

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин,  
експлуатації і технічного сервісу

**Ремонт машино-тракторного парку**

методичні рекомендації до вивчення курсу лекцій для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Молодший бакалавр» початкового рівня (короткий цикл) спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання

МИКОЛАЇВ  
2021

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від «21» жовтня 2021р., протокол №2.

Укладач:

Д. Д. Марченко – канд. тех. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Г. О. Іванов – канд. тех. наук, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін, Миколаївський національний аграрний університет.

О. П. Попов – докт. тех. наук, професор, завідувач кафедри механіки і конструювання машин, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	4
МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МАШИН.....	6
ЛЕКЦІЯ 1. Роль ремонту в забезпеченні надійності машини. Основні процеси, що відбуваються в елементах машин при експлуатації. Поверхневий шар матеріалу і експлуатаційні властивості машин.....	6
ЛЕКЦІЯ 2. Основи триботехніки.....	12
ЛЕКЦІЯ 3. Зношування елементів машин.....	17
ЛЕКЦІЯ 4. Корозійні процеси руйнування елементів машин.....	37
МОДУЛЬ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ МАШИН.	51
ЛЕКЦІЯ 5. Основні завдання ремонтного виробництва. Моделювання процесів, що викликають погіршення технічного стану і зниження працездатності машин. Теорія моделювання. методи випробувань.....	51
ЛЕКЦІЯ 6. Теорія відновлення.....	54
ЛЕКЦІЯ 7. Теорія старіння.....	60
ЛЕКЦІЯ 8. Системи, види і методи ремонту. Ремонтпридатність. Ремонтне резервування.....	68
ЛЕКЦІЯ 9. Основні терміни та визначення при ремонті машин. Виробничі процеси ремонту. Технологічні процеси ремонту. Види, структура, методи проектування.....	82
ЛЕКЦІЯ 10. Основи теорії ефективності ремонту машин. Бізнес-планування в ремонтному виробництві. Оцінка ефективності ремонтного виробництва.....	91
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	94

## ВСТУП

Працездатність машин в основному визначається рівнем надійності технічних пристроїв і одним з найважливіших його властивостей - ремонтпридатністю. Рішення проблеми забезпечення надійності машин - це великий резерв підвищення ефективності проектування, виробництва, експлуатації та ремонту. Так, за весь час експлуатації витрати на технічне обслуговування і ремонт різних технічних систем в зв'язку з їх зносом в кілька разів перевищують вартість нових, наприклад: для автомобілів - в 6 разів, для літаків - в 5 разів, для верстатів - в 8 разів.

Для забезпечення надійності машин необхідно проведення комплексу заходів на всіх етапах життєвого циклу: при проектуванні, виготовленні, використанні і ремонті машин, починаючи з моменту формування та обґрунтування ідеї створення нової машини і закінчуючи прийняттям рішення про списання. Тому особливо важливим є виявлення зав'язків між властивостями надійності: ремонтпридатністю, безвідмовністю, довговічністю, збережувальністю і можливостями їх підвищення на кожному етапі життєвого циклу машини. Пропонований курс лекцій призначений для формування уявлення про значення і ролі ремонту в забезпеченні надійності машин, в тому числі, про причини відмов машин при їх використанні, існуючих видах впливів на них, основних законах, визначаючих інтенсивність зношування робочих поверхонь деталей, технологічних процесах відновлення працездатності деталей, методах забезпечення точності складальних з'єднань, якості виробництва і ремонту. Теорія ремонту машин створює можливість формування на стадіях проектування і виробництва машини ремонтних комплектів, які забезпечують при експлуатації і ремонті повну функціональну завершеність конструкції.

Практична реалізація перерахованих вище теоретичних питань забезпечується використанням методів математичного моделювання, статистичної обробки інформації про надійність деталей, складальних одиниць і машин в цілому.

Мета дисципліни «Ремонт машино-тракторного парку» ознайомити здобувачів вищої освіти із основними поняттями причин виходу із ладу деталей машин, причини їх спрацювань, деформації неполадки і вплив дефектів деталей на якість подальшої роботи сільськогосподарських машин; освоєння технології ремонту деталей і складальних одиниць, технології ремонту машин.

В результаті вивчення дисципліни здобувач вищої освіти повинен знати:

- основні принципи технології ремонту;
- основні недоліки машин, при яких вони не відповідають хоча б одній із технічних вимог;
- технологічні методи усунення неполадок сільськогосподарських машин із високою якістю їх усунення із мінімальними затратами.

Вміти:

- виявляти недоліки машин за їх зовнішніми ознаками без розбирання, при яких вони не відповідають одній із технологічних вимог;

- вміти використовувати технологічне обладнання для проведення високоякісного ремонту та технічного обслуговування машинно-тракторного парку СГМ;
- складати графіки ТО машинно-тракторного парку та керувати його виконанням.

Кредитно-трансферна схема вивчення дисципліни «Ремонт машино-тракторного парку» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «Молодший бакалавр» початкового рівня (короткий цикл) спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання

№ п/п	Найменування розподілу	К-ть годин/кредитів		
		Лекції	ЛЗ (ПЗ)	Всього
4-й семестр				
1	Модуль 1. Основи теорії відновлення машин.	10	26	36/1,2
2	Модуль 2. Моделювання процесів відновлення машин.	8	24	32/1,06
Всього		18	50	68 (2,26)

# МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МАШИН

## ЛЕКЦІЯ 1. Роль ремонту в забезпеченні надійності машини. Основні процеси, що відбуваються в елементах машин при експлуатації. Поверхневий шар матеріалу і експлуатаційні властивості машин

### 1.1. Роль ремонту в забезпеченні надійності машини

Ремонт - процес проведення комплексу організаційно-технічних, технологічних і господарсько-економічних заходів з метою усунення відмов, поломок, несправностей і т.д. відповідно до вимог технічних умов (ТУ).

Метою ремонту є відновлення працездатності та ресурсу машини і агрегатів. При цьому відновлюються всі експлуатаційні властивості машини, включаючи вимоги безпеки і екології.

Значення ремонту краще розглянути на тлі життєвого циклу машини. Життєвий цикл - період часу, протягом якого проводиться розробка, виробництво, експлуатація, ремонт і утилізація виробу.

Ще в 30-х рр. ХХ ст. науковими співробітниками МАДИ під керівництвом проф. В.В. Єфремова експериментально було доведено, що ремонт машин є об'єктивною реальністю (необхідністю) для підтримки їх в працездатному стані протягом всього запланованого терміну служби, а обсяги ремонтних робіт залежать від тривалості експлуатації.

Економічну доцільність ремонту машин розглянемо на прикладах оцінки витрат на виробництво, до яких віднесено:

- метал - при ремонті машин витрата металу становить 25 ... 30% від маси машини;
- електроенергія - 30 ... 40% від витрат електроенергії на виробництво;
- трудомісткість - 180 ... 270% від трудомісткості виробництва;
- питомі основні фонди - 15 ... 20%.

Оцінимо також потенціал конструкції по пристосованості до ремонту за критеріями, представленим у табл. 1.

Таблиця 1

Потенціал конструкції по пристосованості до ремонту

Наменування	План, %	Факт, %
Відновлювальні деталі	45	12...20
Деталі, що підлягають заміні	25	15...35
Деталі придатні без ремонту	30	40...55

## 1.2. Основні процеси, що відбуваються в елементах машин при експлуатації

Зміни, які відбуваються з плином часу в будь-якій машині і призводять до втрати нею працездатності, пов'язані із зовнішніми і внутрішніми впливами, яким вона піддається. В процесі експлуатації на машину діють всі види енергії, що призводить до зміни параметрів окремих елементів, механізмів, агрегатів і машини в цілому.

Встановлено три основних джерела впливу:

- дію енергії навколишнього середовища, включаючи людину, виконуючого функції оператора або ремонтника;
- внутрішні джерела енергії, пов'язані як з робочими процесами, що протікають в машині, так і з роботою окремих механізмів машини;
- потенційна енергія, яка накопичена в матеріалах деталей машини в процесі їх виготовлення (внутрішня напруга в литві, монтажні напруги). При роботі машини спостерігаються такі основні види впливів, що впливають на її працездатність:
- механічні дії - розподіляються не тільки по всьому ланкам машини в процесі роботи, а й впливають на неї у вигляді статичних або динамічних навантажень від взаємодії із зовнішнім середовищем;
- термічні впливу - діють на машину і її частини при коливаннях температур навколишнього середовища при здійсненні робочого процесу (особливо це позначається при роботі ДВС і ряду інших технологічних машин), при роботі приводних механізмів електричних і гідравлічних пристроїв;
- хімічні впливи - впливають на роботу машини (нафтопродукти містять агресивні складові, які можуть викликати руйнування окремих елементів машини);
- електромагнітні впливу - пронизують весь простір навколо машини і можуть вплинути на роботу електронної апаратури;
- біологічні впливу - можуть впливати на працездатність машини, наприклад: в тропічних країнах є мікроорганізми, які не тільки руйнують деякі види пластмас, але навіть можуть негативно впливати на метал.

Види пошкоджень деталей і сполучень представлені в табл. 2.

Належність до допустимим або неприпустимим видам пошкоджень деталей залежить не тільки від їх характеру, а й від тих вимог, які пред'являються до цього виробу та від можливості запобігання процесу руйнування.

Види пошкоджень визначають зміст ремонтних впливів. Допустимі пошкодження деталі усуваються плановим ремонтом машини, неприпустимі пошкодження усуваються в ході аварійних ремонтів. Допустимі пошкодження викликаються, в основному, старінням матеріалу, з якого виготовлені деталі. Пружна або теплова деформація виробу, яка може привести до відмови, не відноситься до процесів старіння, так як після закінчення відповідних впливів виріб набуває вихідні характеристики.

## Види пошкоджень деталей і сполучень

Допустимі	Недопустимі
Пошкодження виникають при нормальних умовах експлуатації (Знос, деформація, корозія)	Пошкодження носять аварійний характер (тріщина, поломка, обрив шатуна)
При цьому руйнування або деформації може піддаватися як тіло деталі, так і її поверхню, що знаходиться у взаємодії (контакті) з поверхнею, що сполучається деталі	
Викривлення деталі, в деяких випадках поломка в результаті втоми, деякі види зносу, втома поверхневих шарів, в деяких випадках - корозія	Поломки деталей в результаті недостатньої статичної, динамічної або втомної міцності, теплові тріщини в результаті нагрівання деталі, в ряді випадків - корозія, зношування з великою інтенсивністю (задири,

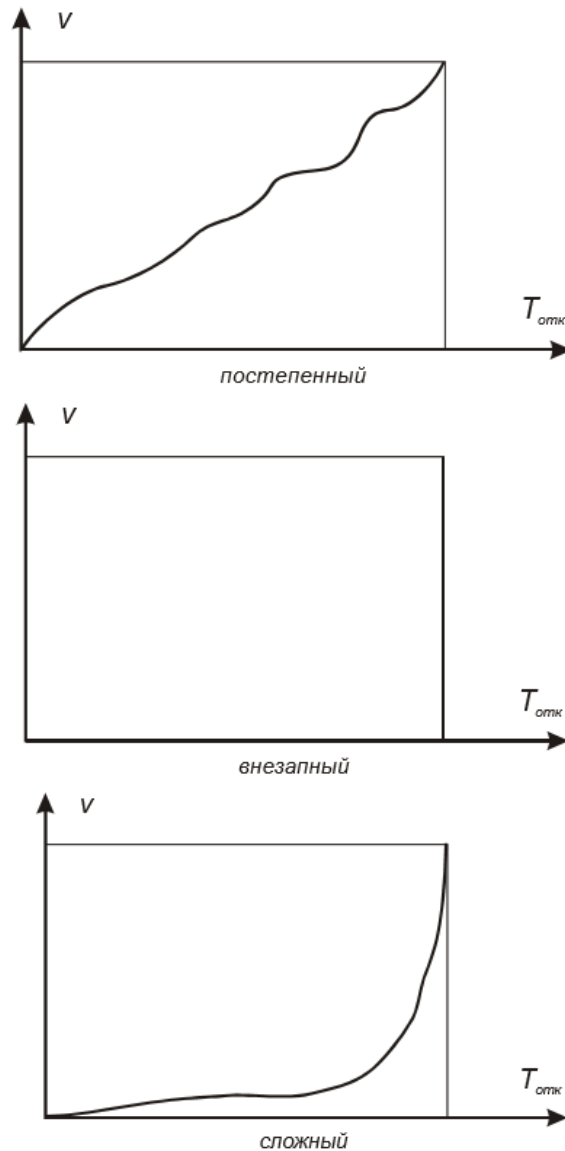


Рис. 1. Графічні характеристики різних видів відмов



Процес старіння - необоротне зміна властивостей або стану матеріалу виробу в результаті дії різних факторів.

Необоротні процеси - зношування, корозія, втома, втрата магнітних властивостей матеріалу, структурні його зміни і інші процеси - приводять до таких пошкоджень, які погіршують початкові параметри виробу, тобто відбувається старіння матеріалу деталі.

Класифікація відмов: поступові - раптові. Поступові і раптові відмови розрізняються характером виникнення і протікання процесів, що призводять до відмови. Поступові відмови виникають в результаті протікання того чи іншого процесу старіння, погіршує початкові параметри виробу. Раптові відмови виникають в результаті поєднання несприятливих чинників і випадкових зовнішніх впливів, що перевищують можливості виробу до їх сприйняття.

### **1.3. Поверхневий шар матеріалу і експлуатаційні властивості машин**

Поверхневий шар і його параметри. Геометричні параметри поверхневого шару.

Макрогеометрії поверхні - характеристика її форми (Овальність, конусність (для циліндричних поверхонь), випук- лость, увігнутість площині і т.д.).Микрогеометрия поверхності – має не менше значення для оцінки властивостей поверхневого шару і характеризується шерохо- ватістю, хвилястістю (сукупністю періодично повторюю- трудящих виступів і западин з певним кроком, що перевищує базову довжину, прийняту стандартом для визначення параметрів шорсткості) має не менше значення для оцінки властивостей поверхневого шару і характеризується шероховатістю, хвилястістю (сукупністю періодично повторюю- трудящих виступів і западин з певним кроком, що перевищує базову довжину, прийняту стандартом для визначення параметрів шорсткості).

Структура і фізико-механічні властивості матеріалу поповерхневого шару деталі. При обробці деталі в поверхневих її шарах формується нова структура, фізико-механічні властивості якої відрізняються від властивостей основного металу.

Механічна обробка деталі супроводжується пластичною деформацією поверхневих шарів і частковим зміцненням (наклепом). В результаті наклепу збільшуються межі міцності і текучості, зменшуються показники пластичності матеріалу в поверхневому шарі деталі. Зміцнений шар має перекручену кристалічну решітку, неоднорідне розподілені внутрішні напруги між окремими зернами, нестійкі, невірноважені положення атомів, пружні спотворення площин ковзання кристалів. Все це викликає структурно-нестійкий стан металу, внаслідок якого після закінчення механічної обробки відбувається разупрочнение ( «відпочинок»), яке повертає метал в більш стійкий стан.

Разупрочнение підвищується при збільшенні температури і тривалості відпочинку, а також при зростанні ступеня зміцнення і зовнішніх напружень. Фізичні властивості поверхневого шару відрізняються від властивостей основного металу деталі ще й внаслідок того, що при взаємодії з навколишнім середовищем на поверхні металу утворюються найтонші плівки окислів, які впливають на силу тертя. Ці плівки міцно пов'язані з основним металом і мають різну товщину, що залежить від виду основного металу і навколишнього середовища.

При обробці поверхонь великий вплив на їх фізичні властивості надає процес теплообміну деталі з навколишнім середовищем. Під дією теплоти, що утворюється при взаємодії ріжучого інструменту і деталі, відбувається вторинна гарт оброблюваного шару металу (рис. 2, зона О-а), а на деякій відстані від поверхні - відпустка загартованого шару (зона а-б). Далі зберігається твердість основного металу (зона праворуч від точки б).

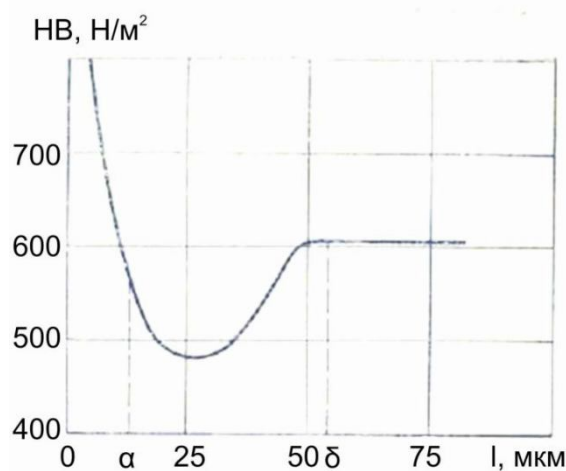


Рис. 2. Зміна мікротвердості поверхневого шару деталі із загартованої сталі 45 при обробці зі швидкістю 135 м / хв

При механічній обробці в поверхневих шарах деталей виникають залишкові напруги. Вони є наслідком як механічних впливів, так і термічних процесів, які супроводжують обробку деталі.

При механічній обробці деталі недеформовані нижні шари матеріалу перешкоджають поширенню зони пластичної деформації верхніх шарів. Внаслідок цього в поверхневому шарі виникають стискають, а в серцевині - розтягують залишкові напруги. Стружка, відділяючись від оброблюваної поверхні під дією інструментів, витягує верхні волокна поверхневого шару, що викликає пружну і пластичну деформацію розтягування в напрямку різання. Цей процес веде до збільшення залишкових напружень стиску верхніх шарів волокон і розтягування волокон серцевини.

