (6-8) років. Причому деталі, що мають малий ресурс, зазвичай недорогі за вартістю. Деталі, що мають значний ресурс та термін служби, як правило, металомісткі, дорогі.

Щоб забезпечити повне використання ресурсу більшості конструктивних елементів, у тому числі базових, найбільш дорогих, необхідно замінювати або відновлювати окремі деталі, термін служби яких менший, ніж у базових деталей.

Рівномірність машини оцінюється коефіцієнтом, що визначається з виразу:

$$K_p = \frac{\sum Q_i}{\sum n_i Q_i + \sum Q_i}, \quad (7.1)$$

де K_p – коефіцієнт рівномірності; ($\sum Q_i$ – вартість i -го конструктивного елемента нової машини, грн.; n_i – кількість заміни i -го конструктивного елемента за термін служби машини).

Відповідно до проведених досліджень значення коефіцієнтів рівномірності деяких видів машин склали: для тракторів – 0,35-0,45 (менше значення для гусеничних тракторів за рахунок зміни гусениць); вантажних автомобілів – 0,45-0,5; зернових комбайнів – 0,55-0,7; плугів – 0,4-0,45; сівалок зернових – 0,8-0,85.

Чим нижче коефіцієнт рівномірності машини, тим більше витрат на заміну деталей у процесі експлуатації та витрат на її ремонт. Коефіцієнт рівномірності машини, близький до одиниці, означає, що більшість її складових елементів приблизно однаковий і замінювати їх, тобто. ремонтувати машину в процесі експлуатації, очевидно, немає сенсу. Безперечно, у сучасних машин значення коефіцієнтів рівномірності дещо зросли. Однак, судячи з витрат запасних частин на підтримку машин у працездатному стані, у тому числі й імпортованих, значення коефіцієнтів рівномірності залишаються досить високими, особливо після 4-5 років експлуатації.

У розвинених капіталістичних країнах реновація (відновлення) машин проводиться і проводилася завжди у формі фірмового ремонту, тобто з ініціативи заводу-виробника техніки. Неважко підрахувати, що втрата маси деталей трактора чи автомобіля від зношування не перевищує 0,5%, а за деталями прецизійної групи – 0,1%. Тобто в процесі ремонту понад 99% матеріалу, виробництво якого вже потребувало великих енергетичних та економічних витрат, а також привнесло значні забруднення до навколишнього середовища, можна зберегти, базуючись на високому рівні культури виробництва машинобудівного заводу. У добре організованому процесі реновації якість відновлених деталей може бути не гірше, а іноді і краще деталей, що знову виробляються, що забезпечує високу рентабельність

реноваційного виробництва. Відновлені деталі нарівні з новими надходять на складання, при цьому виробники не зацікавлені в інформуванні споживача про те, які та скільки відновлених деталей є в автомобілі. Усе це й породжує ілюзію, ніби у країнах із розвиненим автомобілебудуванням відсутня реновація цієї продукції.

Як аргумент доцільності реноваційного машинобудування можна навести аналіз хоча б лише екологічних проблем, що виникають у зв'язку з виробництвом та експлуатацією машин.

Таким чином, знання методів відновлення деталей, що зазнали процесів старіння під час експлуатації, розуміння відмінностей технологій виготовлення від технологій його ремонту є необхідною умовою підготовки висококваліфікованих інженерних кадрів у сфері машинобудування.

Джерела економічної ефективності ремонтного виробництва. Ефективність ремонту машин обумовлюється ефективністю ремонтного виробництва та суспільною корисністю подальшої експлуатації відремонтованих техніки.

Аналіз ефективності ремонтного виробництва є об'єктивно необхідний для досягнення за певної спрямованості технічних і організаційних заходів великого зростання продуктивності громадської праці. Необхідність її аналізу обумовлено наступним.

По-перше, тим, що у кожний період розвитку суспільства, його потреби завжди більше можливостей для їх задоволення. Але оскільки ремонтне виробництво вимагає менших витрат виробничих ресурсів, ремонт машин постає як засіб прискорення темпів зростання громадського виробництва й у результаті як найповнішого задоволення суспільних потреб при однакових ресурсних можливостях. Відтворення машини внаслідок проведення капітального ремонту потребує суттєво меншої кількості металу через повторне використання деталей, отже, витрачається менше електроенергії та інших виробничих ресурсів.

По-друге, ремонтне виробництво різних галузях господарства країни з

часом змінюється. Це означає, що ефективність ремонту різна, і завдяки кількісній її оцінці можна виявити найпрогресивніші рішення для подальшого їх поширення, що створює можливість для більшої економії суспільної праці.

По-третє, в умовах розвиненого виробництва та при постійному зростанні задоволення суспільних потреб перед суспільством постає ряд таких завдань, як, наприклад, доцільність продовження термінів служби масових машин за рахунок їх капітального ремонту; обґрунтування прискорених темпів технічного процесу та на цій основі оптимізація строків заміни застарілої техніки новою тощо. Рішення цих та інших завдань формує у суспільства уважний підхід до вирішення питання про спрямування докладання своєї праці для досягнення найвищих цілей. Чим ефективніше суспільство зможе використовувати готівкові ресурси, чим більші ресурси воно відтворить, тим повніше задовольнить свої потреби та створить передумови для кращого задоволення потреб у перспективі.

Таким чином, стратегія ремонту є комплексом правил, що обґрунтовують доцільність заходів, спрямованих на відновлення працездатності машин.