Збільшення температури, що супроводжує механічну обробку деталей, також викликає залишкові напруги. При нагріванні поверхневого шару його обсяг збільшується. Холодні нижні шари перешкоджають цьому. При охолодженні металу поверхневого шару зменшується. В цьому випадку матеріал серцевини перешкоджає стресу. Так, в поверхневому шарі виникають залишкові напруги розтягнення, а в серцевині - стиснення. При вирівнюванні напруги температури не зникають, як ступінь

пластичності охолодженого матеріалу недостатня для пластичних деформацій. Внутрішні напруги, що виникають в поверхневому шарі матеріалу внаслідок теплових процесів, розраховуються за формулою

$$\delta = 0,5(t_2 - t_1)a E,$$

де  $t_2$  і  $t_1$  - вихідна і максимальна температури поверхневого шару;  $a$  - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу деталі;  $E$  - модуль пружності матеріалу, відповідний температурі нагріву поверхневого шару.

Структура поверхневого шару матеріалу деталі, що формується в результаті механічної обробки (рис. 7б), може бути представлена у вигляді п'яти шарів:

- перший - адсорбований шар, що складається з плівки вологи, газів і забруднень,  $i_1 = (0,2 \cdot 10^{-3} - 0,3 \cdot 10^{-3})$  мкм;
- другий - шар оксиду, який має підвищену твердість і зносостійкість,  $i_2 = 0,002 - 0,5$  мкм;
- третій - шар з сильно деформованої кристалічною решіткою,  $i_3 = 1,5 - 5$  мкм; для цього шару характерна наявність орієнтованих в певному порядку зерен;
- четвертий - більш глибокий шар з перекрученою кристалічною решіткою,  $i_4 = 0,2 - 50$  мкм; для цього шару характерна наявність великої кількості вакансій і дислокацій;
- п'ятий - шар металу з вихідною структурою.

Перший шар утворюється в результаті тяжіння (адсорбції)

полярно-активних молекул мастильного матеріалу, вологи, газів і інших речовин, що знаходяться в зоні тертя. Цей шар являє собою пухку мономолекулярну плівку, товщина якої залежить від параметрів шорсткості поверхні, матеріалу деталі і навколишнього середовища.

Другий шар формується в результаті хімічної взаємодії матеріалу деталі з навколишнім середовищем. Окислювальні процеси, що розвиваються у верхньому шарі матеріалу, викликають утворення тонких окисних плівок, що володіють, як правило, підвищеною твердістю (див. Рис. 3, а) і зносостійкістю. В результаті впливу зовнішнього середовища і знакозмінних навантажень плівка набуває пористої структури і рельєф, характерний для умов роботи деталі.

Третій і четвертий шари утворюються в результаті пластичної деформації і наклепу металу під дією сил різання в процесі механічної обробки поверхні і сил тертя при взаємодії деталей сполучення. Наклеп призводить до зміни фізико-механічних властивостей металу. У третьому шарі зрушення зерен металу і спотворення кристалічної решітки обумовлюють значне підвищення мікротвердості матеріалу в порівнянні з вихідним значенням (див. Рис. 3, а). Велике число вакансій і дислокацій, що виникли в четвертому шарі в результаті наклепу, призводить до зменшення мікротвердості металу.

Товщина наклепаного шару, а також співвідношення третього і четвертого шарів залежать від способу і режиму механічної обробки поверхні. Наприклад, при точінні товщина зміцненого шару металу становить до 20 мкм, в той час як

абразивний доведення або суперфінішірованіє забезпечують товщину шару наклепу близько 1,5 мкм.

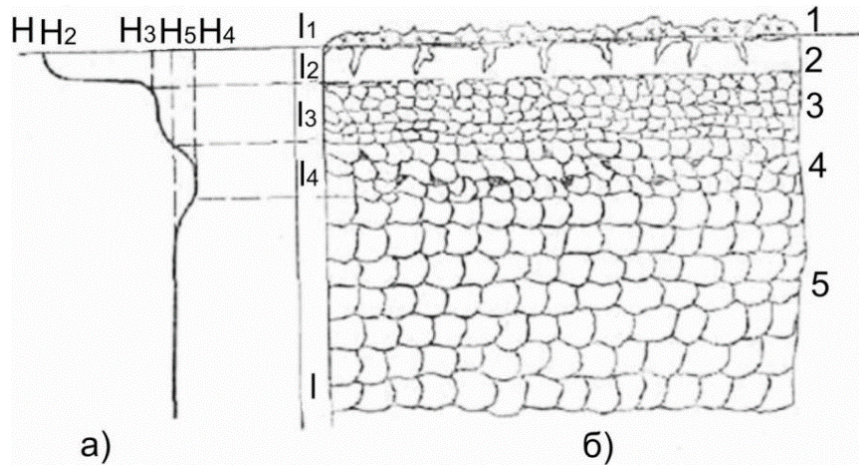


Рис. 3. Схема структури поверхневого шару матеріалу деталі:  
а - зміна мікротвердості Н по глибині шару матеріалу; б - структура матеріалу деталі

Правильно обрані способи і режими обробки деталі (механічної, хіміко-термічної або лазерної) дозволяють значно підвищити довговічність сполучення. Наприклад, в результаті зміцнення поверхні регулювального болта штовхача паливного насоса Термодифузійна хромуванням збільшується ресурс сполучення болт - п'ята плунжера в 10 разів.

## ЛЕКЦІЯ 2. Основи триботехніки

### 2.1. Терміни, поняття і визначення

Триботехніка є областю наукової дисципліни Трибоніка, що вивчає взаємодію робочих поверхонь деталей при їх відносному переміщенні. Слово Трибоніка походить від грецького *tribos* - тертя. Об'єктом вивчення триботехніки є механічні системи, вузли тертя машин, функціонування яких супроводжується процесами тертя і зношування. Предметом дослідження служать процеси тертя, зношування, змазування елементів машин, тобто процеси, що викликають зміну технічного стану досліджуваних систем.

Необхідно також дати пояснення деяких термінів, які будуть найбільш часто зустрічатися в тексті.

Зовнішнє тертя - явище опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь по дотичним до них, супроводжуване диссипацією енергії.

Зношування - процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, яка у поєднаному поступове зміні розмірів і (або) форми тіла.

Знос - результат зношування, що визначається у встановлених одиницях.

Мастило - дію мастильного матеріалу, в результаті якого між двома поверхнями зменшується сила тертя і (або) інтенсивність зношування.

Зносостійкість - властивість матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною, зворотної швидкості зношування або інтенсивності зношування.

Антифрикційні матеріали - матеріали, використовувані для роботи в несучих або напрямних вузлах тертя (підшипниках ковзання, радіальних і торцевих ущільненнях).

Фрикційні матеріали - матеріали, призначені або використовуються для роботи у вузлах тертя, що передають або розсіюють кінетичну енергію рухомих мас (в гальмах, муфтах, сцепленнях, демпферах, варіатора і ін.).

Присадка - речовина, що додається до мастильному матеріалу для надання йому нових властивостей або посилення існуючих.

Метою дослідження триботехники є розробка принципів, методів і технічних засобів забезпечення довговічності машин.

## **2.2. Основні історичні етапи розвитку вчення про терті, зношуванні і мастилі елементів машин. Наукові дисципліни, що лежать в основі триботехники.**

Триботехника, як міждисциплінарна галузь наукових досліджень. Застосування апарату системного аналізу в триботехніці. Фізична природа процесів, що викликають погіршення технічного стану і зниження працездатності машин.

Триботехніка (Трибоніка), як самостійна наукова дисципліна, сформувалася в 50-60-і рр. ХХ ст., Тобто в період створення потужних двигунів, а також посилення режимів роботи машин.

Теоретичною базою триботехніки є фізика (теорія тертя), хімія, математична фізика; інструментом дослідження - методи, що застосовуються в природничих науках, а також математичний апарат.

Перші зареєстровані кількісні дослідження тертя були проведені Леонардо да Вінчі в середині XV ст. Його експериментальний підхід по суті аналогічний використовуваному в даний час при проведенні простих лабораторних робіт по вимірюванню сили і моменту тертя.

Важливим кроком на шляху розвитку теорії тертя і зносу стало відкриття основних законів класичної механіки, зроблене Ньютоном в кінці XVII ст. Ці закони стали основою для розробки правил тертя твердих тіл без мастильного матеріалу (сухого тертя), сформульованих Амонтоном (1699 г.) і Кулоном (1785 г.).

В кінці XIX ст. Н.П. Петровим і Б. Тауером різними шляхами було доведено існування стійких плівок змазує рідини в радіальних підшипниках. У началі XX в. одночасно у Мічелла (Австрія) і Кінгсбері (США) виникла ідея підшипника з Самоустановлювальні вкладишем. Ці роботи були першими науковими дослідженнями з практичним інженерним додатком. Подальші дослідження процесів тертя і зношування, проведені радянськими вченими П.А. Ребиндером, В.Д. Кузнєцовим, Л.К. Зайцевим, І.В. Крагельська, Д.Н. Гаркуновим, М.М. Хрущовим, Б.І. Костецьким та зарубіжними дослідниками Ф. Боуденом і Д. Доусоном (Англія), Г. Флайшер (НДР), Е. Рабиновичем (США) і іншими, дозволили розкрити механізм і фізичну сутність процесів взаємодії контактуючих поверхонь при наявності мастильного матеріалу і без нього. Результати цих досліджень стали теоретичними передумовами для математичного опису явищ тертя і зношування. Частина з них мала пряме інженерне додаток.

У Росії основи науки про терті і зношуванні були закладені в період організації Російської академії наук. Великий вчений М.В. Ломоносов сконструював прилад для дослідження зчеплень між частинками тел «довгим стиранням», який став прототипом сучасних приладів для визначення зносостійкості матеріалів. М.В. Ломоносов є основоположником теорії зношування матеріалів і експериментальних досліджень в цій області, він пов'язав поняття про міцності з уявленнями про силах зв'язку між частинками. Займаючись підбором матеріалів для опор годинникових механізмів, М.В. Ломоносов вказав на доцільність застосування для цієї мети скла.

Великий внесок в науку про терті вніс Л. Ейлер. Виведені їм залежності про терті гнучкою нерастяжимою нитки, перекинутої через шків, досі застосовують у всьому світі при розрахунку сил тертя в елементах з гнучкою зв'язком.

Світову популярність здобули роботи Н.П. Петрова з теорії мастила підшипників. Над проблемою мастила працювали Н.Є. Жуковський і С.А. Чаплигін, математично розробили питання про теорію мастильного шару (за кордоном над гідродинамічної теорією змащення працювали О. Рейнольдс, А. Кінгсбері, Герси і ін.).

Слід зазначити, що в 1880-1881 рр. Д.І. Менделєєв розробив наукові основи виробництва мастил з мазуту важких кавказьких нафт.

В період розвитку промисловості в Росії широко розгорнулися роботи в області триботехники. Великий вплив на розвиток уявлень про молекулярний механізм процеси зовнішнього тертя надали роботи Б.В. Дерягіна, який запропонував в 1934 р свій варіант двучленного закону тертя. Теорія Б.В. Дерягіна дуже вплинула на розвиток триботехники.

Перший аналіз розвитку вчення про терті і зношуванні в нашій країні був

виконаний в 1947 р професором Ленінградського політехнічного інституту А.К. Зайцевим у книзі «Основи вчення про терті, знос і мастилі машин». У 1956 р І.В. Крагельський і В.С. Щедров опублікували монографію «Розвиток науки про терті», в якій зазначили, що тертя представляє собою складну сукупність багатьох фізичних явищ, і розкрили шлях розвитку наукової думки в цьому напрямку з XVI століття до 40-х років XX століття.

Дуже перспективна можливість значного поліпшення фрікціонноізносних характеристик деяких пар тертя при граничній мастилі за рахунок реалізації ефекту виборчого перенесення, відкритого Д.Н. Гаркуновим і І.В. Крагельська в 1956 р Слід зазначити ще дві роботи вітчизняних трибологов, також удостоєних дипломами за відкриття: ефекту аномально низького тертя при бомбардуванні ядрами гелію деяких матеріалів (А. Сілін, М.А. Тальрозе, Е.А. Духівський і ін. ) і явища водневого зношування (А.А. Поляков, Д.Н. Гаркунов).

Б.І. Костецький і його учні в 1976 р в книзі «Поверхнева міцність матеріалів при терті» узагальнили роботи з вивчення процесів тертя і поверхневого руйнування, а також з питань освіти вторинних структур при терті в умовах граничного змащення.

Проблема розширення і застосування ФАБО. Одним з найбільш прогресивних методів остаточної обробки методом є розроблена фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО). Нова високопродуктивна оснащення та хімічні складки забезпечують високу якість антифрикційного покриття.

Сутність ФАБО полягає в тому, що поверхня тертя деталі покривається тонким шаром латуні, бронзи або міді шляхом використання явища переносу металу при терті. Перед нанесенням покриття оброблювану поверхню знежирюють і покривають гліцерином або сумішшю, що складається з двох частин гліцерину і однієї частини 10% -го розчину соляної кислоти. У процесі тертя окісна плівка на поверхні стали розпушується, поверхня мідного сплаву пластифіцирується і створюються умови для його захоплення зі сталлю. Товщина перенесеного шару бронзи або латуні 1-2 мкм.

Перевага ФАБО перед іншими фінішними операціями полягає в тому, що цей метод надзвичайно простий і не вимагає складного обладнання. ФАБО надає сталевій або чавунній поверхні високі антифрикційні властивості. Досвід використання ФАБО для циліндрів двигунів внутрішнього згорання дав можливість істотно змінити потужність двигуна. Це свідчить про необхідність і доцільність проведення більш широких дослідницьких робіт, а також застосування даного методу в більш широких масштабах.

### **2.3. Проблеми економіки та триботехники**

Робота вузлів тертя машин, устаткування і транспортних

коштів здійснюється на всіх етапах створення суспільного продукту. Триботехнічні характеристики вузлів тертя нарівні з конструкцією машин, якістю їх виготовлення, режимом експлуатації і іншими аспектами істотно впливають на багато економічні (і екологічні) показники роботи машин, механізмів і технологічного устаткування. Більшість машин (85-90%) виходить з ладу через знос деталей. Витрати на ремонт машин устаткування і транспортних засобів складають в нашій країні десятки мільярдів рублів на рік. При розвитку промисловості ця цифра природно збільшується.

Трудомісткість ремонту і технічного обслуговування багатьох будівельних і дорожніх машин за термін їх служби приблизно в 15 разів перевищує трудомісткість виготовлення нових. Великі матеріальні втрати народне господарство зазнає від підвищеного тертя в вузлах машин. Відомо, що більше половини палива, споживаного автомобілями, тепловозами і іншими видами транспорту, витрачається на подолання опору, створюваного тертям в рухливих з'єднаннях. Втрати від тертя і витрати, пов'язані з ними, складають від 1 до 4% національного продукту країн, що не може не робити істотного впливу на розвиток економіки будь-якої країни. В останні роки проявляється підвищену увагу до розвитку триботехники, до оптимізації триботехнічних рішень і впровадження в практику досягнень триботехники. За оцінками експертів, широке впровадження у виробництво вже відомих досягнень триботехники здатне на 25-30% скоротити втрати від тертя, причому перші 10-15% з них - без помітних капітальних вкладень.

### **2.4. Інженерно-технічні проблеми в триботехніці**

Найактуальнішими інженерно-технічними проблемами в триботехніці на сьогоднішній день є наступні:

- розробка композиційних матеріалів для деталей вузлів тертя;
- створення «безізнаних» вузлів тертя машин;
- розробка методів розрахунку деталей на знос;
- захист деталей машин від водневого зношування;
- розширення застосування ФАБО деталей, що труться;
- вдосконалення процесів змащування деталей сполучень;
- дослідження електричних, магнітних і вібраційних явищ при зношуванні;
- незвичайні умови роботи вузлів тертя машин і приладів;
- комп'ютерна трибологія.

До цих негараздів триботехніки також можна віднести розробку



наноматеріалів і технологічних методів їх застосування в вузлах тертя виробів машинобудування.

## ЛЕКЦІЯ 3. Зношування елементів машин

### 3.1. Основні терміни та визначення

Відповідно до ГОСТ 23.002-78 зношуванням називають процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, яка у поєднаному поступове зміні розмірів і (або) форми тіла. Основними кількісними характеристиками зношування є: знос, швидкість зношування, інтенсивність зношування.

Знос - результат зношування, що визначається у встановлених одиницях. Знос (абсолютний або відносний) характеризує зміну геометричних розмірів (лінійний знос), маси (ваговий знос) або обсягу (об'ємний знос) деталі внаслідок зношування і вимірюється за шкалою еквівалентів. Розрізняють граничний і допустимий знос. Граничним називають знос, відповідний граничного стану зношується виробу або його складової частини. Допустимим називають знос, при якому виріб зберігає працездатність. Допустимий знос завжди по абсолютній величині менше граничного і відповідає передбаченому станом об'єкта.

Швидкість зношування  $V_{\text{и}}$  (м / год, год / ч, м<sup>3</sup> / год) - відношення зносу  $I$  до інтервалу часу  $T$ , протягом якого він виник:

$$v_{\text{и}} = I/T.$$

Інтенсивність  $J$  зношування - відношення зносу до обумовленого шляху, на якому відбувалося зношування, або обсягу виконаної роботи:

$$J = I/L.$$

При лінійному зносі інтенсивність зношування є безрозмірною величиною, а при ваговому - вимірюється в одиницях маси, віднесеної до одиниці шляху тертя.

Властивість матеріалу чинити опір зношування в певних умовах тертя характеризується зносостійкістю - величиною, зворотної швидкості зношування або інтенсивності зношування, у відповідних одиницях.

В процесі роботи машини показники зношування деталей і сполучень незберігають постійних значень. Зміни зносу деталей в часі в загальному випадку можна представити у вигляді моделі, запропонованої В.Ф. Лоренцо (рис. 4). У початковий період роботи, званий періодом підробітки, спостерігається досить швидкий знос деталей (ділянка I).

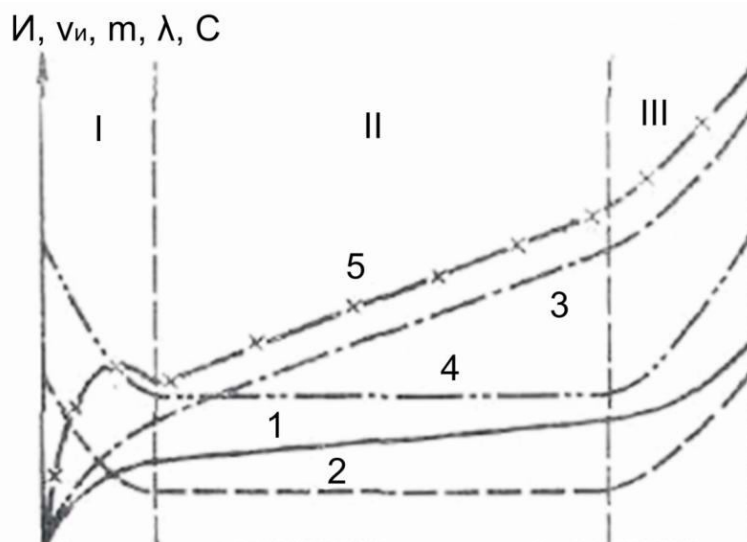


Рис. 4. Зміни параметрів сполучення в процесі роботи:

- 1 - зносу I; 2 - швидкості зношування; 3 - частоти  $\tau$  відмов; 4 - інтенсивності відмов; 5-витрат  $C$  на підтримку працездатності

Тривалість цього періоду обумовлюється якістю поверхонь і режимом роботи механізму і становить зазвичай 1,5 - 2% ресурсу вузла тертя. Після підробітки настає період сталого режиму зношування (ділянка II), що визначає довговічність сполучень. Третій період - період катастрофічного зношування (ділянка III) - характеризує граничний стан механізму і обмежує ресурс. Як видно з наведених на рис. 4 графіків, процес зношування надає пряму, визначальний вплив на виникнення відмов і несправностей вузлів тертя машин. Зміна показників надійності в часі ідентично зміни показників зношування. Більш висока крутизна кривих  $\tau$  ( $T$ ) і  $C$  ( $T$ ) на ділянці II пояснюється тим, що з напрацюванням виникають відмови, викликані, крім зносу, втомним, корозійним руйнуванням або пластичними деформаціями.

Приработкой називають процес зміни геометрії поверхонь тертя і фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів матеріалу в початковий період тертя, зазвичай виявляється при постійних зовнішніх умовах в зменшенні сили тертя, температури і інтенсивності зношування. Процес підробітки характеризується інтенсивним відділенням з поверхонь тертя продуктів зносу, підвищеною тепловіддачею і зміною мікрогеометрії поверхонь.

Підвищення температури поверхонь тертя викликає зміна фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу. Зміна структури і властивостей металів в поверхневих шарах деталей відбувається також внаслідок наклепу, викликаного пластичними деформаціями мікрооб'ємів матеріалу робочої поверхні в процесі підробітки. Інтенсивне руйнування виступів, що володіють найменшою міцністю, утворення нових нерівностей, відмінних за формою і розмірами від вихідних, а також зміна форми інших, раніше існували нерівностей в процесі підробітки веде до зміни мікрогеометрії поверхні.

Експериментально встановлено, що в різних умовах і різних парах тертя після підробітки завжди встановлюється однакова, так звана «рівноважна»

шорсткість, характерна для певних матеріалів. Рівноважна шорсткість відтворюється в процесі зношування поверхонь і залишається в середньому постійною. Вихідна геометрія поверхонь тертя не впливає на рівноважну шорсткість.

В процесі підробітки висоти нерівностей при великій початковій шорсткості ( $R_z = 3-5$  мкм) зменшуються внаслідок механічної взаємодії поверхонь. При цьому спостерігаються мікрорізання і пластична деформація матеріалу на робочих поверхнях деталей сполучення.

В процесі підробітки при малій вихідній шорсткості поверхонь ( $R_z = 0,5-2$  мкм) висоти нерівностей переважно збільшуються внаслідок молекулярного взаємодії. В результаті схоплювання робочих поверхонь деталей, що виникає під дією сил молекулярного тяжіння, відбувається руйнування матеріалу, з'являються нові нерівності, і, таким чином, формується шорсткість, відмінна від вихідної.

При правильному виборі співвідношення твердостей деталей і режимів підробітки досить швидко настає період так називаємо- го нормального або усталеного зношування (див. Рис. 4, ділянка II). Цей період характеризується невеликою, приблизно постійною, інтенсивністю зношування та триває до тих пір, поки зміни розмірів або форми деталей не вплинуть на умови їх роботи, або до настання межі втоми матеріалу.

Накопичення змін геометричних розмірів і фізико-механічних властивостей деталей веде до погіршення умов роботи сполучення. Основним фактором при цьому є підвищення динамічних навантажень внаслідок збільшення зазорів в трутьях парах. В результаті настає період катастрофічного або прогресивного зношування (див. Рис. 8, ділянка III). Описана закономірність є умовною і служить лише ілюстрацією процесу зношування елементів машин.

### **3.2. Фізична природа і класифікація видів зношування. Механізм зношування металевих поверхонь.**

Механізми зношування поверхонь деталей з неметалічних матеріалів. Стадії зношування робочих поверхонь. Абразивне зношування. Втомне зношування. Корозійно-механічне зношування. Окислювальне зношування. Водневе зношування.

Фреттинг-корозія. Окислювальне зношування. Зношування при заїданні. Схоплювання. фактори, що визначають характер процесу зношування. Математичний опис процесів зношування. Прогнозування величини зносу. Фізична природа і класифікація видів зношування.

Для того щоб ефективно управляти процесами зміни технічного стану машин і обґрунтовувати заходи, спрямовані на зниження інтенсивності зношування деталей машин, слід визначати в кожному конкретному випадку вид зношування поверхонь. Для цього потрібно вибрати наступні характеристики:

- тип відносного переміщення поверхонь (схему фрикційного контакту);
- характер проміжної середовища (вид мастильного матеріалу або робочої рідини);
- основний механізм зношування.

У сполученнях машин існують чотири типи відносного переміщення робочих поверхонь деталей: ковзання, кочення, удар, осциляція. Осциляцією називається переміщення, що має характер відносних коливань з малою амплітудою (в середньому 0,02-0,05 мм).

По виду проміжної середовища розрізняють зношування при терті без мастильного матеріалу, при терті з мастильним матеріалом, при терті з абразивним матеріалом. Залежно від властивостей матеріалів деталей, мастильного матеріалу або абразивного матеріалу, а також від їх співвідношення в сполученнях в процесі роботи виникають руйнування поверхонь різних видів. Зношування по ГОСТ 23.002-78 поділяють на такі види: механічне (абразивне, гідро- і газоабразивне, ерозійне, гідро- і газоерозійне, кавітаційне, усталостне зношування при заїданні, зношування при фреттинг); корозійно-механічне (окисне, зношування при фреттинг-корозії); зношування при дії електричного струму (електроерозійне).

Механічне зношування виникає в результаті механічних впливів на поверхню тертя.

Корозійно-механічним називають зношування в результаті механічної дії, супроводжуваного хімічним і (або) електричним взаємодією матеріалу з середовищем.

Електроерозійним називають ерозійне зношування поверхні в результаті впливу розрядів при проходженні електричного струму. У дорожньо-будівельних машинах цей вид зношування зустрічається в елементах електрообладнання: в генераторах, електромоторах, а також в електромагнітних пускателях. У реальних умовах роботи сполучень дорожньо-будівельних машин спостерігаються одночасно кілька видів зношування. Однак, як правило, вдається встановити провідний вид зношування, лімітуючий довговічність деталей, і відокремити його від інших, супутніх видів руйнування поверхонь, незначно впливають на працездатність сполучення.

Механізм провідного виду зношування визначають шляхом вивчення зношених поверхонь. Спостерігаючи характер прояви зносу поверхонь тертя (подряпини, тріщини, викришування частинок металу, плівки окислів), і знаючи показники властивостей матеріалів деталей і мастильного матеріалу, а також дані про наявність і характер абразиву, інтенсивності зношування та режимі роботи сполучення, можна досить повно обґрунтувати висновок про вид зношування сполучення і розробити заходи щодо підвищення довговічності

машини.

Абразивним зношуванням називається механічне зношування матеріалу в результаті в основному ріжучого або дряпає дії на нього абразивних частинок, що знаходяться у вільному або закріпленому стані. Абразивні частинки, володіючи більшою, ніж метал, твердістю, руйнують поверхню деталей і різко збільшують їх знос. Абразивне зношування є одним з найбільш поширених видів зношування. У дорожніх машинах більше 60% випадків зносу мають абразивний характер. Зношування цього виду зустрічається в деталях шкворневих з'єднань, відкритих підшипниках ковзання, деталях робочих органів дорожніх машин, деталях ходових частин та ін. (Рис. 5).

Основним джерелом потрапляння абразивних частинок в сполучення машин є навколишнє середовище. У  $1 \text{ м}^3$  повітря міститься від 0,04 до 5 г пилу, на 60-80% складається з зважених часток мінералів. Більшість частинок мають розміри від 5 до 120 мкм, тобто з- вимірні з зазорами в сполученнях дорожніх машин. Основні складові пилу: двоокис кремнію  $\text{SiO}_2$ , окис заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , з'єднання Al, Ca, Mg, Na та інших елементів. Частинки мінералів, що містяться в повітрі, мають високу твердість.

Так, твердість частинок двоокису кремнію  $\text{SiO}_2$  досягає 10 780 - 11 700 МПа, а окису алюмінію - від 20 900 до 22 900 МПа, що перевищує твердість робочих поверхонь більшості деталей дорожніх машин. У ролі абразиву можуть виступати також продукти зношування і випали в осад присадки масел. Якщо твердість абразивної частки порівнянна з твердістю основного металу робочої поверхні деталі, то при роботі сполучення абразивний частка буде сприяти руйнуванню окисної плівки (рис. 5, а). В оголеному в результаті цього металі під впливом навколишнього середовища (кисню повітря і вологи) активізуються корозійні процеси, і відбувається корозійно-механічне зношування поверхні.

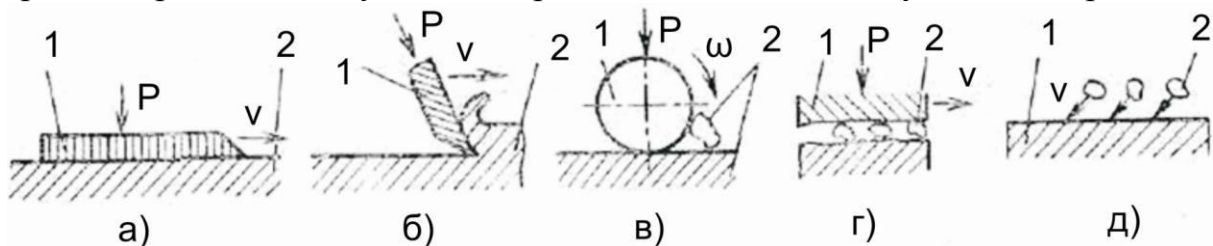


Рис. 5. Схеми деталей будівельних і дорожніх машин, що працюють в умовах абразивного зношування: а - робочі органи; б - ріжучі кромки робочих органів; в - опорні катки, гусениці, елементи відкритих зубчастих передач, покриття коліс; г - опори ковзання; д - деталі трубопроводів гідросистем, пневмоінструменту; 1 - деталь; 2 – абразив

Якщо твердість абразивної частки перевищує твердість основного металу деталі, то при взаємодії робочої поверхні з часткою спостерігається

пластичне відтиснення матеріалу (рис. 6, б). Якщо частка впроваджується в поверхню деталі гострою гранню, то пластичне відтиснення переходить в мікрорізання (рис. 6, в).

Процес абразивного зношування робочої поверхні деталі можна представити в такий спосіб. При взаємодії поверхонь з твердої, закріпленої нерухомо («заклиненому») абразивної часткою на металевій поверхні утворюється подряпина.

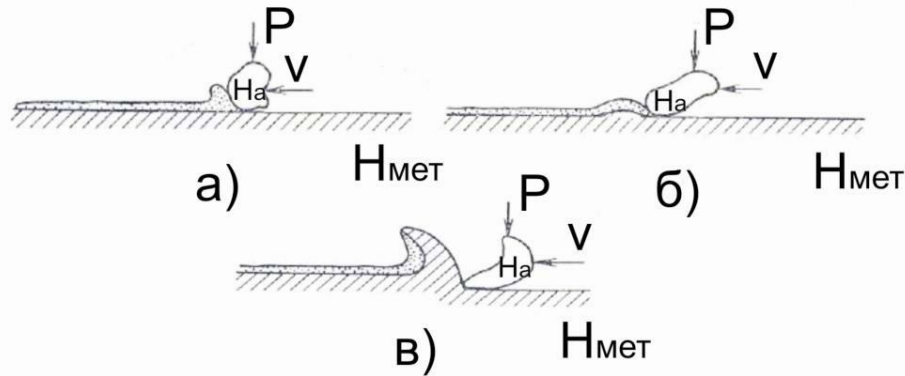


Рис. 6. Види взаємодії поверхні деталі з абразивної часткою:  
а - при корозійно-механічному зношуванні; б - при пластичному відтискуванні; в - при мікрорізання

Якщо відношення глибини  $h$  впровадження абразивної частинки в метал радіусу закруглення частки досягає певного критичного значення, то дряпання супроводжується відділенням продуктів зносу, тобто пластичне відтиснення переходить в мікрорізання. Інтенсивність абразивного зносу прямо пропорційна твердості  $H_a$  абразивних частинок і обернено пропорційна твердості  $H_{мет}$  поверхні тертя. Поверхні великої твердості мають більшу абразивної зносостійкості. У реальних умовах експлуатації абразивні частинки мають вигляд рухомий абразивної маси, перетирають, як в млині, в зазорах сполучень. В результаті на робочих поверхнях деталей утворюються подряпини, відбувається пружнопластичне деформування поверхневого шару, і виникає утомлююча руйнування поверхонь. У елементів пар тертя кочення (зубчасті, фрикційні передачі, підшипники кочення) абразивний знос збільшується з ростом прослизання деталей тертя однієї щодо іншої. Частота обертання деталей сполучення в умовах тертя кочення впливає на інтенсивність абразивного зношування незначно

Абразивне зношування є одним з найбільш швидкодіючих процесів руйнування робочих поверхонь деталей при терті. Деталі дорожньо-будівельних машин мають наступній швидкістю абразивного зношування, мм / год:

Для зниження абразивної складової зношування твердість робочої поверхні деталі повинна бути в 1,3 рази більше твердості абразиву. Підвищувати твердість матеріалу в порівнянні з твердістю абразиву більш ніж в 1,3 рази економічно недоцільно внаслідок невеликого ефекту. Абразивну зносостійкість поверхні підвищують різними методами.

Однак підвищення твердості поверхні при викрашування викликає утворення продуктів зносу високої твердості, під дією яких відбувається мікрорізання і підвищений абразивний знос. Крім того, з підвищенням твердості поверхня стає крихкою і розтріскується під впливом динамічного навантаження.

Ефективними методами захисту деталей дорожніх машин від абразивного зношування є герметизація сполучень за допомогою ущільнюючих елементів, забезпечення чистоти застосовуваних в машинах палив, мастильних матеріалів і робочих рідин. Наприклад, фільтрація дизельного палива перед заправкою машин забезпечує зниження інтенсивності зношування деталей топливної апаратури в 10 разів.

Абразивне зношування полімерів. У підшипниках ковзання і сполученнях валвтулка при шорсткості  $R_z \ll 0,05$  мкм поверхні металу знос полімерів в основному обумовлений стиранням і адгезією. Зі збільшенням шорсткості поверхні металу настає абразивне зношування. При терті без мастильного матеріалу інтенсивність зношування може зростати в 104 разів і вище в міру збільшення шорсткості в 50 разів.

Зносостійкість пластмас в умовах абразивного зношування зменшується з ростом їх модуля пружності на відміну від зносостійкості металів, для яких спостерігається зворотна закономірність.

При роботі деталей з еластомерних матеріалів також спостерігається абразивне зношування. Причинами цього можуть бути не тільки абразивні частинки, продукти зносу, але також і виступи микронеровностей твердої поверхні сполученої деталі. Виступи микронеровностей викликають стирання і виривання частинок матеріалу, на поверхні еластомеру виникають мікропорізи і поздовжні подряпини.

Абразивна зносостійкість еластомерів обернено пропорційна коефіцієнту тертя. Припудрювання поверхні гуми тальком або введення до складу матеріалу антифрикційних мастил дозволяє значно підвищити зносостійкість деталей з еластомерів.

Гідро- і газоабразивним зношуванням називається абразивний зношування в результаті дії твердих частинок, зважених в рідині (або газі) і переміщуються щодо зношується тіла. Гідроабразивне зношування характерно для елементів паливної апаратури, двигунів внутрішнього згоряння, об'ємного гідроприводу, а також для деталей гідродинамічних передач. У ролі рідини - носія частинок, як правило, виступають мастильні матеріали, палива, гальмівні і робочі рідини. Газоабразивне зношування спостерігається в елементах компресорів та пневматичного інструменту, де носієм абразивних частинок є стиснене повітря. Гідро-газоабразивне зношування має загальний механізм і характерні ознаки прояву.

До заходів, спрямованих на збільшення зносостійкості поверхонь при гідро- і газоабразивном зношуванні, відносять збільшення твердості матеріалів деталей, застосування еластомерів з більш високим модулем пружності, герметизацію сполучень, а також забезпечення чистоти робочих рідин або газів.

При визначенні виду зношування елементів машин необхідно відрізнити від гідро- і газоабразивного зношування ерозійне, гідрогазоерозійне і кавітаційне зношування.

Ерозійним називається механічне зношування поверхні в результаті дії потоку рідини і (або) газу.

Гідроерозійним (газоерозійним) зношуванням називається ерозійне зношування в результаті дії потоку рідини (газу).

Кавітаційним називається гідроерозійне зношування при русі твердого тіла щодо рідини, при якому бульбашки газу закриваються поблизу поверхні, що створює місцеве підвищення тиску або температури. Зношування цього виду найбільш часто зустрічається в елементах трубопроводів і в колекторах при відсутності абразивних частинок в робочій рідині або газі. Для транспортно-технологічних машин ерозійні види зношування не характерні.