Структура стратегії ремонту являє собою систему взаємопов'язаних принципів (тобто складових її елементів), які конкретизують зміст стратегії ремонту відповідно до умов її реалізації.

Виявивши оптимальні стратегії ремонту машини для характерних умов експлуатації, визначають методи ремонту, різновиди ремонтних підприємств, розробляють прогресивні технологічні процеси відновлення, типове ремонтне обладнання тощо.

При визначенні доцільних технологічних методів відновлення деталей та складальних одиниць враховують такі можливі рішення для забезпечення необхідного рівня якості ремонту:

1. Використання запасу ресурсів окремих конструктивних елементів автомобіля на момент його капітального ремонту дозволяє повторно використовувати значну кількість його деталей без ремонтного впливу з допомогою встановлення обґрунтованих допустимих розмірів, які

відрізняються від розмірів нових деталей розширеними допусками.

2. Перерозподіл точності між окремими деталями в межах рекомендованої при виготовленні точності ланки зварювальної одиниці, що замикає. Якщо на заводі-виробнику точність обробки окремих поверхонь деталі встановлюють, виходячи з мінімальних витрат на їх виготовлення, то при ремонті їх необхідно встановлювати, виходячи з мінімальних витрат на відновлення.

3. Компенсація зношування інформації деталей за рахунок застосування відповідних методів забезпечення необхідної точності складального розміру. При цьому замість методів повної або неповної взаємозамінності використовують методи групової взаємозамінності, регулювання та ін.

4. Зміна номінальних розмірів сполучення із забезпеченням рекомендованих при виготовленні точностних параметрів, шорсткості поверхонь та фізико-механічних властивостей матеріалів деталей. Зазвичай нормативно-технічною документацією для відповідальних сполучень, як гільза циліндрів - поршень, шийка колінчастого валу - вкладиш підшипника та інші, заздалегідь встановлюється кілька нових номінальних значень діаметрів (два і більше), під які і обробляють відповідні поверхні цих деталей. Такий ремонт називають методом ремонтних розмірів.

5. Відновлення розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь, шорсткості та фізико-механічних властивостей матеріалів деталей до значень, рекомендованих заводом-виробником. У цьому випадку компенсація зносу та деформації деталей здійснюється нанесенням металу напиленням, гальванічним способом, наплавленням, заміною зношеної частини або постановкою додаткових ремонтних деталей.

Оцінка ефективності методів відновлення деталей. Дуже суттєвим питанням техніко-економічної рентабельності відновлення деталей є визначення критеріїв оцінки ефективності способів відновлення та розробки методики вибору раціонального способу відновлення зношених деталей.

Першим критерієм при оцінці способів відновлення деталей є

забезпечення на поверхні тертя такої зносостійкості та міцності відновленої деталі, які б гарантували довговічність не менше 0,8 ресурсу нової машини до першого капітального ремонту:

$$B_e \geq 0,8L, \quad (7.2)$$

де B_e – ресурс відновленої деталі; L – ресурс нової машини до капітального ремонту.

Цей критерій є основним та вирішальним при виборі способу відновлення зношених деталей.

Другим критерієм оцінки способу відновлення деталей є собівартість робіт, пов'язана з повним процесом відновлення зношеної чи пошкодженої деталі. Собівартість відновлення деталей повинна бути нижчою за вартість нової заводської деталі.

Якщо суму виробничих витрат, необхідних для відновлення деталі в умовах ремонтного підприємства (заробітна плата виробничих робітників, вартість матеріалів, що витрачаються на відновлення деталі, та вартість металу при здачі деталі в брутто, накладні витрати), позначити через $S_{ВД}$, а вартість нової заводської деталі – через $S_{НД}$, то має існувати така залежність:

$$\frac{\sum S_{ВД}}{S_{НД}} \leq 1. \quad (7.3)$$

Третім критерієм оцінки ефективності способу відновлення деталей є вартість експлуатаційних витрат, що обумовлена особливостями нової поверхні тертя. Наслідком цих особливостей є зменшення чи збільшення витрати мастильних матеріалів, зменшення чи збільшення витрат часу проведення технічного обслуговування, зменшення чи збільшення ресурсу сполученої деталі.

Якщо суму всіх експлуатаційних витрат, пов'язаних з обслуговуванням

деталі, що відновлюється під час ремонту, позначити через ΣS_e та відповідні витрати при обслуговуванні нової заводської деталі – через ΣS_e , то цей критерій має бути виражений такою залежністю:

$$\Sigma S_e \leq \Sigma S_e. \quad (7.4)$$

Техніко-економічну ефективність способу відновлення деталей під час ремонту машин можна виразити так. Спочатку встановлюють вартісний показник відновлення непридатної для роботи деталі за такою формулою:

$$\delta_{ВД} = \frac{\Sigma S_{ВД}}{L} \alpha, \quad (7.5)$$

де $\delta_{ВД}$ – вартісний показник відновлення деталі, непридатної для роботи, грн. на 1 км міжремонтного пробігу; $\Sigma S_{ВД}$ – собівартість відновлення деталі, грн.; L – міжремонтний термін служби машини, км (год, інших одиниць); α – коефіцієнт, що характеризує відношення вартості експлуатаційних витрат на обслуговування відновленої деталі ΣS_e до вартості експлуатаційних витрат обслуговування заводської деталі, тобто:

$$1 < \alpha = \frac{\Sigma S_B}{\Sigma S_e} < 1 \quad (7.6)$$

Потім встановлюється вартісний показник у разі заміни непридатної до роботи нової деталі:

$$\delta_{НД} = \frac{S_{НД}}{L}, \quad (7.7)$$

де $\delta_{НД}$ – вартісний показник заміни непридатної деталі новою, грн. (на 1 км за 1 год, мото-годину, або на одиницю інших величин, що характеризують

міжремонтний цикл); $S_{но}$ – вартість нової деталі, грн.