Втомним називається механічне зношування в результаті втомного руйнування при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару. Втомне зношування спостерігається в більшості сполучень дорожніх машин в якості супутнього виду зношування. Воно виникає як при терті кочення, так і при терті ковзання.

Процес усталостного зношування зазвичай пов'язаний з багаторазово повторюваними циклами напруг в контактні кочення або ковзання. В процесі взаємодії поверхонь в їх верхніх шарах виникають поля напружень. У процесі тертя на робочій поверхні деталей виникають максимальні напруги стиснення, а по глибині матеріалу деталі поширюються спрямовані дотичні напруження, максимум яких концентрується на деякій відстані від точки контакту.

Інтенсивність усталостного зношування визначається наступними факторами: наявністю залишкових напруг і поверхневих концентраторів напружень (оксидів і інших великих включень, дислокацій); якістю поверхні (мікропрофіль, забруднення, вм'ятини, подряпини, задираки, канавки, ризики); розподілом навантаження в сполученні (пружними деформаціями, перекосом деталей, зазором); видом тертя (кочення, ковзання або кочення з проскальзиванням); наявністю і типом мастильного матеріалу. Великого поширення в даний час отримала теорія усталостного зношування, розроблена групою радянських вчених під керівництвом І.В. Крагельського. Відповідно до цієї теорії частинки зносу з поверхні тертя можуть відділятися і без впровадження шорсткостей однієї деталі в поверхневі шари іншої деталі сполучення (рис. 7).



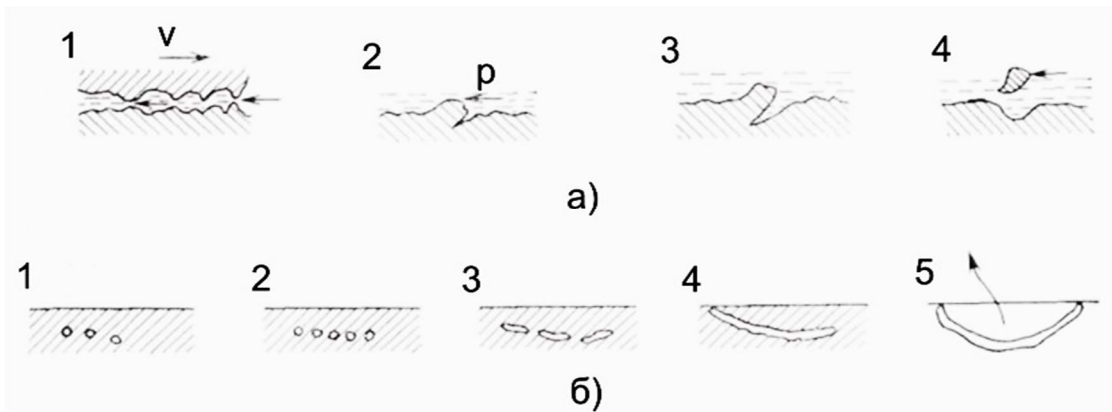


Рис. 7. Схема усталостного зношування поверхні при  $p < p_{кр}$  і виникненні:  
 а - первинної мікротріщини на поверхні; б - мікротріщини в підповерхневому шарі

Зношування може відбуватися внаслідок втоми мікрообсягів матеріалу, що виникає під дією багаторазових стискають і розтягують зусиль, що не перевищують критичних РКР. В результаті циклічного впливу навантаження на поверхні деталі виникають втомні мікротріщини, які поступово зближуючись призводять до утворення частинок зносу. Це явище отримало назву фрикціонно-контактної втоми.

При механічній взаємодії деталей в поверхневих шарах матеріалу виникає складний напружений стан: перед виступом шорсткості утворюється зона стиснення матеріалу, а за виступом - зона розтягування. В результаті такого знакозмінного циклового впливу в мікрооб'ємах матеріалу накопичуються пошкодження, що знижують його міцність. Накопичення втомних мікропошкодження веде до руйнування поверхневих шарів матеріалу в зоні тертя.

Процес катастрофічного усталостного зношування протікає в такий спосіб (рис. 7, а). Спочатку на третя поверхні 1 утворюються втомні мікротріщини 2. Мастило, потрапляючи в мікротріщини, сприяє їх розклинюванню 3 і викришування частинок 4 металу, в результаті чого на поверхні деталі з'являються дрібні віспини (пітінг). Число цих віспинами і одночасно їх розміри збільшуються до тих пір, поки що збільшуються контактні напруги на робочих поверхнях не приведуть до пластичної деформації і інтенсивному зношування деталі. Товщина зруйнованого шару металу приблизно відповідає глибині поширення під поверхнею максимальних дотичних напружень.

Залежно від співвідношення нормальної і тангенціальної складових сил в контакті, а також від структури матеріалу і його фізико-механічних властивостей первинна мікротріщина може зародитися і в підповерхневому шарі. У цьому випадку механізм руйнування поверхні можна представити таким чином (рис. 7, б): 1 - зароджуються підповерхневі дислокації; 2 - йде процес накопичення дислокацій; 3 - утворюються порожнини; 4 - злиття порожнин веде до утворення мікротріщин, паралельних поверхні тертя; 5 - при досягненні мікротріщини деякої

критичної довжини відділяється частка зносу. Підповерхневі мікротріщини зароджуються, як правило, у деталей з неоднорідною структурою матеріалу: азотованих, цементованих, поверхнево загартованих, а також у деталей, що працюють при дуже великих контактних напругах.

Ділянки робочих поверхонь деталей, пошкоджені втомним зношуванням, мають дві типові області: щодо гладкого матеріалу, яка формується по краях в результаті тертя двох сторін мікротріщини при її розкритті і змиканні (в цій області метал зазвичай має специфічне забарвлення внаслідок впливу масла, пилу і продуктів корозії); шорсткою поверхні «рваного» металу, розташована на дні раковини.

Мастильні матеріали зменшують напруга, що діє в контакті, в результаті процес утворення мікротріщин в початковій стадії йде повільніше. Втомне зношування найбільш часто спостерігається в умовах високих контактних навантажень при одночасному коченні і прослизанні однієї поверхні за іншою. В таких умовах працюють, наприклад, зубчасті колеса, важко навантажені шестерні і підшипники кочення, зубчасті вінці. Втомне зношування робочих поверхонь деталей супроводжується підвищенням рівня шуму і вібрації в міру збільшення зносу. Втомне зношування матеріалу може бути помірним і прогресуючим.

Звичайне помірне утомлююча зношування для більшості пар тертя не є небезпечним, і деталі, що мають втомні пошкодження, можуть використовуватися тривалий час. Прогресуюче зношування виникає при високих контактних напругах, супроводжується інтенсивним руйнуванням поверхні і може привести до поломки деталей (наприклад, зуба шестерні).

При інтенсивному абразивному зношуванні робочих поверхонь руйнування їх відбувається швидше, ніж освіту втомних тріщин. Тому, як правило, в таких випадках пітінг не спостерігається.

Втомне зношування також проявляється і при взаємодії деталей з еластомерних матеріалів. Пружні властивості еластомерних матеріалів дозволяють їм відтворювати шорсткість протилежачей твердої поверхні в процесі ковзання, що, в свою чергу, призводить до багаторазового циклічного напруженню матеріалу. Якщо виступи нерівностей твердої поверхні мають закруглену форму і не викликають абразивного зношування, то пошкодження може виникнути в підповерхневих шарах еластомеру під дією повторюваних напружень стиску, розтягу і знакозмінних дотичних напружень. Цей втомний механізм викликає знос щодо малої інтенсивності і стає істотним, коли циклічні напруги діють протягом тривалого часу.

Зношування при заїданні відбувається в результаті схоплювання, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і впливу виниклих нерівностей на сполучену поверхню. Зношування цього

виду є одним з найбільш небезпечних і руйнівних. Воно супроводжується міцним з'єднанням контактують ділянок поверхонь тертя. У процесі тертя відносне переміщення поверхонь призводить до вириваючи частинок металу однієї поверхні і наволакивання їх на іншу, більш тверду поверхню.

У механізмі зношування при заїданні важливу роль відіграє атомно-молекулярне взаємодія матеріалів деталей, що виникає при зближенні поверхонь. На відміну від зношування інших видів, для яких потрібен певний час на розвиток процесу і накопичення руйнівних пошкоджень, при заїданні руйнування поверхні настає досить швидко і призводить до важких форм ушкоджень (задири і раковини). Процес утворення металевих зв'язків залежить від властивостей сполучених поверхонь (їх природи, твердості), а також від методів їх обробки. При наявності окисних плівок на поверхні металів процес заїданні залежить також від властивостей цих плівок. Захисні плівки, міцно з'єднуються з основним металом і здатні швидко відновлюватися при руйнуванні, перешкоджають схоплюванню металів.

Зношування при заїданні металів відбувається при порушенні правил позитивного градієнта механічних властивостей в умовах тертя без мастильного матеріалу або при недостатньому його кількості. При терті кочення в умовах граничного змащення також спостерігається зношування, викликане схоплюванням матеріалів і заїданні. Схоплювання відбувається при місцевому розриві мастильної плівки і встановленні металевого контакту.

Це можливо не тільки при припиненні подачі мастильного матеріалу, але і внаслідок загальної перевантаження сполучення, різкого підвищення температури масла в поверхневих шарах, місцевих температурних спалахів і т.д. Інтенсивність зношування при заїданні залежить від режимів роботи сполучення, швидкості відносного переміщення, навантаження, температурних умов і т.п. Розрізняють заїданні в результаті схва- вання I або II роду.

Процес схоплювання I роду виникає і розвивається при малих швидкостях ковзання (0,005-0,2 м/с) поверхонь тертя і давлєні- ях (5-100)  $10^5$  Па, що перевищують межу текучості металу на ділянках фактичного контакту. Цей процес супроводжується незначним підвищенням температури і призводить до інтенсивного пластичного деформування і руйнування поверхонь деталей. При цьому спостерігається інтенсивне зношування, зростаюче зі збільшенням тиску. У діапазоні швидкостей 0,005-3,3 м / с при  $p = 10^8$  Па спостерігається окислительное зношування щодо малої інтенсивності. Зі збільшенням тиску окислювальний знос зменшується.

Припинення схоплювання I роду відбувається, оскільки швидкість відносного переміщення поверхонь досить велика для того, щоб металеві зв'язку руйнувалися в процесі свого зародження без пошкодження поверхні. Тиск недостатньо велике для герметизації зони тертя, в результаті чого до робочих

поверхонь вільно надходить повітря, і зношування набуває окислювальний характер. У зоні II тиск настільки велике, що металеві зв'язки утворюються, незважаючи на високі швидкості, окислювальні процеси припиняються, розвивається процес схоплювання II роду, що викликає заїдання і інтенсивне зношування. Процес схоплювання II роду розвивається при великих швидкостях ковзання поверхонь тертя і підвищених тисках (зона III). Спостерігається також значне збільшення температури в поверхневих шарах металів, що викликає їх разупрочнение і руйнування.

Умови, сприятливі для виникнення схоплювання металів, створюються природним шляхом в процесі зношування. Сили, що діють в місцях фактичного контакту, викликають напруги, що перевищують межу текучості металу, що тягне за собою пластичні деформації поверхневих шарів металу. При цьому руйнуються адсорбовані газові плівки і забруднення, оголюючи окремі ділянки металів.

Одночасно відбувається згладжування нерівностей і збільшення площі фактичного контакту. При тісному зближенні ділянок поверхонь з зруйнованими плівками забруднень виникає міжатомної тяжіння металів, утворюються металеві зв'язки. Утворилися вузли схоплювання руйнуються, так як зв'язані поверхні переміщаються одна щодо іншої. В результаті пластичної деформації в вузлах схоплювання метал зміцнюється, тому руйнування поверхні відбувається за основним менш міцному металу. Частинки металу, що відірвалися від поверхні тертя, частково налипають на протилежну поверхню, а частково утворюють продукти зносу. У місцях вириваючи відбувається концентрація напружень, утворюються тріщини, знижується міцність деталей. Заїдання поверхонь характеризує аварійний стан сполучення та в процесі експлуатації машин повинно бути виключено. Велике значення має правильний вибір мастильного матеріалу. Протизадирні властивості мастильних матеріалів можна оцінити по критичному навантаженні РКР, при якій в заданих умовах відбувається заїдання поверхонь.

Це навантаження називається навантаженням заїдання. Великий вплив на навантаження заїдання надають в'язкість і стан мастильного матеріалу. Наприклад, для масла МТ16П при температурі  $150^{\circ}\text{C}$  навантаження заїдання приблизно в 3 рази менше навантаження заїдання при температурі масла  $50^{\circ}\text{C}$ . Більш в'язке масло забезпечує найкращі протизадирні характеристики.

При роботі деталей в суцільному потоці масла заїдання відбувається при менших навантаженнях, ніж при роботі в диспергованому (вспененому) олії. Це пояснюється інтенсивним відновленням окисних плівок під впливом кисню повітря, що надходить до поверхонь, що труться деталей разом з мастильним матеріалом. Диспергіроване стан масла викликає порушення сприятливого режиму змащення, що в ряді випадків (наприклад, в гідродинамічних

підшипниках ковзання) може привести до задиру. Зношування при заїдання найчастіше зустрічається в зубчастих зачепленнях. За здатністю протистояти заїдання в одних і тих же умовах навантаження зубчасті передачі всіх типів можна розташувати в наступному порядку: циліндричні передачі з внутрішнім зачепленням; циліндричні передачі з зовнішнім зачепленням; конічні передачі з прямими, косими і спіральними зубами; гіпоїдні і, нарешті, гвинтові передачі, мають найнижчу протівозадірну стійкість.

Це пояснюється тим, що у гіпоїдних і гвинтових передач найбільше ковзання зубів в зачепленні. Зношування при заїдання зустрічається також в кулькових і роликових підшипниках, в важко навантажених опорах кочення.

При взаємодії еластомерних матеріалів з металевими деталями також спостерігається явище схоплювання. Еластомер зношується, якщо коефіцієнт тертя між еластомерним матеріалом і твердою поверхнею досить великий, а міцність еластомеру на розрив мала. Якщо поверхневі шари матеріалу знаходяться в стані максимальної деформації, то в напрямку, перпендикулярному напрямку ковзання, з'являється ризику або невелика тріщина. Далі відбувається поступове виірвання частини пружного матеріалу еластомеру, що знаходиться в стані схоплювання з твердою поверхнею. При цьому шар еластомеру, відокремлюваний від поверхні, скручується в ролик і утворює частку зносу. Інтенсивність зношування еластомеру в цьому випадку істотно залежить від температури, навантаження і мастильного матеріалу. Підбираючи мастильний матеріал з урахуванням зовнішніх умов і пружних властивостей еластомеру, можна повністю виключити цей вид зношування

Корозійно-механічне зношування. Цей вид зношування характеризується процесом тертя матеріалу, який набрав в хімічну взаємодію з середовищем. При цьому на поверхнях металу утворюються нові менш міцні хімічні сполуки, які в процесі роботи сполучення видаляються з продуктами зносу. До корозійно-механічному зношуванню згідно ГОСТ 23.002-78 відносять окислительное зношування і зношування при фреттинг-корозії.

Окислювальним називають зношування, при якому основний вплив на руйнування поверхні має хімічна реакція матеріалу з киснем або окисляє навколишнім середовищем. Окислювальне зношування виникає при терті кочення без мастильного матеріалу, а також при терті з мастильним матеріалом. Швидкість окисного зношування невелика і складає 0,05-0,1 мкм / год. Процес окислювального зношування активізується з підвищенням температури, особливо у вологому середовищі.

Зношуванням при фреттинг-корозії називається корозійно механічне зношування дотичних тіл при малих коливальних відносних переміщеннях. Зношування при фреттинг-корозії відрізняється від зношування при фреттинг-механічного зношування дотичних тіл при малих коливальних відносних

переміщеннях. Основна відмінність полягає в тому, що зношування при фреттинг відбувається у відсутності окисляє навколишнього середовища без прояву хімічної реакції матеріалів деталей і продуктів зносу з киснем. З огляду на це, неважко провести аналогію в механізмах розвитку зношування при фреттингу і фреттинг-корозії. Зношування при фреттинг і фреттинг-корозії зазвичай відбувається на сполучених поверхнях валів з напресованими на них дисками коліс, муфтами і кільцями підшипників кочення; на осях і маточинах коліс; на опорних поверхнях пружин; на затягнутих стиках, прагненнях поверхнях шпонок і пазів; на опорах двигунів і редукторів.

Необхідною умовою виникнення фреттинг-корозії є відносно проковзування сполучених поверхонь, яке може бути викликане вібрацією, зворотно-поступальним переміщенням, періодичним вигином або скручуванням сполучених деталей. Фреттинг-процес супроводжується захопленням, окисленням, корозією і втомним руйнуванням мікрооб'ємів.

В результаті фреттинг-корозії втомна міцність поверхні зменшується в 3-6 разів. На поверхнях деталей в місцях сполучень утворюються натираючи, налипання металу, виривання, раковини, а також поверхневі мікротріщини. Відмітною ознакою зносу внаслідок фреттинг-корозії є наявність на поверхнях тертя раковин, в яких зосереджені спресовані оксиди, які мають специфічне забарвлення. При фреттинг-корозії на відміну від зношування інших видів продукти зносу в основній своїй масі не можуть вийти із зони контакту робочих поверхонь деталей.

Зношування при фреттинг-корозії тягне за собою порушення розмірної точності з'єднання (якщо частина продуктів зносу знаходить вихід із зони контакту) або заїдання і заклинювання роз'ємних з'єднань (якщо продукти зносу залишаються в зоні тертя). Для фреттинг-корозії характерно наступне: малі швидкості (близько 3 мм / с) відносного переміщення поверхонь і шлях (0,025 мм) тертя, еквівалентний амплітуді коливань, при частоті коливань до 30 Гц і вище; локалізація ушкоджень поверхні на майданчиках дійсного контакту внаслідок малих відносних зсувів; активне окислення і інтенсифікація руйнування поверхонь під дією кисню повітря.

Процес зношування при фреттинг-корозії в умовах тертя без мастильного матеріалу можна розділити на три етапи.

Перший етап, коли внаслідок циклічно повторюваних коливальних відносних переміщень контактуючих поверхонь під дією високих навантажень відбувається руйнування виступів і окисних плівок. Йде процес зміцнення матеріалів і пластичного деформування виступів мікронерівностей, що викликає зближення поверхонь. Зближення поверхонь викликає молекулярне взаємодія і захоплення металу в окремих точках контакту. Руйнування внаслідок втоми

виступів і вузлів схоплювання породжує продукти зносу, частина яких окислюється. Для цього етапу характерний підвищений знос з монотонно спадної швидкості зношування.

Другий етап, коли в поверхневих шарах накопичуються втомні пошкодження. У зоні тертя формується корозійно активне середовище під дією кисню повітря і вологи. Між поверхнями створюється електролітична среда, інтенсифікує процес окислення металевих поверхонь, а також процес корозійного руйнування. Для цього етапу характерна стабілізація процесу зношування, зменшення швидкості зношування в порівнянні зі швидкістю зношування на першому етапі.

Третій етап, коли внаслідок втомних корозійних процесів разупрочнення поверхневі шари металів починають інтенсивно руйнуватися з поступово зростаючою швидкістю. Процес має корозійно-втомних характер руйнування.

Інтенсивність руйнування поверхонь при фреттинг-корозії залежить від амплітуди і частоти коливань, навантаження, властивостей матеріалів деталей і навколишнього середовища. Для виникнення фреттинг-корозії досить коливальних переміщень поверхонь з амплітудою ковзання  $a = 8-10^{-7}$  мм. Зі збільшенням амплітуди ковзання знос поверхонь зростає прямо пропорційно. При великих амплітудах (різних для різних матеріалів) руйнування набуває характеру звичайного окисного або втомного зношування. Частота коливань позначається на швидкості відносного переміщення поверхонь і на періоді циклу. При цьому також змінюється контактна температура.

З підвищенням частоти коливань поверхні тертя фреттинг-знос деталей, що працюють в повітряному середовищі, убуває. Це пов'язано з тим, що при зменшенні періодичності навантаження збільшується усталостная довговічність металів. При певному значенні частоти коливань знос стабілізується. Із зростанням тиску до певної величини знос при фреттинг-корозії збільшується, а потім зменшується по експоненційної залежності.

Зовнішнє середовище чинить серйозний вплив на інтенсивність зношування при фреттинг-корозії. У повітряному середовищі знос більше, ніж в рідких середовищах, тому для зниження інтенсивності руйнування поверхонь при фреттинг-корозії рекомендується застосовувати мастильні матеріали.

Як показує досвід, мастила не забезпечують ефективного захисту поверхонь від зношування при фреттинг-корозії. Тому для цієї мети частіше застосовують пластичні мастильні матеріали, захисні властивості яких в умовах фреттинг-корозії визначаються їх чутливістю до зрушення. Зазвичай при використанні мастильних матеріалів, стійких проти зсуву, спостерігається більш висока пошкоджуваність деталей. У зв'язку з цим рекомендується або розбавляти пластичні мастильні матеріали мастилами, або за допомогою загусників доводити

в'язкість рідкого мастильного матеріалу до відповідної консистенції.

Характерно, що зі зменшенням чистоти обробки поверхні її зносостійкість в умовах фреттинг-корозії в присутності мастильного матеріалу підвищується. Це пояснюється тим, що мікронерівності поверхні утворюють природні резервуари, службовці для накопичення і збереження мастильного матеріалу в процесі роботи. Крім того, в ці западини збираються продукти зносу і оксиди. Однак, якщо метал має низьку твердість, то зі збільшенням шорсткості контактуючих поверхонь знос зростає.

У загальному випадку оптимум шорсткості залежить від співвідношення матеріалів деталей, наявності мастильного матеріалу і режиму роботи.

Для запобігання відносного переміщення поверхонь і зменшення зношування при фреттинг-корозії збільшують натяг в разі пресових посадок, застосовують демпфируючі пристрої для гасіння вібрації та інші конструктивні рішення.

Широкі можливості для запобігання зношування при фреттинг-корозії дає підбір пар корозійностійких матеріалів контактуючих деталей. Так, використання тефлону і гуми в з'єднанні вал - втулка дозволяє майже повністю усунути фреттинг-корозію. Тефлонову плівку напилюють на вал, а потім деталь піддають термообробці і перед складанням покривають пластичним мастильним матеріалом. Часто використовують в якості прокладки між контактуючими поверхнями гуму, що дозволяє запобігти зношування при фреттинг-корозії.

Виборче перенесення – це вид контактної взаємодії деталей при терті, який виникає в результаті протікання на поверхні комплексу механофізико-хімічних процесів, що призводять до зниження тертя і автокомпенсації зносу. Ефект виборчого перенесення вперше був виявлений двома радянськими вченими Д.Н. Гаркуновим і І.В. Крагельська при терті мідних сплавів про сталь в умовах граничного змащення.

В умовах виборчого перенесення опір відносному переміщенню поверхонь обумовлено в основному молекулярної складової сили тертя. При виборчому перенесення в зоні контактування поверхонь утворюється захисна, так звана сервовітня плівка, в якій реалізується дифузионно-вакансійних механізм деформації, що протікає без накопичення дефектів, характерних для втомних процесів.

Сервовітня плівка утворюється в зоні тертя в результаті електрохімічних процесів, що розвиваються при терті в системі сталь - мастильний матеріал - мідний сплав, яку можна розглядати як гальванічний елемент. Електрохімічні процеси, що протікають при терті, призводять до різкої зміни структури поверхневих шарів матеріалу.

В результаті в поверхневому шарі міді зароджується велике число вакансій і дислокацій, які призводять до утворення в зоні контакту пухкої



мідної суспензії, що володіє високою пластичністю і малими зсувними опорами. Внаслідок наявності сил молекулярного взаємодії і схоплювання в процесі тертя сервовітная плівка переноситься на сталеву поверхню, сприяє згладжуванню шорсткості поверхні і, заповнюючи западини мікронерівності, утворює захисний шар. При цьому в 100 разів зростає фактична площа контакту і наближається до номінальної, рівномірн перерозподіляється тиск по всій робочій поверхні.

Пухка структура сервовітної плівки забезпечує диффузійно-вакансійних механізм зсуву, при якому деформація плівки в процесі тертя відбувається без накопичення залишкових напруг і дефектів. Тому коефіцієнт тертя зменшується до значення, відповідного тертю з мастильним матеріалом, а втомні зміни структури матеріалу виключаються. Таким чином, при виборчому перенесення реалізуються умови позитивного градієнта механічних властивостей матеріалу по нормалі до поверхонь тертя.

Виборчий перенесення забезпечує практично безизносності роботу сполучення внаслідок ефекту автокомпенсації зносу, який полягає в тому, що частинки зносу не йдуть із зони тертя, а взаємодіючи з мастильним матеріалом, утворюють суспензію, яка покриває робочу поверхню. В умовах виборчого перенесення лінійна інтенсивність зношування становить  $10^{-12}$ .

Для реалізації явища виборчого перенесення при терті необхідна наявність в мастильній середовищі поверхнево-активних речовин. Поверхнево-активні речовини (ПАР) вводять в мастильні матеріали у вигляді присадок. Вони характеризуються тим, що їх молекули або іони концентруються під дією молекулярних сил (адсорбуються) на поверхні. Поверхнево-активні речовини в складі мастильного матеріалу, вступаючи в фізико-хімічну взаємодію з металом (міддю), викликають явища пластифікування. Це явище вперше було виявлено радянським вченим П.А. Ребіндером і отримало назву «ефект Ребіндера». Ефект Ребіндера полягає в зниженні міцності, розпушенні поверхні твердого тіла і полегшення її деформації під впливом адсорбції поверхнево-активних компонентів. Зіставляючи процеси, що відбуваються в умовах виборчого перенесення, і процеси в матеріалах при звичайному терті, можна відзначити, що якщо при звичайних процесах тертя схоплювання є шкідливим, руйнівним явищем, то при виборчому перенесення в сполученнях з автокомпенсації зносу схоплювання забезпечує перенесення частинок більш м'якого, розпушеного металу на протилежну тверду (сталеву) поверхню і створює умови безизносності. Внаслідок розпушення по- поверхні металу і створення сервовітної плівки схоплювання не збільшує сили тертя і не викликає ушкодження робочих поверхонь.

Якщо при звичайному терті мастильний матеріал розглядається як захисний шар по відношенню до твердих поверхонь, то при виборчому

перенесення він грає роль розпушує середовища, що перетворює верхні шари в квазіжідке стан. Якщо при звичайному терті внаслідок високих тисків і температур поверхневі шари матеріалу наближаються до аморфному станом через пластичних деформацій, то при виборчому перенесення вони зберігають кристалічну структуру.

Ефект виборчого перенесення можливий не тільки в парах мідь - сталь, але і в поєднаннях:

- бронза - сталь;
- пластмаса - сталь;
- сталь - сталь;
- алюміній - чавун і ін.

Для створення умов виборчого перенесення в вузлах тертя застосовують: відповідні рідкі і пластичні мастильні матеріали, що забезпечують виникнення сервовітних плівок; латунирование одного з елементів сполучення; металоплакуючих пластичні мастильні матеріали для пари сталь - сталь; композиційні матеріали; пластмаси з наповнювачем  $\text{Cu}_2\text{O}$  для пари пластмаса - сталь.

В даний час в умовах виборчого перенесення вже працюють деякі вузли тертя автомобілів, літаків, верстатів і промислового устаткування. До таких вузлів тертя відносяться важко навантажених шарнірно-болтові з'єднання, маточини коліс, підшипники поворотних цапф ходової частини автомобіля, сполучення гвинт - гайка і ін.

Водневе зношування – процес руйнування металевого елемента пари тертя внаслідок поглинання металом водню. Явище водневого зношування також відкрито радянськими вченими Д.Н. Гаркуновим і А.А. Поляковим.

Водень присутній майже у всіх хімічних сполуках. Він потрапляє в метал при виплавці, в результаті корозії, в ході хіміко-термічної обробки деталей, гальванічних процесів, змазування, травлення. У вузлах тертя в процесі роботи завжди виділяється водень. У зоні контакту в умовах підвищеної температури мастильні матеріали, паливо, пластмаса та інші вуглеводневі сполуки, а також вода з повітря виділяють водень. Водень має властивість концентруватися в нагрітих місцях, тому в процесі тертя він зосереджується в поверхневих шарах металів. Деяка частина водню просочується в просторові дефекти металу. У зародках мікротріщин протони водню поступово утворюють молекули. Збільшуючись в розмірах, вони з величезною силою розпирають поверхню в місці дефекту. В результаті такого расклинивающего дії мікротріщини зливаються одна з одною, відбувається інтенсивне охрупчивание металу і руйнування поверхні.

Водневе зношування проявляється в тій чи іншій мірі практично у всіх вузлах тертя. Руйнування цього виду піддаються деталі зі сталі, чавуну, титану

та інших металевих матеріалів. Внаслідок водневого зношування часто виходять з ладу колінчаті вали двигунів, елементи сталевих цистерн. У вологому і холодному кліматі процес водневого руйнування інтенсифікується, тому, наприклад, в умовах Півночі техніка зношується в кілька разів швидше, ніж в середній смузі.

Для боротьби з водневим зносом необхідно по можливості виключити зі складу вузлів тертя ті пластмаси та мастильні матеріали, які схильні до інтенсивного виділення водню. Введення кремнію і органічних сполук, що містять хлор, викликає зв'язування водню в металі в нешкідливі хімічні сполуки. Процес проникнення водню в поверхневі шари металу можна загальмувати, зменшивши робочу температуру поверхності до 50-60 ° С або створивши електричний потенціал. Водень з металу після хіміко-термічної обробки деталей видаляють при нагріванні їх і витримці при температурі близько 250 ° С.

Фактори, що впливають на характер і інтенсивність зношування елементів машин. Явище зношування елементів дорожніх машин являє собою сукупність взаємопов'язаних процесів і обумовлено різними за своєю природою факторами. Для виявлення повної сукупності факторів необхідно розглянути систему механізм - оператор - зовнішнє середовище - режим роботи - експлуатаційного впливу. Під механізмом в даному випадку мається на увазі машина в цілому, складальна одиниця або сполучення в залежності від мети дослідження. Розглянуту систему можна представити у вигляді функціонального вираження:

$$I = F(E, K, T, O),$$

де E, K, T - символи, які об'єднують групу факторів відповідно експлуатаційних, конструктивних, технологічних; O враховує вплив суб'єктивних особливостей оператора.

В результаті аналізу явища зношування елементів машин, як системи виділено такі основні фактори, що визначають їх довговічність:

□ експлуатаційні - характер виконуваних робіт; режими використання механізму; види і періодичність технічних дій, що управляють; кліматичні умови роботи механізму; стан мастильних матеріалів і робочих рідин; стан фільтруючих і ущільнюючих елементів;

□ конструктивні - вид тертя робочих поверхонь; характер навантаження; концентрація напружень; наявність захисних покриттів; наявність компенсаторів зносу; кінематика і динаміка роботи механізму; співвідношення матеріалів деталей сполучення;

□ технологічні - структура поверхневого шару металу; методи обробки поверхні; наявність залишкових напружень;

якість збірки сполучень; наявність технологічних забруднень (стружки, окалини і ін.) в картерах і ємностях машини; показники геометрії поверхонь

тертя;

□ суб'єктивні особливості оператора - рівень професійної підготовки (кваліфікація); антропометричні та психофізичні дані (зусилля, що прикладаються до важелів управління, частота включення механізмів; швидкість реакції, втомлюваність та ін.).

З експлуатаційних факторів найбільш важливими є характер виконуваних робіт і режими використання машини. Від цих факторів залежать температурний, навантажувальний і швидкісний режими роботи сполучень, що визначають умови тертя і зношування деталей. Керуючі впливи: регулювальні, кріпильні та мастильні операції, - що проводяться в процесі технічного обслуговування, дозволяють в значній мірі зменшити негативний вплив агресивних компонентів зовнішнього середовища і внутрішніх процесів, що відбуваються в елементах сполучень, на довговічність машини. Тому від змісту і періодичності проведення технічного обслуговування багато в чому залежить інтенсивність зношування деталей машини. Це особливо важливо для машин, що працюють в складних кліматичних умовах: при підвищеній вологості або запиленості навколишнього середовища, при низькій або підвищеній температурі навколишнього повітря.

Умови тертя і зношування елементів сполучень дорожньо будівельних машин в значній мірі визначаються відповідністю мастильних матеріалів і робочих рідин конструкції складальних одиниць і умов експлуатації. Тому при проведенні технічного обслуговування необхідно строго дотримуватися рекомендацій щодо застосування основних марок мастильних матеріалів і робочих рідин або їх заміників, обумовлених в інструкції з експлуатації машини. Велике значення має також стан палив, мастильних матеріалів і робочих рідин, застосовуваних у відповідних системах дорожньо-будівельних машин. При виході показників стану за встановлені межі необхідно замінити мастило або робочу рідину.

Найважливішими конструктивними факторами, що визначають характер і інтенсивність зношування елементів машин, є кінематика і динаміка роботи механізму. Від кінематики відносного переміщення робочих поверхонь деталей сполучення залежать вид тертя і умови зношування. Динаміка роботи механізму обумовлює характер навантаження і формування полів внутрішніх напружень в матеріалах деталей. Співвідношення матеріалів деталей сполучення робить вирішальний вплив на їх фрикційне взаємодія і, таким чином, на довговічність машини.

З технологічних факторів основними є методи обробки поверхонь і якість збірки сполучень. Метод обробки робочих поверхонь деталей визначає структуру матеріалів і їх фізико-механічні властивості, наявність залишкових напруг, мікрогеометрію поверхонь тертя. Від якості складання сполучень залежить розмірна точність механізму, а також кількість технологічних

забруднень в картерах двигунів, коробок перемикачів передач, балансірів, редукторів, в баках гідросистем. Частинки стружки і окалини, потрапляючи в зони тертя деталей, викликають абразивне зношування поверхонь і значно скорочують терміни служби сполучень.

Від суб'єктивних особливостей оператора істотно залежить інтенсивність зношування елементів дорожньо-будівельних машин. Від кваліфікації оператора залежать не тільки зусилля, прикладені до важелів управління механічними передачами, частота і тривалість включення механізмів, а й технічний стан машини. Своєчасне і якісне проведення заходів щозмінного обслуговування машини кваліфікованим оператором є необхідною умовою найповнішої реалізації рівня надійності, закладеного в конструкцію машини при її проектуванні і виробництві.

Кожен з перерахованих вище факторів може бути в кількісній формі оцінений за допомогою декількох показників. Загальна кількість факторів, що впливають на характер зношування елементів дорожньо-будівельних машин, становить понад сорок в залежності від рівня складності механізму та глибини дослідження процесу зношування. Однак при роботі механізму змінюються і мають вирішальний вплив на інтенсивність зношування не всі фактори. Для виявлення найбільш значущих, визначальних чинників проводять різні дослідження: експлуатаційні, полігонні, лабораторні, експертні.

## **ЛЕКЦІЯ 4. Корозійні процеси руйнування елементів машин**

### **4.1. Корозійне руйнування деталей**

Під терміном корозія на увазі процес руйнування матеріалів внаслідок їх хімічного або електрохімічного взаємодії із середовищем. Корозія є одним з найбільш небезпечних видів руйнування деталей дорожньо-будівельних машин.

Через корозію щорічно втрачається до 10% металу, що виплавляється.

Тільки на капітальний та поточний ремонт машин і обладнання, передчасно вийшли з ладу внаслідок корозійного руйнування, щорічно витрачається в нашій країні мільярди рублів. Крім того, економіка зазнає величезних збитків, пов'язані з вимушеними простоями машин в ремонті, зі зниженням їх продуктивності і скороченням термінів служби основних складальних одиниць. Так, потужність двигунів внутрішнього згорання, у яких уражені корозією дзеркала циліндрів, знижується на 20-25%. При цьому збільшується на 50-80% витрата моторного масла і майже вдвічі скорочуються терміни служби двигунів.