Відношення вартісних показників $\delta_{ВД}$ до $\delta_{НД}$ за сукупністю всіх критеріїв характеризує економічність відновлення зношених деталей у вибраний спосіб:

$$\beta = \frac{\delta_{ВД}}{\delta_{НД}} \leq 1, \quad (7.8)$$

де β – показник економічності відновлення зношеної або вибракованої деталі.

Слід мати на увазі, що показник β може мати два значення:

$$\beta < 1, \beta = 1. \quad (7.9)$$

При $\beta < 1$ спосіб відновлення деталей є найбільш раціональним. Він задовольняє вимогам першого критерію, тобто забезпечує високу зносостійкість та міцність деталі в межах не менше 0,8 ресурсу нової машини, задовольняє вимогам другого та третього критеріїв, тобто є економічно рентабельним. Собівартість відновленої цим способом деталі нижче вартості нової деталі.

При $\beta = 1$ спосіб відновлення деталей задовольняє вимогу першого критерію і не призводить до підвищення витрат при ремонті та експлуатації у разі заміни зношеної деталі нової. Спосіб може бути рекомендований, особливо при дефіциті запасних частин.

Однак якщо вимоги першого критерію задовольняються, а другого чи третього немає, потрібно дослідити і проаналізувати другий і третій критерії з метою встановлення причини, що зумовлює високе значення показника економічності.

Якщо в результаті такого аналізу виявиться, що високе значення показника економічності пояснюється високою собівартістю відновлення деталі (що найчастіше буває), слід шукати шляхи зниження трудомісткості робіт

впровадженням більш ефективних режимів обробки і застосуванням високопродуктивних пристроїв.

Середні витрати на матеріали при відновленні становлять 6,6% від загальної вартості, а при виготовленні деталей – 38%. Порівняно з виготовленням нових деталей для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в 5,8 разів менше технологічних операцій.

Витрати на капітальний ремонт машини становлять 40-60%, агрегатів – 25-65%, деталей – 15-70% вартості відповідних виробів, що виготовляються. При виготовленні техніки 65-80% витрат припадає на матеріали та комплектуючі вироби, при капітальному ремонті ці витрати становлять 20-40%.

Зарубіжні фірми, ґрунтуючись на своєму досвіді, стверджують, що організація ремонту на заводі-виробнику дозволяє забезпечити ресурс, що дорівнює ресурсу нового виробу. Але такі дані сумнівні, тому що в процесі експлуатації деталі в результаті накопичення втомних явищ ресурс, природно, змінюється.

Чинники, що впливають на ефективність роботи ремонтного підприємства. Для кількісної оцінки ефективності виробництва використовують частні показники, наприклад зростання продуктивності праці, обсяг виробництва, повну собівартість, основні фонди та ін.

Останнім часом для кількісної оцінки економічної ефективності виробництва запропоновано узагальнюючий показник, що представляє природні ресурси та накопичену науково-технічну інформацію. Останні два види ресурсів через відсутність методик кількісної оцінки вкладу в ефективність виробництва в розрахунках не враховують, хоча вони дуже впливають на кінцеві результати виробництва.

Для виявлення та аналізу впливу основних факторів на економічну ефективність ремонтного виробництва можна використовувати узагальнюючий показник, який розраховують за такою формулою:

$$P_e = \frac{Q}{p+m+n}, \quad (7.10)$$

де Q – обсяг валової продукції, виробленої ремонтним підприємством або всією галуззю, скоригованою з урахуванням якості; p – чисельність робочої сили; m – основні фонди, виміряні в умовній чисельності за еквівалентом, що встановлюється в результаті факторного аналізу продуктивності; n – оборотні засоби (запасні частини), виміряні також в умовній чисельності за еквівалентом.

Порівняння чисельності робочої сили, основних фондів і витрати запасних частин доцільно ґрунтувати за нормою взаємозамінності, що фактично склалася. Для цього за допомогою кореляційного та регресійного аналізу можна встановити наявність зв'язку та з'ясувати вплив зростання фондоозброєності та питомої витрати запасних частин на вироблення одним працівником.

Зіставлення коштів, використаних для підвищення фондоозброєності праці та збільшення питомої витрати запасних частин з отриманим умовним вивільненням працівників в результаті зростання продуктивності праці дає підстави встановлення коефіцієнтів еквівалентності фондів і чисельності працівників, витрати запасних частин і чисельності працівників.

Дослідженнями встановлено, що між продуктивністю праці та фондоозброєністю, а також між продуктивністю праці та питомою витратою запасних частин є тісний лінійний зв'язок наступного виду:

$$P_m = b_0 + b_1 \Phi_e, \quad (7.11)$$

$$P_m = b'_0 + b'_1 q, \quad (7.12)$$

де P_m – продуктивність праці, тобто вироблення продукції одним працівником; b_0 , b'_0 , b_1 , b'_1 – коефіцієнти рівнянь регресії; Φ_e – фондоозброєність; q – питомі (на одного працівника) витрати запасних частин на рік.