Транспортно-технологічні машини використовують в різних і в тому числі дуже складних кліматичних умовах, характерними особливостями яких є висока вологість, запиленість і великі перепади температури навколишнього повітря. Під дією вологи, сонячних променів, вітру, коливань температури та інших

факторів відбуваються процеси поступового знеміцнення і руйнування деталей і покриттів, виникають несправності, які часто важко виявити навіть після розбирання сполучення під час технічного обслуговування і ремонту.

Особливо сильно корозійного руйнування піддаються деталі машин, виконані з тонколистової сталі (деталі кузовів, стінки резервуарів), а також робочі органи, нарізні сполучення, зварні шви, деталі паливної апаратури двигунів.

Негативний вплив корозії на довговічність машин, як правило, позначається побічно через зниження втомної міцності і зносостійкості деталей. Так, втомна міцність тонколистових сталей Ст3 і Ст08 в результаті корозійного впливу знижується на 35-40%. Зносостійкість деталей сполучень зі сталі 45 і сталі 20, чавуну СЧ 18 і сталі 20 під дією корозії зменшується в 1,5-4 рази.

Фізична сутність процесу виникнення і протікання корозії. Розглянемо фізичну сутність процесу корозії. Найбільш наочним прикладом проходження процесу корозії може служити звичайнісінька батарейка. У чому полягає фізична сутність процесу роботи батарейки - в руйнуванні цинкового корпусу.

Лампочка горить, поки електрична енергія генерується хімічними реакціями на електродах. На вугільному електроді йде реакція хімічного відновлення, на цинковій - окислення (див. Рис. 8). При цьому металевий цинк перетворюється в гідратованих іони цинку ( $ZN2-$ ) і воду ( $H2O$ ). Чим більше потік електрики в електроліті, тим більша кількість цинку кородує. Такий стан описується законом Фарадея, який говорить, що маса металу, який входить в реакцію:

$$M = k \cdot I \cdot t,$$

де  $I$  - струм;  $t$  - час реакції;  $k$  - електрохімічний еквівалент ( $3,39 \cdot 10^{-4}$ ).

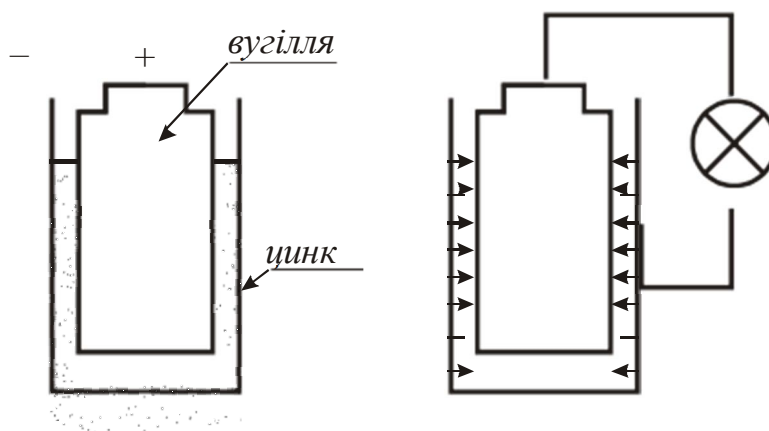


Рис. 8. Фізична сутність процесу виникнення і протікання корозії

Навіть короткий замикання електродів електроліту веде до розчинення первинного цинкового корпусу протягом декількох годин. При розімкнутому

ланцюзі цинк може зберігатися роками. Розчинення цинку в розімкнутому контурі головним чином пояснюється наявністю в ньому мізерної кількості домішок заліза. Перебуваючи на поверхні цинку, ці вкраплення грають ту ж роль, що і графітовий електрод, створюючи потік електрики і викликаючи корозію. Такий процес називається локальним струмом.

Будь-яка поверхня металу з вкрапленнями домішками також як і в розглянутому прикладі з цинком являє собою сукупність електродів замкнутих між собою через основний метал. Локальні струми і корозія не виникають поки метал сухий. Попадання води або інших видів розчинів призводять до початку корозійного руйнування.

Класифікація втрат від корозії. Розрізняють прямі і непрямі втрати від корозії.

Прямі втрати: пошкодження металевих виробів.

Непрямі втрати: заміна пошкоджених корозією виробів на нові (простий трубопровід і обладнання); втрати готової продукції; втрати потужності і зміна теплового режиму двигуна; забруднення продукції від корозії (харчова і медична промисловість); допуски на корозію (зайва витрата металу, що призводить до збільшення ваги конструкції і підвищення витрат по потужності).

#### **4.2. Класифікація корозійних процесів**

Залежно від механізму процесу корозійного руйнування матеріалів деталей розрізняють хімічну і електрохімічну корозію.

Хімічна корозія - процес руйнування матеріалу деталі в результаті хімічного впливу навколишнього середовища. Процес корозійно-хімічного руйнування розвивається як в газоповітряній, так і в рідкому середовищі. Прикладом хімічної корозії в газовому середовищі може служити руйнування поршнів, клапанів та інших деталей двигунів внутрішнього згорання в результаті взаємодії металів з киснем, сірководнем, сірчистим газом і т.п. Хімічний характер має і руйнування матеріалів, що працюють в рідкому середовищі, що не проводить електричний струм, але здатної до хімічної взаємодії з металом (наприклад, в мастильних матеріалах)

Електрохімічна корозія виникає в результаті впливу на матеріал деталі електропровідного середовища - електроліту. Електролітом може бути вода або водні розчини кислот і лугів, які утворюються в результаті взаємодії води з паливом, маслом або продуктами окислення. При електрохімічній корозії руйнування металу пов'язане з виникненням і перетіканням електричного струму з одних ділянок поверхні на інші.

Електрохімічний механізм руйнування металів є корозією найбільш поширеного типу і спостерігається в тій чи іншій мірі практично у всіх елементах дорожніх машин. Більшість деталей машин в умовах експлуатації

взаємодіють з розчином електролітів. В процесі роботи при зміні температури поверхонь деталей на них конденсуються з повітря плівки води. Гази, що знаходяться в атмосфері, легко розчиняються у воді, утворюючи такі кислоти, як сірчана, сірчиста, азотна, азотистая і інші, а також лужні сполуки, які є типовими електролітами.

За характером навколишнього середовища розрізняють атмосферну, газову, рідинну, підземну і біокорозія. Для більшості деталей дорожньо-будівельних машин найбільш характерною є атмосферна корозія.

Атмосферне корозія - це процес поступового руйнування металів під дією атмосферного повітря, а також містяться в ньому твердих частинок, вологи і газів. При атмосферної корозії процес руйнування поверхні металів має електрохімічний характер. Інтенсивність руйнування залежить від складу атмосферного повітря, виду і концентрації містяться в ньому домішок. Тверді частинки домішок, розчиняючись в конденсаті води на поверхні деталі, утворюють сильний електроліт, що активізує електрохімічні процеси. Для більшості конструкційних сплавів, застосовуваних в дорожньо-будівельному машинобудуванні, найбільш небезпечними є домішки сірки, сірчистого газу, сірководню та хлору. Для мідних сплавів, крім того, корозійно активним реагентом є також аміак. Вугільний пил, пісок, солі оксидів металів підвищують електропровідність електроліту, забезпечують поліпшення адсорбції молекул різних газів і вологи з повітря, збільшують конденсацію води.

Інтенсивність корозійного руйнування залежить також від температури навколишнього повітря. При переході від негативних до позитивних температур корозійна активність середовища підвищується внаслідок конденсації вологи на поверхні деталі. Подальше збільшення температури повітря, як правило, гальмує корозію в результаті зниження відносної вологості і підсихання поверхні. Однак комбіноване вплив високої вологості і температури, характерне, наприклад, для тропічної кліматичної зони, викликає різку інтенсифікацію процесів руйнування поверхонь деталей внаслідок електрохімічної корозії.

Залежно від ступеня зволоження поверхні розрізняють суху, вологу і мокру атмосферну корозію (рис. 9).

Сухий називають атмосферну корозію, що протікає під молекулярними шарами вологи, що не перевищують по товщині 10-3 м (100 А). При сухій корозії відбувається хімічна взаємодія (окислення) металу із середовищем. В результаті поверхневого окислення металу під впливом кисню або сірководню, що надходять з повітря, відбувається потускнення нікелевих, цинкових, олов'яних покриттів, латунних і бронзових деталей, почорніння мідних покриттів.



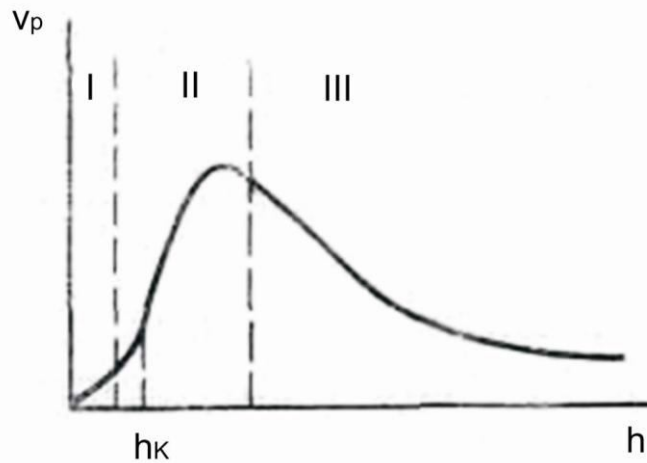


Рис. 9. Залежність швидкості  $V_p$  руйнування металеві поверхні від товщини  $h$  плівки вологи на поверхні деталі під дією атмосферної корозії:  
I - сухий; II - вологою; III – мокрою

При сухій атмосферній корозії на поверхні металів протягом перших 2-3 год утворюються стійкі плівки окислів, товщина яких стабілізується на певному для кожного металу рівні. На сталевих і обмідненого шар окислів досягає (3-4)  $10^{-9}$  м, а на поверхнях деталей з алюмінієвих сплавів і корозійностійких сталей (1-2)  $10^{-9}$  м. Суха атмосферна корозія внаслідок слабкої інтенсивності процесів практично не впливає на довговічність деталей машин навіть при вмісті в повітрі невеликих кількостей агресивних речовин.

Атмосферну корозію, що протікає під плівками вологи товщиною до 10-6 м, сконцентровані в результаті підвищеної відносної вологості повітря (до 98%) і перепаду температур, називають вологою атмосферної корозією. В умовах вологого атмосферної корозії процес взаємодії матеріалів деталей з навколишнім середовищем має електрохімічний характер. Інтенсивність корозійного руйнування поверхонь різко зростає зі збільшенням товщини плівки вологи. При певній відносній вологості повітря, званої критичної (50-70%), на поверхнях деталей утворюються суцільні плівки вологи мінімальної товщини  $h_k$  (див. рис. 9). У цей момент спостерігається різке збільшення швидкості корозійного руйнування.

Мокрою називають атмосферну корозію, що протікає в умовах крапельної конденсації води або прямого попадання опадів на поверхню металу з утворенням плівок вологи, товщина яких перевищує  $10^{-6}$  м. Умови, необхідні для мокрої атмосферної корозії, виникають при відносній вологості повітря вище 98%, а також в сильно обводненій середовищі (в кар'єрах, в заболоченій місцевості, в заплавах річок). Механізм руйнування металу при мокрій атмосферної корозії має яскраво виражений електрохімічний характер. Інтенсивність руйнування поверхні металу при мокрій корозії трохи нижче, ніж при вологій. Це пояснюється послабленням розчину електроліту і внаслідок цього зменшенням корозійної активності середовища.

У реальних умовах експлуатації машин практично важко розмежувати перераховані різновиди корозії, так як вологість, температура і агресивність

середовища змінюються в широких межах. Великий вплив на інтенсивність атмосферної корозії всіх видів надають забруднення, оксиди металів, продукти зносу, а також продукти окислення мастильних матеріалів.

Газова корозія відбувається при відсутності плівок вологи на поверхні металів. Корозія цього виду виникає, як правило, при високих температурах в середовищі агресивних газів (наприклад, відпрацьованих). Процес руйнування поверхонь деталей при газовій корозії проходить по хімічному механізму. Газова корозія зустрічається в деталях двигунів внутрішнього згорання, газогенераторів, компресорів.

На швидкість руйнування поверхні деталей при газовій корозії визначальний вплив надають температура і склад газового середовища. При підвищенні температури швидкість корозійного руйнування помітно збільшується. Особливо велику активність при газовій корозії виявляють такі компоненти повітряного середовища, як окис вуглецю, оксиди азоту, хлористий водень, сірчисті з'єднання.

Рідинна корозія металів протікає в рідкому середовищі: неелектропровідних маслах і паливах, які не є електролітами, або в кислотних, лужних водних електролітичних розчинах.

У неелектропровідній середовищі рідинна корозія є варіантом хімічної взаємодії металу з рідиною. Процес взаємодії зводиться до хімічної реакції металу з агресивними компонентами рідини, найбільш небезпечні з яких сірка і сірчисті з'єднання. Прикладом корозії цього типу є пошкодження поверхні деталей двигунів внутрішнього згорання, що працюють на паливі з високим вмістом сірки. Швидкість корозії прямо пропорційна вмісту в паливі сірки. При згоранні палива утворюється сірчистий газ, який, змішуючись з парами води, перетворюється в сірчисту, а при впливі кисню повітря - в сірчану кислоту. Ці кислоти є сильними електролітами, тому процес корозійного руйнування приймає електрохімічний характер. Сильними електролітами є також органічні кислоти, що утворюються в результаті окислення вуглеводнів (мастильних матеріалів) під впливом повітря.

Підземна корозія - процес руйнування металевих поверхонь під впливом ґрунтової вологи. Цей процес має електрохімічний характер. Спостерігається підземна корозія в занурених в ґрунт елементах металевих і бетонних споруд, елементах металокопункцій опор асфальто і цементобетонних заводів.

Біологічна корозія (біокоррозія) - процес руйнування поверхні металів під впливом продуктів життєдіяльності мікроорганізмів. Мікроорганізми можуть безпосередньо руйнувати матеріал деталі, але частіше продукти їх життєдіяльності стимулюють процеси хімічної або електрохімічної корозії. Продуктами життєдіяльності мікроорганізмів є сірка, сірководень, гідроокис заліза, нітрид. Ці речовини є поряд з агресивними реагентами і інтенсифікують

руйнування металів.

Розрізняють мікроорганізми декількох видів, що викликають біокоррозія металів. До них відносяться бактерії, актиноміцети (цвіль) і міцеліальні грибки. Найбільшу біокоррозія викликають бактерії, оскільки вони швидко розмножуються і легко пристосовуються до умов навколишнього середовища.

Існують бактерії особливого виду, так звані железобактерии, живильним середовищем для яких є залізо і сталеві сплави. Ці бактерії засвоюють залізо у вигляді іонів. При переробці заліза і кисню в процесі життєдіяльності мікроорганізмів на поверхні металу виникає нерозчинна плівка гідроксиду заліза, міцно пов'язана з основним металом деталі. Ця плівка має характерний буро-червоний колір і важко відділяється від поверхні.

Внаслідок біокоррозії на металевій поверхні виникають дрібні дефекти, які мають вигляд раковин, заповнених шламом і тонкими відкладеннями іржі. Відомі випадки руйнування від біокоррозії паливних насосів, паливних баків, резервуарів для зберігання палива і масел. Виникає біокоррозія найчастіше у вологому середовищі (при відносній вологості 75-95%) при температурі повітря від 10 до 35-40 ° С. Біокоррозія зазвичай протікає спільно з атмосферним або підземної корозією і інтенсифікує процес руйнування металевих поверхонь.

Умови протікання корозійного процесу визначаються конструкцією складальної одиниці, співвідношенням матеріалів деталей сполучення, структурою матеріалів деталей, характером зовнішніх впливів і виникають при цьому внутрішніх напружень.

Щілинна корозія розвивається в щілинах і зазорах металевих деталей, а також в місцях нещільного контакту металевої поверхні з неметалічних корозійно-інертним матеріалом. Зі збільшенням ширини щілини швидкість корозійного руйнування металу зростає.

Причиною щілинної корозії є утворення градієнта концентрації агресивного компонента середовища всередині і поза щілини. Це веде до виникнення корозійної пари електрохімічного типу і прискореного руйнування анодного ділянки. Найбільш чутливі до щілинної корозії корозійно-стійкі сталі й алюмінієві сплави. Для запобігання щілинної корозії необхідно на стадіях конструювання і виробництва машини виключити умови, що сприяють її виникненню.

Контактна корозія - руйнування поверхонь в результаті електрохімічної взаємодії контактуючих металів, що мають різні стаціонарні потенціали в певній електролітичній середовищі. Процес йде за схемою гальванічної пари, причому відбувається переважне руйнування одного з металів, що є в даних умовах анодним, тоді як корозія іншого - катодного - поступово сповільнюється або припиняється.

Залежно від типу агресивного середовища і ступеня небезпеки виникнення

контактної корозії розрізняють допустимі, обмежено допустимі і неприпустимі поєднання металів в сполученнях.

Структурна корозія виникає в зв'язку з неоднорідністю структури металу. Руйнування поверхні цього виду часто мають механізм міжкристалітної корозії. Присутність карбідів в сталі, графітних включень в чавуні, які служать катодними ділянками, в розчинах сірчаної та соляної кислот викликає різку інтенсифікацію корозійних процесів.

Корозія під напругою - це процес руйнування поверхонь металів в результаті одночасного впливу корозійного середовища і постійних або змінних механічної напруги. При циклічних розтягуючих напруг, які перевищують межу текучості металу, зазвичай спостерігається зменшення межі витривалості внаслідок так званої корозійної втоми. Ефект руйнування при комбінованому впливі корозії і циклічного навантаження більше, ніж сума відповідних ефектів при окремому впливі корозії і навантаження. Корозії цього виду схильні до ресори автомобілів і дорожніх машин, канати, штоки гідроциліндрів.