У першому рівнянні регресії коефіцієнт b_1 враховує внесок

фондоозброєності та кількісно визначає суму виробітку на одиницю фондоозброєності. У другому рівнянні регресії коефіцієнт b_1 визначає суму виробітку одного працівника на одиницю витрат, пов'язаних з витратою запасних частин. Коефіцієнти b_0 та b_0 показують вплив продуктивні праці неврахованих чинників.

Дійсно, на зростання продуктивності праці впливає внесок попередніх поколінь, у тому числі публікації різних авторів у технічній літературі та інших джерелах, винаходи та відкриття, консультації, якими користуються споживачі; природні умови та умови праці.

Використовуючи наведені вище формули, за фондоозброєністю і витратою запасних частин можна розрахувати вироблення одного працівника. Результати розрахунків можна також вважати як витрати на основні фонди чи витрати запасних частин, відповідні за своїм ефектом вивільненню одного працівника внаслідок підвищення продуктивності праці. Коефіцієнти в рівняннях регресії визначаються за методом найменших квадратів, а наявність зв'язку встановлюється за величиною розрахункового коефіцієнта кореляції. Зв'язок вважається тісним, якщо коефіцієнт кореляції дорівнює чи більше 0,70-0,75.

Для подання основних фондів ремонтного підприємства, річних витрат запасних частин як умовної чисельності працівників, можна скористатися коефіцієнтами еквівалентності.

Коефіцієнт еквівалентності є непрямим значенням суми витрат за основні фонди чи запасні частини, що забезпечує зростання продуктивність праці на величину вироблення одного працівника. Величину коефіцієнта еквівалентності K_e визначають розподілом виробітку одного працівника у відповідному періоді на коефіцієнт при фондоозброєності або питому витрату запасних частин, взяту з нижче наведених рівнянь регресії:

$$K_e = \frac{\Pi_m}{b_1}, \quad (7.13)$$

$$K_e^* = \frac{\Pi_m}{b_1}, \quad (7.14)$$

де K_e – коефіцієнт еквівалентності одного умовного працівника у формі основних фондів; K_e^* – коефіцієнт еквівалентності одного умовного працівника у вигляді витрат запасних частин.

Умовна чисельність працівників m і n , у свою чергу, є результатом поділу відповідно сум основних фондів ремонтного підприємства на фонди, еквівалентні одному звільненому працівнику, та річної витрати запасних частин на величину витрати, еквівалентної одному звільненому працівнику:

$$m = \frac{\Phi}{K_e}, \quad (7.15)$$

$$n = \frac{G}{K_e}, \quad (7.16)$$

де Φ – основні фонди підприємства; G – витрата запасних частин на рік.

При визначенні обсягу валової продукції необхідно враховувати зростання її якості. Якість продукції впливає на ефективність виробництва у тому сенсі, що поліпшення якості своєї продукції рівнозначно збільшенню обсягу виробничої продукції колишнього рівня якості. Тому необхідно при аналізі ефективності виробництва наводити продукцію Q до одного рівня якості і коригувати з цієї причини обсяг виробництва за формулою:

$$Q = \frac{Q_\phi}{\eta_n} \eta, \quad (7.17)$$

де Q_ϕ – фактичний обсяг валової продукції; η – середнє значення показника якості виробленої продукції; η_n – середнє значення нормативного показника якості продукції, що випускається.

Показники, які розраховують за наведеними нижче формулами, може бути використані як для порівняльного аналізу рівнів ефективності в різних галузях, підприємствах, так і для вивчення динаміки на одному об'єкті. Якщо порівнюють ефективність двох виробництв, визначають коефіцієнт порівняльної ефективності. Якщо ж вивчають динаміку зростання ефективності одного виробництва, то визначають коефіцієнт зростання ефективності одного виробництва. Коефіцієнти порівняльної ефективності та зростання ефективності розраховують за формулами:

$$K_{ci} = \frac{P_{ei}}{P_{eб}}, \quad (7.18)$$

$$K_{pi} = \frac{P_{eip}}{P_{eбp}}, \quad (7.19)$$

де P_{ei} , $P_{eб}$ – відповідно показники ефективності аналізованого та базового підприємства; P_{eip} , $P_{eбp}$ – відповідно показники ефективності аналізованого та базового процесів (періодів).

Капітальний ремонт машин виявляється економічно ефективним у тому випадку, якщо сумарні витрати за термін служби відремонтованої техніки будуть найменшими порівняно з витратами за інших можливих варіантів, тобто якщо виконуються такі нерівності:

$$S_p(t) < S_n(t); S_p(t) < S_c(t) \text{ та } S_p(t) < S_m(t), \quad (7.20)$$

де $S_p(t)$ – сумарні витрати на термін служби відремонтованого автомобіля; $S_n(t)$, $S_c(t)$, $S_m(t)$ – сумарні витрати за термін служби відповідно до нового, старого та модернізованого автомобіля.