При безперервному впливі корозійного середовища і розтягують залишкових або доданих статичних напружень, які перевищують межу текучості металу, виникає корозійне розтріскування поверхні. Корозійний вплив середовища (води, конденсату, мастил) призводить до виникнення концентраторів напружень. У цих точках напруги, поступово накопичуючись, перевищують межу плинності металу. При досить тривалому впливі корозійного середовища в поєднанні з високими локальними концентраціями напружень відбувається зниження міцності металу з подальшим його руйнуванням. Схожа картина спостерігається і при роботі неметалічних матеріалів в умовах, аналогічних описаним.

Корозійна кавітація - руйнування металу, викликане одночасно корозійних і ударним впливом рідини в умовах кавітації. Руйнування цього виду для елементів дорожньо будівельних машин не характерні.

### **4.3. Класифікація видів корозійних руйнувань деталей**

За характером корозійного руйнування поверхні розрізняють суцільну і місцеву (локальну) корозію.

Суцільна корозія охоплює всю поверхню деталі. Залежно від характеру розподілу корозійних пошкоджень по поверхні корозія буває: рівномірною, що протікає з однаковою швидкістю по всій поверхні металу (рис. 10, а); нерівномірною - за швидкістю протікання процесу руйнування на різних ділянках (рис. 10, б); виборчою, при якій руйнується одна структурна складова або один компонент сплаву (рис. 10, в).

Місцева корозія викликає локальні пошкодження поверхні металу на окремих ділянках. Пошкодження цього виду частіше зустрічаються в деталях

дорожньо-будівельних машин і роблять серйозний вплив на їх довговічність.

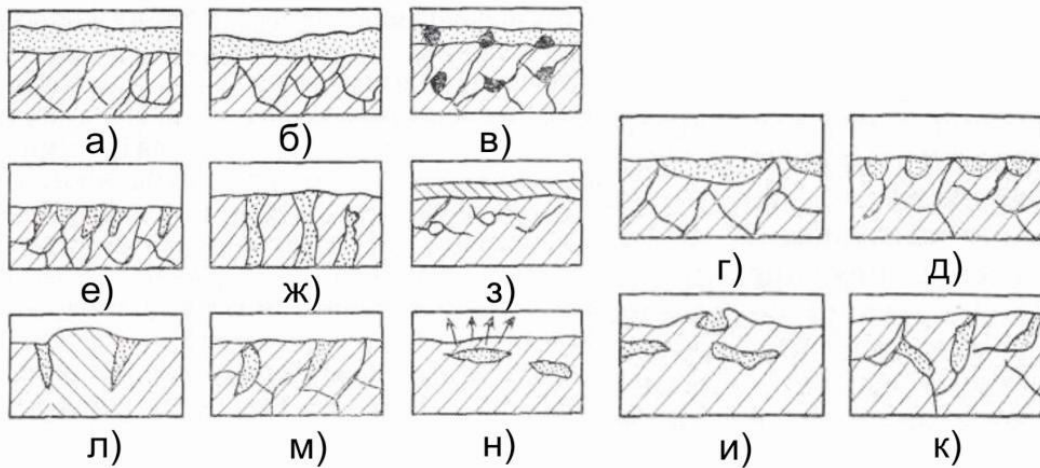


Рис. 10. Основні види корозійного пошкодження деталей

Існують різні форми корозійного пошкодження поверхні металу:

- окремі плями (рис. 10, г), діаметр яких значно більше глибини;
- численні дрібні виразки або раковини (рис. 10, д), діаметр яких приблизно дорівнює глибині проникнення;
- точкове (рис. 10, е), що виявляється у вигляді окремих дрібних точкових пошкоджень (віспинами), діаметр яких менше глибини проникнення, пошкодження цього виду іноді називають питтингов;
- наскрізне (рис. 10, ж) у вигляді тріщин, які пронизують матеріал деталі наскрізь;
- нитевидное (рис. 10, з), що представляє собою мікротріщини у вигляді ниток, що поширюються найчастіше під поверхнею захисного неметаллического покриття;
- підповерхневе (рис. 10, и), що має вигляд відшаровуються тріщин, що розповсюджуються в верхніх шарах металу деталі паралельно поверхні. Виявляється зазвичай спученням і розшаруванням металу;
- межкристалитного (рис. 10, к), що розвивається на кордонах кристалітних зерен металу;
- ножове (рис. 10, л), що виявляється в зоні сплаву металів деталей зварних з'єднань в сильно агресивних середовищах;
- корозійне розтріскування (рис. 10, м) з утворенням міжкристалічних і транскристалітних тріщин;
- корозійна крихкість (рис. 10, н), що виявляється в разупрочненні і охрупчіванні матеріалу деталі в результаті впливу корозії (наприклад, водневе охрупчівання).

Форма прояву корозійних пошкоджень поверхонь деталей залежить від виду корозії і умов протікання процесу. Будь-яке з перерахованих ушкоджень

деталі обмежує її довговічність. Корозійні пошкодження можуть проявлятися як на робочих поверхнях деталей, що труться в сполученнях, так і на нерухомих поверхнях елементів машин. Особливу небезпеку становлять підповерхневі пошкодження деталей, що розвиваються в матеріалі під шарами захисних покриттів і не виявляють зовнішніх ознак.

Корозійне пошкодження поверхонь тертя деталей знижує їх зносостійкість. Деталі, що працюють під навантаженням в умовах корозійного впливу, втрачають міцність від втоми. Продукти корозії, потрапляючи в зони тертя деталей і порушуючи режим мастила, негативно впливають на процес зношування поверхонь.

Ступінь корозійного пошкодження поверхонь оцінюють різними кількісними показниками:

- вогнищевим, що характеризує число вогнищ пошкодження на одиниці площі металевої поверхні за певний проміжок часу;
- глибинним, що характеризує середню або максимальну глибину пошкодженого шару металу за певну напрацювання машини, наприклад мм / 1000 год, або за встановлений період експлуатації, мм / рік;
- схильністю металу до корозії, що оцінюється тривалістю роботи деталі до виникнення корозійних пошкоджень на площі, рівній 1% загальної робочої поверхні; вимірюється в одиницях напрацювання;
- зміною маси деталі - зменшенням або збільшенням в результаті втрат або зростання продуктів корозії металу за встановлений період експлуатації або випробувань, г/(м<sup>2</sup> год);
- механічним, як правило, міцності, що характеризує зміну межі міцності металу за напрацювання, %;
- електричним, що характеризує зміни електроопору поверхні металу деталі за період експлуатації, %.

#### **4.4. Основні фактори, що впливають на перебіг процесів корозії**

Інтенсивність корозійного руйнування металів залежить від великої кількості різних за своєю природою і значущості факторів. Модель корозійного процесу умовно можна представити у вигляді функціональної залежності:

$$v_K = F(K, T, E),$$

де  $v_K$  - швидкість корозійного руйнування поверхні;  $K$  - конструктивні фактори, що впливають на корозійний процес;  $T$  - технологічні чинники;  $E$  - експлуатаційні фактори.

До конструктивних чинників відносять: співвідношення матеріалів в сполученні; вид з'єднання елементів конструкції (різбове, зварне, заклепковий і ін.); конструкцію деталі і сполучення (наявність застійних зон, щілин, зазорів);

концентрацію напружень; характер навантаження; наявність захисних покриттів; склад середовища.

У технологічні чинники включають: співвідношення компонентів в сплаві; структуру металу; термодинамічну стійкість металу; методи обробки поверхні (хіміко-термічна, електрохімічна, механічна); шорсткість поверхні; залишкові напруги.

До експлуатаційних чинників відносять: тривалість експлуатації; склад атмосфери; вологість; температуру і її зміни; характер забруднення поверхні (механічні домішки, агресивні компоненти, мікробіологічне, продукти окислення і корозії, розподіл їх по поверхні); сонячну радіацію; зовнішні навантаження; умови повітрообміну; характер використання машини.

Одним з найважливіших конструктивних факторів є співвідношення матеріалів деталей сполучення по електродним потенціалом. Наприклад, контакт деталей з металів корозійно-стійка сталь - алюмінієвий сплав або кадмієві покриття сприяє виникненню корозійних ефектів. Контакт металу з полімером може привести до виникнення корозії через виділення корозійно-активних складових з полімерного матеріалу при його деструкції, а також з-за накопичення вологи в порах полімеру і розчинення в ній агресивних реагентів. При експлуатації дорожніх машин часто спостерігаються випадки локальної корозії сталей на ділянках їх контакту з гумовими та іншими ущільнювачами.

З'єднання деталей всіх видів, включаючи зварні, містять мікроскопічні щілини і зазори, в яких накопичуються електролітичні розчини та продукти корозії. Раціональна компоновка сполучення дозволяє зменшити число таких зазорів і ліквідувати застійні зони.

З технологічних факторів найбільш небезпечними є внутрішні дефекти матеріалу, що виникають при обробці деталей і не виявлені в процесі виробництва. Поверхневі і внутрішні мікротріщини, вм'ятини, ризики, сторонні включення можуть виявитися вогнищами зародження корозійного руйнування поверхні.

При хімічної та електрохімічної обробки поверхні металу, в тому числі при нанесенні захисних покриттів, може статися наводороживание металу, що веде до охрупчіванню і водневого руйнування деталей.

Конструктивні та технологічні заходи не дозволяють повністю нейтралізувати корозійний вплив зовнішнього середовища на деталі машини в процесі експлуатації. Розвиток корозії різко активізується при пошкодженні захисних покриттів, особливо лакофарбових або консерваційних мастил.

Велике значення мають особливості і характер використання машини. Наприклад, машини, що працюють поблизу морів або в тропіках, в десятки разів більше схильні до корозійного впливу, ніж працюють в умовах пустелі, в холодній або помірній кліматичній зоні.

## 4.5. Методи захисту елементів автомобіля від корозії

Методи захисту від корозії можна умовно розділити на три групи: методи підвищення корозійної стійкості металів; методи впливу на природне середовище; комбіновані методи. Найбільшого поширення в даний час отримали:

- з методів першої групи - нанесення захисних покриттів; підвищення корозійної стійкості металів в результаті легуючих добавок;

- з методів другої групи - герметизація сполучень, усунення зазорів, нещільності і застійних зон; введення до складу мастильних матеріалів протикорозійних присадок. Корозійну стійкість металів збільшують:

- на стадії конструювання - при підборі матеріалу, обґрунтуванні виду захисного покриття поверхні деталі;

- на стадії виробництва - в процесі обробки деталі і нанесення захисного покриття;

- на стадії експлуатації - нанесенням консерваційних мастильних покриттів, своєчасним відновленням пошкоджених захисних покриттів.

Герметизацію сполучень проводять:

- на стадії конструювання - при розробці конструкції елементів машини; підборі матеріалів ущільнюючих елементів;

- на стадії виробництва - при проведенні складальних робіт;

- в експлуатації - при проведенні технічного обслуговування і ремонту.

Розрізняють такі види захисту металів від корозії:

1) протекторна захист (анодний і катодний захист);

2) застосування консерваційних матеріалів та інгібіторів (Ізоляція від навколишнього середовища);

3) застосування Пасиватор (створення захисної окисної плівки);

4) застосування лакофарбових покриттів.

Покриття чорних металів іншими металами. Щоб зменшити корозію чорних металів, їх поверхню можна покривати як менш стійкими в корозійному відношенні металами (анодні покриття), так і більш стійкими (катодні покриття). Залежно від цього покриття будуть святкує виконувати свою захисну функцію.

Анодні покриття - це такий захист, при якій електродний потенціал покриття виявляється негативним по відношенню до металу конструкції, що захищається, наприклад Zn-Fe.

При наявності подряпин або пір в цинковій покритті утворюється гальванічна пара, в якій негативним електричним потенціалом володіє Zn, а менш активним металом є Fe.

Фізична сутність такого захисту полягає в наступному.



Електрони більш активного металу (Zn) перетікають на метал з меншою активністю (Fe) і утримують позитивні катіони останнього від переходу в електроліт. В результаті сповільнюється руйнування конструкції. Залізо в цій парі не кородує до тих пір, поки не буде зруйнований шар цинку в радіусі його дії.

Таким чином, захист металу від корозії нанесенням на його поверхню анодного покриття зводиться до жертви одного металу (більш активного) для порятунку іншого (менш активного). Такий метод зменшення інтенсивності корозії називають протекторної захистом. Вперше вона була застосована для запобігання корозії сталевій обшивки морських судів. До корпусу судна прикріплювали цинкові пластини (анооди), які, розчиняючись в морській воді, захищали сталевий корпус, який грає роль катода.

Ефективність протекторного захисту залежить не тільки від матеріалу протектора, але і від електропровідності електроліту: чим вище його провідність, тим на більшу поверхню поширюється захисну дію протектора.

Катодні покриття - це такий захист, при якій електродний потенціал покриття виявляється позитивним по відношенню до металу конструкції, що захищається, наприклад Sn-Fe. При наявності подряпини або тріщини таке покриття не тільки не захищає конструкцію від руйнування, але і, навпаки, прискорює корозію, так як в гальванічній парі більш активним металом є залізо і корозія поширюється під шар більш благородного металу. Отже, при катодних покриттях дуже важливо не допустити в них пір і тріщин.

Застосування консерваційних матеріалів. Консерваційні матеріали (сповільнювачі корозії) утворюють на металевій поверхні захисні плівки, які ізолюють метал від навколишнього середовища і руйнують систему гальванічних мікроелементів на його поверхні.

Розроблено сотні різних консерваційних матеріалів. Наведемо перелік препаратів, що випускаються на підприємствах Росії.

1. Пластичні мастила (гарматна мастило, мастила АМС і ЗЕС) характеризуються високою захисною ефективністю, але значною трудомісткістю як при консервації, так і при розконсервації.

2. Рідкі консерваційні масла [НГ-203 (А, Б, В) і К-17] характеризуються хорошою технологічністю, але захисна здатність їх невисока через можливість змиву атмосферними опадами. Їх застосовують для консервації внутрішніх поверхонь двигунів.

3. Плівкоутворювальні інгібовані нафтові склади (Пінсо) [НГ-216 (А, Б, В) і інгібі-С] утворюють на поверхні, що захищається тверді та напівтверді плівки. Ці склади застосовують для протикорозійного захисту техніки на відкритих майданчиках.

4. Захисні воскові дисперсії (ЗВВД-13, ІВВС-706М і ПЕВ- 74) - це

суспензії захисних матеріалів в воді (ЗВВД-13, ІВВС- 706М) або в бензині (ПЕВ-74). Такі склади забезпечують захист від атмосферної корозії деталей машин не тільки з металу, а й також з гуми і лакофарбових покриттів.

5. Маслорастворимих інгібітори корозії (МСДА-1, МСДА-2, емульгін і СЖК) в поєднанні з маслами утворюють консерваційні композиції для захисту зовнішніх і внутрішніх поверхонь машин і механізмів.

6. Летючі інгібітори корозії (Г-2, НДА і ХЦА), випаровуючись в замкнутому просторі, насичують своїми парами поверхні виробів і оберігають їх від атмосферної корозії.

7. Ингибированная папір (МГБІ 3-40, МГБІ 3-25 і МГБІ 8-40) - це папір, просочена нелетучими інгібіторами. Її застосовують для надійної герметизації виробів на термін від 5 до 10 років.

В даний час при виробництві транспортно-технологічних машин застосовують більше 15 видів покриттів: цинкування, анодування, фосфатування, хромування різних видів. Широко використовують процеси гальванопокриття: багат шарові покриття мідь - сілнікель - хром і мідь - трінікель - хром, блестя- ний цинкування, кадміювання.

Одним з найбільш перспективних методів підвищення протикорозійних властивостей машин є збільшення частки деталей з пластмас і металів підвищеної корозійної стійкості (елімінувати лист - для глушників, покриття цінкометалл - для кузовів з листової сталі).

Велику роль в захисті транспортно-технологічних машин від корозії грають різні лакофарбові покриття. Їх застосовують як захисно-декоративні, і вони особливо ефективні в якості зовнішнього шару в комбінованих покриттях. Захисні властивості лакофарбових покриттів залежать від суцільності і щільності шару, ізолюючого поверхню металу від навколишнього середовища, а також від міцності зв'язку покриття з поверхнею металу. Для підвищення міцності зв'язку покриття з металом дуже важливо правильно попередньо обробити поверхню: ретельно очистити і знежирити її. Наприклад, при підготовці поверхні металу перед покриттям з використанням знежирювальних і фосфатируючих концентратів (КМ-1, КФ-1) можна збільшити протикорозійну стійкість деталей в 1,3 рази.

Конструктивні, технологічні заходи, а також спеціальні захисні покриття лише знижують інтенсивність розвитку корозії, але не запобігають їй повністю. Тому при експлуатації машин необхідно періодично видаляти продукти корозії, вологи і забруднень з поверхонь, перевіряти стан і при необхідності відновлювати захисні покриття.

## МОДУЛЬ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ МАШИН

### ЛЕКЦІЯ 5. Основні завдання ремонтного виробництва. Моделювання процесів, що викликають погіршення технічного стану і зниження працездатності машин. Теорія моделювання. методи випробувань

#### 5.1. Основні завдання ремонтного виробництва

Основними завданнями ремонтного виробництва є забезпечення реалізації споживчих властивостей машин на ефективному рівні і підтримці властивостей за рахунок експлуатаційного резервування методом заміни складових частин. Заміна складових частин виробу проводиться на стандартні комплекти, які повинні розробити виробники або фірми, що здійснюють технічне обслуговування та ремонт на підставі технічних умов виробника. Комплектувати і технічно готувати машини до повної готовності до використання необхідно на спеціальних ремонтних підприємствах із застосуванням нових або відновлених деталей.

Для забезпечення працездатності машини необхідні додаткові ресурси. Ці ресурси повинні бути по можливості мінімальні, але достатні для того, щоб забезпечити безперервне працездатний стан машини. Під терміном «безперервне працездатний стан» розуміється безвідмовна робота машини при виконанні роботи. Таким чином, споживач при покупці машини набуває не тільки фізичну машину, але і має можливість забезпечити безперервність її роботи протягом всього терміну служби. Так як безперервність роботи машини забезпечується на початку її експлуатації якістю її виготовлення (технологічними та експлуатаційними властивостями, що забезпечуються відповідно до нормативних вимог), а система ремонтних впливів в наступні періоди зобов'язана підтримувати необхідний рівень точності параметрів і експлуатаційних властивостей елементів машини, то виникає ряд задач, рішення яких обумовлюється новими виробничими відносинами між ремонтними підприємствами і підприємствами-виробниками, а також між ремонтними підприємствами і споживачами.