При оцінці економічної ефективності капітального ремонту у разі дефіциту техніки у народному господарстві слід враховувати можливі втрати за

порівнюваними варіантами через їхню різночасність реалізації. Наприклад, збільшення виробництва нової техніки вимагає прямих капіталовкладень безпосередньо в автомобільну промисловість, приблизно в 7-8 разів більших, ніж проведення капітального ремонту такої ж кількості техніки. Крім того, у цьому випадку пов'язані витрати також будуть мінімум у 2 рази більшими, ніж при капітальному ремонті, оскільки на виготовлення техніки витрачається матеріалів на 50-60% більше і електроенергії потрібно в 3-4 рази більше, ніж при ремонті. Звичайно, це потрібно врахувати для підготовки виробництва з випуску капітально відремонтованих машин. Припустимо, що ця різниця в часі становитиме t_0 років.

$$\Delta S = Pt_0 = (QC_u - S)t_0, \quad (7.21)$$

де P – середній річний прибуток від однієї машини за термін його служби; Q – середня річна продуктивність одного відремонтованого автомобіля; C_u – вартість одиниці виконаної транспортної роботи автомобіля після капітального ремонту; S – середні річні витрати на експлуатацію одного капітально відремонтованого автомобіля.

Таким чином, визначення ефективності капітального ремонту техніки є багатокроковим процесом, для якого постійно необхідно збирати відповідну інформацію та знаходити найкраще рішення на основі динамічного програмування.

Обґрунтування термінів ремонту деталей. Оптимально тривалість дії технології ремонту деталей визначається темпами розвитку відновлювальної технології та особливо темпами науково-технічного прогресу в галузі виробництва технологічного обладнання для ремонту та пошуку принципів організації виробництва, що інтенсифікують. З розвитком техніки і досконалості організації відбувається заміна використовуваних ремонтними підприємствами технологічних процесів у зв'язку з тим, що відносна корисність (ефективність) нових технологічних процесів зростає, тоді як відносна

корисність колишніх процесів у розвиток підприємства втрачає силу.

Заміна технологічного процесу супроводжується, як правило, зміною обладнання та переплануванням ділянки з ремонту деталей, тобто додатковими капітальними вкладеннями. Тому для обґрунтування додаткових витрат визначають термін дії існуючої технології або варіанта технологічного процесу, що знову розробляється, виходячи з оптимального вирішення питання.

Встановити оптимальний термін дії процесу можна двома методами. За першим методом як основний критерій при встановленні оптимального терміну дії технології використовують максимальні середньорічні темпи зростання продуктивності праці, які досягаються за весь термін її дії. За другим методом основним критерієм для встановлення оптимального терміну дії технології є мінімальна повна собівартість ремонту при ефективному використанні капіталовкладень, що забезпечує максимальне зростання продуктивності суспільної праці.

Виходячи з цих міркувань, під оптимальним терміном дії технології слід розуміти термін дії, який дозволяє досягти максимального річного приросту продуктивності суспільної праці за весь термін її дії та задовольнити потреби підприємства у відновлюваних деталях з найменшими чи допустимими витратами суспільної праці.

При встановленні оптимального терміну дії технології на основі першого методу виходять із визначення терміну дії, що відповідає максимальним середньорічним темпам зростання продуктивності праці за період її дії. Оптимальний термін дії технології визначається таким чином. З рис. 7.1 можна побачити, що термін t_{cd} її технології забезпечує найвищий середньорічний приріст продуктивності праці. Для меншого терміну дії, ніж термін t_{c8} а також більшого періоду її дії, темпи зростання продуктивності праці виявляються меншими.

Таким чином, можна констатувати, що за термін дії технології темпи зростання продуктивності праці змінюються і є лише одне їхнє екстремальне значення (рис.7.2).

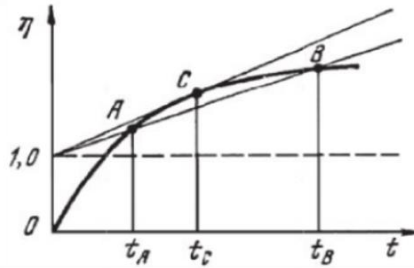


Рисунок 7.1 – Визначення терміну прогресивності технології

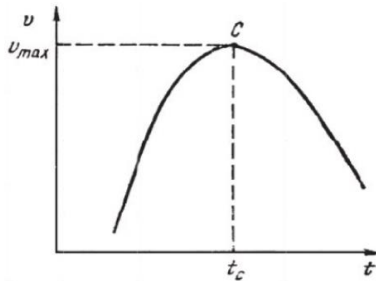


Рисунок 7.2 – Зміна середньорічного приросту продуктивності v суспільної праці залежно від терміну дії технології t

Розрахунок деталей, що відновлюються, на довговічність по зносостійкості для обертального руху при граничному терті. За певних умов роботи механізму (за високих тисків) закони гідродинамічної теорії мастила непридатні.

У цьому випадку слід скористатися закономірностями теорії граничного тертя. Для визначення граничного та оптимального зазорів вважаємо, що підшипник безпосередньо сприймає навантаження від валу у зв'язку із гранично тонким шаром мастила. Тиск, що передається валом на підшипник, у місці контакту утворює майданчик змінання. Між величиною максимальної напруги змінання, що діє по осі симетрії майданчика змінання, і величиною зазору існує наступна залежність p_{max} .

$$p_{\max} = 1,9 \sqrt{\frac{P}{dl} \frac{\psi}{\frac{1}{E_e} + \frac{1}{E_n}}} \quad (7.22)$$

де P – навантаження на опору; d – діаметр валу; l – довжина майданчика зминання (довжина підшипника); ψ – відносний зазор; E_e – модуль пружності матеріалу валу; E_n – модуль пружності матеріалу підшипника

Відносний зазор:

$$\psi = \frac{D-d}{d} = \frac{s}{d} \quad (7.23)$$

де D – діаметр підшипника, мм; d – діаметр валу, мм; s – діаметральний зазор між валом та підшипником, мм.

Виразивши відносний зазор через діаметральний і підставивши його в рівняння, отримаємо залежність максимального тиску зминання p_{\max} від величини граничного зазору $s_{\text{пред}}$.

$$p_{\max} = 1,9 \sqrt{\frac{P}{d^2 l} \frac{s_{\text{пред}}}{\frac{1}{E_e} + \frac{1}{E_n}}} \quad (7.24)$$

Вирішивши рівняння щодо $s_{\text{пред}}$ отримаємо:

$$s_{\text{пред}} = \frac{p_{\max}^2 d^2 l (E_e + E_n)}{3,61 P E_e \cdot E_n} \quad (7.25)$$

Встановлений граничний зазор відноситься до випадку гранично тонкого шару мастила, який адсорбційними силами міцно пов'язаний з твердою поверхнею підшипника і при дії підвищених тисків не руйнується. Номінальний зазор у підшипнику для граничного тертя можна встановити виходячи з величини середньої напруги зминання:

$$p_{cp} = \frac{P}{dl}. \quad (7.26)$$

де P – навантаження на опору; l – площа зминання.

Середня напруга зминання в 1,5 рази менша за максимальну напруження зминання:

$$\frac{p_{max}}{p_{cp}} = 1,5. \quad (7.27)$$

Величина середнього тиску:

$$p_{cp} = 1,9 \sqrt{\frac{P}{d^2 l} \frac{s_{ном}}{\frac{1}{E_e} + \frac{1}{E_n}}} \quad (7.28)$$

Звідки:

$$s_{ном} = \frac{p_{cp}^2 d^2 l (E_e + E_n)}{3,61 P E_e \cdot E_n}. \quad (7.29)$$

Значення граничного зазору може бути виражене залежністю:

$$s_{пред} \approx 2,25 s_{ном}, \quad (7.30)$$

яка отримана розподілом рівняння $s_{пред}$ на $s_{ном}$ і заміною p_{max} на p_{cp} . Дуже малою зміною в результаті зносу можна знехтувати, встановивши найвигідніший зазор і граничний зазор для умов граничного тертя. Подальші розрахунки, пов'язані з визначенням сумарного зносу пари, що труться, величини зносу кожної деталі окремо, їх термінів служби, середньої швидкості зношування деталі.

В даний час ще немає практичних даних, що характеризують відношення швидкостей зношування деталей тертя, що працюють при граничному терті. У таблиці 7.1 наведено результати експериментальних досліджень швидкостей зношування металів при граничному терті, проведених на зразках у

лабораторних умовах за наступними режимами випробування: тиск $p=1,0$ МПа; швидкість взаємного переміщення поверхонь тертя $v=4$ м/с; температура зразків тертя 100°C ; мастило моторне і крапельне, циркуляція $0,01$ см/с.

Таблиця 7.1

Результати експериментальних досліджень відношення швидкостей зношування деталей тертя

Матеріал валу	Коефіцієнт при використанні підшипника з:		
	сірого чавуну	ливої бронзи	бабіта БТ
Сталь 45 загартована з нагріванням ТВЧ. об'ємне загартування	1,52 1,10	8,25 6,93	2,82 32,4
Хром гладкий пористий	7,50 6,55	7,00 5,10	42,0 39,9
Метал термічно розпорошений наплавлений	0,94 0,68	4,50 6,45	27,3 51,5
Електролітичне залізо	1,31	11,80	29,2

Для підшипників, що працюють в умовах граничного тертя, слід вибирати твердіші матеріали та сплави (бронза, чавун, свинцева бронза), здатні витримувати значно більший тиск на зминання, не знижувати твердості при високій температурі та краще чинити опір зношування. М'які матеріали характеризуються малою межею плинності, допустима напруга зминання у них менша.

Безрозбірні методи підвищення довговічності сполучень агрегатів і складальних одиниць. Деталі рухомих з'єднань машин працюють в умовах підвищених змінних навантажень і швидкостей, за значних змін температур та інших специфічних умовах. Для зниження тертя і зносу поверхонь, що сполучаються, в основному застосовували різноманітні спеціальні присадки до мастил, що стабілізують в'язкість і термічну стійкість мастильних матеріалів.

Останнім часом все більший інтерес представляють спеціальні склади, які призначені для безпосередньої зміни трибологічних показників поверхонь деталей у вузлах тертя машин, і насамперед зменшення коефіцієнта тертя і зносу. Відомі кілька способів підвищення довговічності сполучення:

- модифікатори тертя (тефлон, дисульфід молібдену та ін.), що формують на поверхні тертьових деталей захисні плівки, що володіють легким зрушенням у площині ковзання, що знижує тертя, але практично не захищає від зношування пари, що труться;

- кондиціонери металу, які впливають безпосередньо на метал поверхонь, що труться, створюючи захисний шар, що знижує тертя і знос, та захищає від задирів. Кондиціонери металу типу ER (США) чи ФЕНОМ не відновлюють зношені поверхні пар тертя, а формують на поверхнях плівку, що самовідновлюється, з чистого заліза товщиною 250 мкм.

Однак найбільший інтерес становлять ремонтно-відновлювальні склади (РВС), що компенсують збільшення зазорів внаслідок зношування. Відомі композиції типу: мідь-олово-срібло, мідь-свинець-срібло (РіМет, ХАДО та ін.) та один із перспективних – металокерамічний захисний шар за РВС-технологією.

Препарати цього класу дають змогу відновлювати розміри зношених деталей без розбирання агрегату в режимі штатної експлуатації.

Ремонтно-відновлювальний склад являє собою суміш мінералів і спеціальних добавок-каталізаторів, що додається в мастильний матеріал, які в мастильному матеріалі не розчиняються, в хімічні реакції з ним не вступають і через малу концентрацію не змінюють його в'язкість.

Ремонтно-відновлювальний склад, потрапляючи зі змащувальним матеріалом в зони контакту, збільшує на поверхнях, схильних до зносу, металокерамічний захисний шар. При нарощуванні захисного шару на поверхнях деталі згладжується мікрорельєф, зменшуються зазори в рухомих з'єднаннях.

Товщина металокерамічного захисного шару залежить від енергії, що виділяється при терті: після вирівнювання мікрорельєфу поверхонь оптимізуються зазори, зменшуються коефіцієнт тертя, тепловиділення та реакція утворення захисного шару зупиняється.

Основна перевага обробки за РВС-технологією (технологія РВС-ІІІ,

Ревіталізатор РВС-ІІІ (Ремонтно-відновлювальний склад зі створення інтелектуального поверхневого ізоморфу) в порівнянні з традиційними способами ремонту – відновлення механізму або вузла в режимі штатної експлуатації без виключення його з роботи.

Основні показники металокерамічного захисного шару:

- температура руйнування 1600°C;
- коефіцієнт тертя до 0,003;
- твердість до 65 HRC;
- діелектрик (різке зменшення електроерозійного зношування);
- хімічно нейтральний.

Сфера застосування РВС-технології велика. За її допомогою можна відновлювати майже всі види обладнання різних галузей сільського господарства: двигуни внутрішнього згоряння; редуктори та відкриті зубчасті передачі (коробки передач, роздавальні коробки, коробки відбору потужності); підшипники кочення та ковзання; елементи гідросистем (гідронасоси, гідромотори, гідроциліндри); ланцюгові передачі; компресори. За сучасної РВС-технології збільшується міжремонтний період експлуатації обладнання; зменшується споживання палива під час експлуатації машин; збільшується термін роботи мастильних матеріалів; скорочуються витрати на придбання дорогих запасних частин; є можливість заміни дорогих кольорових металів на чавун для деяких пар тертя. Особливо вигідний такий спосіб відновлення на устаткуванні, демонтаж якого потребує великих витрат часу та трудових ресурсів; на унікальному устаткуванні, де вартість запасних частин дуже висока; на устаткуванні, що працює в особливо важких умовах, де швидко зношуються деталі та необхідна їх часта заміна.

Існують обмеження на використання РВС-технології:

- РВС «працює» тільки в тих парах тертя метал-метал, де хоча б одна з деталей у поєднанні виготовлена з чорного металу;

- РВС-технологія не здатна відновити механізми, що мають аварійне зношування або механічні пошкодження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.И. Трение смазка и износ в машинах. / Б.И. Костецкий – Киев: "Техніка", 1970. – 396с.
2. Ремонт дизельних двигунів. Довідник / Л.С. Єрмолов, О.А. Науменко, О.І. Сідашенко, І.Г. Шержуков – Київ: "Урожай" 1991. – 248с.
3. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники: Учеб. пособие / М.И. Черновол. – К.: УМК ВО, 1989. – 256 с.
4. Ремонт сільськогосподарської техніки. Навчальне видання/ В.А. Бантковский, В.О. Деев, В.К. Аветисян та ін. – Київ: Урожай, 1992. – 304с.
5. Ремонт машин / За редакцією О.І. Сідашенко, А.Я. Поліського – Київ: "Урожай" 1994. – 399с.
6. Канарчук В.Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигиринець – К.: Вища школа. 1994. – Кн..1: Теоретичні основи: Технологія: Підручник. – 342 с;
7. Ремонт машин та обладнання. Підручник / За ред. О.І. Сідашенко, О.А. Науменко – Харків: КП Міська друкарня, 2010 – 742с.
8. Практикум по ремонту машин. Учебное пособие / Под редакцией А.И. Сідашенко, А.А. Науменко – Харків: Прапор, 1993. – 328с.
9. Практикум з ремонту машин / За редакцією О.І. Сідашенко, О.А. Науменко – Київ: "Урожай". 1995.- 224с.
10. Скобло Т.С. Особенности структурных изменений на поверхности трения / Т.С. Скобло // Сб. Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – Харьков, ХГТУСХ, 1997. – С.4-10.
11. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. – 720 с.
12. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін. / За ред. М.І. Черновола – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.
13. Хітров І.О. Ремонт машин і обладнання: Навчальний посібник. / І.О.

Хітров, В.С. Гавріш – Рівне: НУВРП, 2012. – 212 с.

14. Ремонт машин та обладнання: Підручник / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. Підручник: (Затверджено МОН України як підручник для студентів ВНЗ, які навчаються за напрямом підготовки «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» від 21.06.10 №1/11 – 545) – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с.

15. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. Навч. посібник / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, С.О. Лузан та інші. – Харків: ХНТУСГ, 2017. – 361 с.

16. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. Textbook. / O. Sidashenko, O. Tikhonov, S. Luzan, and others. – Kharkiv: KhNTUA, 2017. – 340 p.

17. Теоретические основы технологии ремонта машин: Учебник в 3-х т. Том 1. (Теория и технология производственных процессов ремонта машин) / А.И. Сидашенко, А.А. Науменко, Т.С. Скобло и др. Под ред. А.И. Сидашенко, А.А. Науменко.– Харьков: ХНТУСХ, 2005. – 590 с.

18. Основи трибології: Підручник / А.М. Антипенко, О.М. Белас, В.А. Войтов та ін. За ред. В.А. Войтова – Харків: ХНТУСГ, 2008. – 342с.

19. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1. Навчальний посібник. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло та інші.– Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. – 416 с.

20. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2. Навчальний посібник. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло та інші.– Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. – 491 с.

21. Українсько-англійський словник термінів технологічних систем ремонтного виробництва: Навч. посібник. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Н.М. Пільгуй та інші. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – 412 с.

22. Сучасний українсько-англійський словник термінів технологічних систем ремонтного виробництва / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Н.М. Пільгуй,

І.М. Рибалко та інші. – Х.: Діса плюс, 2020. – 456 с.

23. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей / М.І. Черновол, О.А. Пермяков, Я.Б. Немировський, І.В. Шепеленко, В.І. Горбулик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – № 2 (8) 2023. – С. 10–16.

24. Черновол М.І. Системний підхід до формування показників якості відновлених деталей. / М.І. Черновол, І.В. Шепеленко // Збірник наукових праць. Науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький, 2023. – Вип.7 (38)_I. – С.30–36.

25. Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С., Мельник В.І. Надійність машин та обладнання. Частина 2. Ремонтвання машин та відновлення деталей: навчальний посібник. – Київ : НУБіП України, 2023. – 309 с.

26. Поли́ский А.Я. Испытание материалов на абразивное изнашивание. / А.Я. Поли́ский, А.И. Сидашенко, А.В. Тихонов // Методические указания для студентов дневной формы обучения сельскохозяйственных вузов – Харьков, ХГТУСХ, 2000. – 17 с.

27. Техническое обслуживание и ремонт тракторов Т-150, Т-150К различных модификаций с двигателями СМД, ЯМЗ и ДОЙТЦ / А.И. Сидашенко, А.А. Науменко, В.К. Аветисян и др.; Под ред А.И. Сидашенко, А.А. Науменко. Изд. 2-е, исправленное и доп. – Харьков: ООО «Укragрозапчасть», 2004. – 380 с.

28. Эксплуатация и ремонт трансмиссий тракторов серий Т-150К, ХТЗ-121, ХТЗ-160 / Н.Г. Макаренко, А.Т. Лебедев, В.Б. Самородов и др. Под ред. В.Б. Самородова, А.Т. Лебедева. – Харьков: ООО «Укragрозапчасть», 2006. – 341с.

29. Тракторы ХТЗ-150К-03, ХТЗ-150К-09, Руководство по текущему ремонту./ В.Я. Петренчук, А.А. Науменко, А.И. Сидашенко и др. – Харьков: СДП ФЛ Стороженко И.А., 2004. –316с.

30. Руководство по текущему ремонту зерноуборочного комбайна «Дон-1500» и его модификаций. / Т.А. Баньковская, И.В. Гудым, В.Г. Знайдюк и др. Под общ. ред. В.А. Войтова. – Харьков: НИТИ ХНТУСХ, 2006. – 292с.

31. Сидашенко А.И. Ремонт машин и оборудования животноводческих ферм и комплексов. / А.И. Сидашенко, А.В. Тихонов, В.Ф. Карпусенко – Харьков, ХГТУСХ, 1999. –56с.

32. Горват А.А. Методи обробки експериментальних даних з використанням MS Excel: Навчальний посібник. / А.А. Горват, О.О. Молнар, В.В. Мінкович – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2019. – 160 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1	
АКТУАЛЬНІСТЬ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН»	9
РОЗДІЛ 2	
АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ, ЩО ОПИСУЮТЬ ЗМІНУ У МАТЕРІАЛАХ ТА РОЗМІРАХ СПОЛУЧЕНЬ	27
РОЗДІЛ 3	
АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЗМІНИ ВИХІДНОГО ПАРАМЕТРУ. ДОПУСТИМИЙ І ГРАНИЧНИЙ СТАН СПОЛУЧЕННЯ	49
РОЗДІЛ 4	
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ	67
РОЗДІЛ 5	
МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ МАШИН ПРИ ПРОЕКТУВАННІ, ВИРОБНИЦТВІ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ	83
РОЗДІЛ 6	
ОСНОВИ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ	100
РОЗДІЛ 7	
АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЕФЕКТИВНОСТІ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ	132
ЛІТЕРАТУРА	153

Навчальне видання

**ВВЕДЕННЯ В ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МАШИН:
МЕТОДИ УСУНЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ МАШИН
ТА ОБЛАДНАННЯ**

Навчальний посібник

ЧЕРНОВОЛ Михайло Іванович
РИБАЛКО Іван Миколайович
ТІХОНОВ Олександр Всеволодович
ШЕПЕЛЕНКО Ігор Віталійович
НАУМЕНКО Олександр Артемович
МАРТИНЕНКО Олександр Дмитрович

Підписано до друку 29.10.2024р.
Формат 60x84 1/16 Папір офсетний. Друк різнографічний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 9,2
Обл. – друк. арк. 6,2
Наклад 100 прим. Зам № 191/24

Видавництво «Діса плюс»
Тел. (057) 768-03-15
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників та розповсюджувачів видавничої продукції:
серія ДК № 4047 від 15.04.2011 р.

Надруковано в друкарні «БУКЛАЙН»
61000, м.Харків, вул. Катерининська, 46.
Тел. (099) 604-49-45
www.bookline.online