Серед визначених властивостей будь-якого виробу, в тому числі після ремонту, розрізняють властивості, що обумовлюють співвідношення його якості та ціни. Тому успішний розвиток системи ремонту машин органічно пов'язане з вирішенням завдання, що відповідає на питання за яких умов і що потрібно зробити, щоб відремонтовані вироби були б за рівнем якості можна порівняти з якістю нового виробу, а витрати при цьому були б мінімальні. Вирішення цього завдання породжує за собою комплекс технологічних, екологічних, організаційних і економічних проблем, основними з яких є:

- обґрунтування організаційних структур виробництва, ремонту машин і

їх складових частин, найбільш соціально доцільних при реалізації принципу покупки споживачем не тільки машини, але і безперервності її працездатності за весь термін служби;

- баланс вихідного стану ремонтного фонду, споживання запасних частин, рівня і охоплення деталей відновної технологією при відповідності установленим значенням критеріїв якості та мінімізації витрат на ремонтвану продукцію;
- обґрунтування методичних принципів вирішення завдань технологічного проектування ремонтних підприємств, об'єктивно що забезпечують досягнення необхідного рівня якості;
- скорочення витрат на ремонти шляхом виробництва машин та їх складових частин, що мають більш високим рівнем ремонтпридатності;
- вільні ціни на послуги та ремонт в умовах ринкових відносин і мотивація виробників до систематичного поліпшенню якості ремонту машин та їх складових частин на основі економічного регулювання;
- економія ресурсів і забезпечення екологічної чистоти виробничих процесів ремонтного виробництва.

## **5.2. Пошуки нових рішень і методи моделювання процесів відновлення працездатності машин**

Все різноманіття завдань, які належить вирішувати в області ремонту машин, можна розділити на два класи: завдання аналізу і завдання синтезу.

Завдання аналізу полягають у вивченні зміни процесу або поведінки і властивостей системи в результаті взаємодії внутрішніх і зовнішніх факторів і оцінкою їх впливу, якщо задані характеристики зовнішнього середовища і структури системи, а також чисельних значень їх параметрів.

Завдання синтезу, як правило, пов'язані з вибором оптимальної, в тому, чи іншому сенсі, структури або внутрішніх її параметрів при заданих характеристиках зовнішнього середовища і з урахуванням обмежень, що накладаються на систему. При вивченні процесу визначається сукупність параметрів, що характеризують його ефективність. У деяких випадках завдання синтезу ставиться як задача відшукування, наприклад структури системи або внутрішніх її параметрів, що призводять до заданого значення критеріїв ефективності. Можливо, також вважати завданням синтезу встановлення параметра режиму процесу, реалізація якого призводить до заданого значення критерію ефективності.

З визначення випливає, що завдання синтезу будуть виникати на етапі розробки будь-якого процесу або при проектуванні технологічного обладнання, виробничих ділянок, цехів, підприємств та комплексних ремонтних виробництв. У цьому випадку завдання синтезу визначається як завдання відшукування

оптимального управління функціонуванням процесу (системи) і зводиться до розрахунку її внутрішніх параметрів, що забезпечують найбільшу ефективність.

Завдання, пов'язані з дослідженням здійснення реальних процесів експлуатації систем, реалізації технологій відновлення в найширшому сенсі є завданнями аналізу. Найбільш важливий етап дослідження - розробка моделі. Під моделлю розуміється природний або штучний об'єкт, що знаходиться у відповідності з досліджуванним об'єктом або з будь-якої з його сторін. В останньому випадку при вивченні ця сторона виступає відносно самостійним об'єктом, що дозволяє вивчити його при зборі інформації про сам об'єкт, що вивчається - оригіналі. Моделювання означає здійснення будь-яким способом відображення або відтворення дій з метою вивчення що відбуваються в системі внутрішніх процесів і об'єктивних закономірностей. Таким чином, моделювання - метод пізнання, пошуку нових рішень, за допомогою якого вивчається об'єкт-оригінал, знаходиться в деякому відповідно до іншим об'єктом - моделлю. Однак об'єкт-модель може заміщати оригінал тільки в деякому відношенні і на деяких стадіях пізнавального процесу.

Моделі, що використовуються, зокрема, при вирішенні задач в області ремонту, класифікуються на фізичні і математичні. Як фізичних моделей використовуються зразки, деталі, сполучення, вузли і агрегати машин і технологічне обладнання, яке бере участь в експерименті. Математичні моделі, в тому чи іншому вигляді, присутні в будь-якому дослідженні. Моделювання не може абсолютно точно відтворити досліджувані явища. Така модель виявилася б настільки складною і дорогою, що виключило б практичні переваги моделювання.

Моделювання використовується для вивчення реальних об'єктів-оригіналів, а проміжною ланкою в ланцюзі пізнання служить допоміжний об'єкт-модель, який повинен забезпечити:

- об'єктивне відповідність деяким властивостям досліджуваного об'єкта-оригіналу;
- можливість отримання в результаті дослідження моделі певної інформації про досліджуваній об'єкт-оригіналі.

Переваги моделювання на ЕОМ: простота, оперативність, невисока вартість, проведення дослідження реальних систем без трудоємких натурних експериментів.

Досягнення в області обчислювальної техніки зробили можливим здійснення моделювання складних випадкових процесів шляхом багаторазового відтворення і подальшої обробки отриманих результатів для наближеного обчислення характеристик досліджуваного процесу.

Використання методів прикладної математики в дослідженнях, при проектуванні і управлінні зробили доступними для широкого застосування

імітаційного моделювання як способу вибору раціональних технологічних рішень, раціональних конструкторських рішень при проектуванні виробів, раціонального управління складними процесами шляхом відтворення процесів функціонування та (або) експлуатації виробу.

## ЛЕКЦІЯ 6. Теорія відновлення

### 6.1. Теорія відновлення машин. Мета, завдання, апарат і визначення

Теорія відновлення - наукова дисципліна, що вивчає методи відновлення працездатності і підвищення довговічності техніки, яка б враховувала, як «фізичний знос» елементів машини, так і невідповідність сучасному технічному рівню, тобто «Моральний знос». Ця наука базується на економічних, математичних, фізичних і технологічних дослідженнях. Її методи та висновки є основоположними для галузевих технічних наук, які вивчають експлуатацію і ремонт різних видів техніки.

Під теорією відновлення машин розуміється система узагальнених уявлень комплексу закономірностей і методів, використання яких дозволяє ефективніше організувати технологічні процеси технічного обслуговування і ремонту машин відповідно до вимог ринку на основі науково-технічного прогресу. Теорія відновлення машин передбачає системний підхід до всіх явищ і процесів, пов'язаних з відновленням працездатності. Теорія відновлення машин базується на положеннях і висновках фундаментальних і прикладних наук і має галузеву спрямованість, що враховує приналежність і умови експлуатації об'єкта дослідження.

Перелік основних наукових напрямків, на яких базується теорія відновлення машин: теорія старіння, теорія надійності, кваліметрія, теорія економічного аналізу і синтезу, теорія ймовірності і математичної статистики, теорія масового обслуговування, теорія подібності і моделювання.

Розглянемо більш докладно кожен із перелічених вище основних наукових напрямків:

□ теорія старіння - наука про закономірності незворотного з-трансформаційних змін в матеріалах і конструкції через дії руйнівного процесів при споживанні виробів, які призводять до відмов через утворення прибутку;

□ теорія надійності - наука про вибір оптимальних технічних рішень, пов'язаних з необхідністю збереження технічних характеристик виробів і їх елементів протягом необхідні проміжки часу в певних умовах експлуатації;

□ теорія ефективності - наука про вибір оптимальних рішень, пов'язаних з обґрунтуванням і розробкою нових напрямках розвитку техніки, технології, нових інженерних рішень з обґрунтуванням основних технічних характеристик виробу і способів їх використання;

- теорія точності - наука про вибір кількісній оцінці похибок реальних механізмів по відношенню до ідеальних і встановлення оптимальних їх значень;
- теорія міцності - наука про обґрунтування допустимих (оптимальних) розмірів навантажених конструкцій;
- комплекс технологічних наук, які формують теорію технологічного зміни предмета праці з метою перетворення в виріб, що відповідає заданим вимогам;
- кваліметрія - наука про кількісні оцінки якості виробів;
- теорія якості - наука про встановлення відповідності якості виробу нормативним вимогам;
- теорія економічного аналізу і синтезу - наука про оцінку витрат на здійснення технічних і організаційних вимог;
- теорія ймовірності і математичної статистики - наука, присвячена методиці аналізу і синтезу випадкових і випадкових процесів і практичного їх використання;
- теорія масового обслуговування - наука, яка використовується для вирішення завдань обслуговування масових потоків і управління часом очікування;
- теорія моделювання - наука про методи наближених відтворень дійсності.

## **6.2. Найпростіша модель ремонту**

Досягнення фундаментальних наук змінюють технологію і дозволяють підвищити продуктивність праці в десятки і більше разів. Тому фундаментальні науки повинні мати пріоритетний розвиток. Поєднання високого рівня досягнень фундаментальних наук, прикладних галузевих наук з можливістю використання методів кількісної оцінки ефективності обумовлює те, що вибір способів пошуків нових рішень стає найважливішим елементом творчого процесу і служить методичною основою для здійснення процесу ефективного управління на відміну від адміністративно-інформаційного, який переважає в теперішній час.

Моделі, які використовуються при вирішенні завдань в області ремонту класифікуються на фізичні і математичні. В якості математичних використовуються вузли, агрегати машин, технологічне обладнання, яка бере участь в експерименті. Математичні моделі в тій чи іншій формі або в тому чи іншому об'ємі присутні в кожному дослідженні. Моделювання використовується для вивчення реальних об'єктів оригіналів, а проміжною ланкою в ланцюзі пізнання служить об'єкт-модель, який повинен забезпечити об'єктивне відповідність з деякими властивостями об'єкта-оригіналу і

можливість отримання в результаті дослідження інформації по об'єкту оригіналу.

### **6.3. Процеси відновлення**

У ремонтній практиці застосовуються такі основні способи відновлення зношених деталей: механічна і слюсарна обробка, зварювання, наплавлення, металізація, хромування, нікелювання, осталивание, склеювання, зміцнення поверхні деталей і відновлення їх форми під тиском. Як правило, після відновлення деталі одним із способів її піддають механічній або слюсарній обробці, що необхідно для відновлення посадок сполучених деталей, усунення овальності або конусності їх поверхонь, забезпечення необхідної чистоти обробки.

#### **6.3.1. Відновлення механічною обробкою**

Механічного та слюсарного обробкою відновлюють деталі з плоскими сполучаються поверхнями (напрямні станин, планки, клини). При зносі напрямних до 0,2 мм їх відновлюють шабрением, при зносі до 0,5 мм - шліфуванням, а при зносі більше 0,5 мм - струганням з подальшим шліфуванням або шабрением.

При ремонті валів, осей, гвинтів і т.п. в першу чергу перевіряють і відновлюють їх базицентровие отвори. Після цього поверхні, що мають незначний знос (подряпини, ризики, овальність до 0,02 мм), шліфують, а при більш значних износах нарощують, обточують і шліфують до ремонтного розміру.

При ремонті зношених деталей нерідко виникають труднощі при виборі способу базування деталі для обробки в зв'язку зі зміною основної настановної бази зношеної деталі. У таких випадках орієнтуються не на основні установчі, а на допоміжні бази, і від них ведуть обробку робочих поверхонь. Поряд з відновленням деталей механічною обробкою при ремонті непридатну частину деталі іноді замінюють новою.

Застосування додаткових ремонтних деталей (ДРД).

Щоб відновити початкові посадки сполучених деталей, при їх значному зносі застосовують ДРД. Одну з деталей, що обробляють до найближчого ремонтного розміру, і в другу вставляють проміжну ДРД. ДРД можуть бути змінними і рухливими. Змінні ДРД встановлюють в сполученні, в якому знос з'явився до моменту ремонту. Рухливі ДРД встановлюють тоді, коли можна, не роблячи ремонту, відповідним переміщенням ДРД щодо основних деталей усунути зазор, що утворюється внаслідок зносу деталей. ДРД для циліндричних деталей служать втулки і кільця, а для плоских-планки. Для найбільш



поширених вузлів машинсменние ДРД доцільно заготовляти заздалегідь відповідно до шкали ремонтних розмірів.

Ремонт пошкоджень і закладення тріщин. Дефекти, що виникає-щие в деталях в результаті дії внутрішніх напружень, великих зусиль або через механічних пошкоджень (тріщини, пробоїни, значні задираки, подряпини і викришування), усувають слюсарно-механічної обробкою. Тріщини і пробоїни запаюють, заварюють, заливають, металізують, ставлять штифти і латки. Латки застосовують для закладення пробоїн і великих тріщин, поєднуючи латку з основною деталлю гвинтами або заклепками. Для чавунних і дюралюмінієвих деталей використовують гвинти, а для сталевих - ще й заклепки.

### **6.3.2. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням**

При ремонті устаткування зварювання застосовують: для отримання нероз'ємних з'єднань при відновленні зруйнованих і пошкоджених деталей, для відновлення розмірів зношених деталей і підвищення їх зносостійкості шляхом наплавлення більш стійких металів.

Автоматизовані процеси зварювання і наплавлення є більш досконаліми і економічно ефективними в порівнянні з ручними способами. Найбільшого поширення в ремонтній практиці отримала автоматична і напівавтоматична дугова зварка і наплавлення під шаром флюсу. Ручні способи зварювання і наплавлення менш досконалі, але є незамінними при ремонті деталей машин в неспеціалізованих ремонтних підприємствах завдяки маневреності, універсальності і простоті процесу.

Газове зварювання застосовують для відновлення деталей з сірого чавуну. Деталі малого розміру і ваги зварюють без попереднього підігріву, а великі деталі попередньо нагрівають.

Електродугове зварювання економічніша і створює більш надійне зварене з'єднання в порівнянні з газовим зварюванням. Правильна підготовка деталі до зварювання забезпечує високу якість наплавленого шару і міцне зчеплення його з основним металом. Перед зварюванням деталі очищають і обробляють їх кромки. Поверхня деталей очищають сталевією щіткою, напилком, наждаковим полотном, абразивним кругом, піскоструминним апаратом, потім промивають бензином або гасом, а також піддають лужному травленню. Краї листів, що зварюються встик, обробляють (скошують) під кутом (60-70 °), а краю зламів і пробоїн вирівнюють.

Наплавлення є одним з основних методів відновлення деталей. Вона широко застосовується в тих випадках, коли труться необхідно надати велику зносостійкість. Наплавляють два, три і більше шарів часто твердими сплавами, що дозволяють збільшити термін служби деталей в кілька разів. Якість

наплавлення в значній мірі залежить від стану відновлюваної поверхні. Чавунні і сталеві деталі з маловуглецевої сталі перед наплавленням обезжиривають з метою видалення масла з пор і тріщин. Для цього поверхню деталі обпалюють газовим пальником, паяльною лампою або в нагрівальних печах. Копоть, наліт окислів після випалу, видаляють з поверхні деталі наждаковим полотном або ганчір'ям, змоченим гасом або бензином. Ділянка деталі під наплавку обробляють сталевими щітками або абразивними колами.

### **6.3.3. Відновлення деталей металізацією**

Металізацією називається нанесення розплавленого металу на поверхню деталі. Розплавлений метал в спеціальному приладі - металізатора струменем повітря або газу розпорошується на дрібні частки і переноситься на попередньо підготовлену поверхню деталі. Нанесений шар не є монолітним, а являє собою пористу масу, що складається з найдрібніших окислених частинок.

Способом металізації відновлюють розміри посадочних місць для підшипників кочення, зубчастих коліс, муфт, шийок колінчастих валів і т.п. Щоб металізаційні шар міцно з'єднався з поверхнею деталі, поверхню очищають від бруду і масла і піддають піскоструминній обробці.

Твердість металізаційні покриття визначається якістю матеріалу, що наноситься.

### **6.3.4. Відновлення деталей з використанням гальванічних покриттів**

Для підвищення поверхневої твердості деталей і збільшення їх опору механічного зносу, а також для відновлення розмірів деталей їх покривають шаром хрому (хромують) товщиною 0,25 і 0,3 мм.

Тверді хромові покриття підрозділяються на два види: гладке і пористе. При гладкому хромуванні мастило на поверхні деталі не утримується через погану «смачиваємості». При роботі деталей виникає сухе тертя, на поверхнях, що труться з'являються задираки. Для усунення цього недоліку застосовують пористе хромування. У порах і каналах, що утворюються на зовнішній поверхні деталі, затримується мастило, що знижує знос і подовжує термін служби деталей. Тверде гладке хромування застосовують для відновлення розмірів деталей, що працюють з нерухомими посадками, а пористе - для деталей, що працюють при значних питомих тисках, підвищених температурах і з великими швидкостями ковзання. Пори і канали в хромових покриттях найчастіше утворюються електрохімічним способом, за допомогою анодного травлення.

Відновлення деталей шляхом гальванічного нарощування шару сталі (остаивание, або железнение) - один з ефективних методів сучасної технології

ремонту. Осталивание на відміну від хромування дозволяє наносити шар металу значно більшої товщини (2-3 мм і більше). Цим способом доцільно відновлювати деталі з нерухомими посадками або деталі з невисокою поверхневою твердістю; деталі, що працюють на тертя при величині зносу більше 0,5 мм; деталі, що працюють одночасно на удари і стирання.

Тверде нікелювання. Підвищена твердість нікелевих покриттів досягається за рахунок застосування електролітів спеціального складу, що забезпечують отримання опадів нікелю з фосфором. Нікелеві покриття з вмістом фосфору зазвичай називають нікель фосфорними покриттями, а процес їх отримання - твердим никелированием. Тверде нікелювання може здійснюватися електричним і хімічним способами. Хімічне нікелювання є більш простим і здійснюється шляхом виділення нікелю з розчинів його солей за допомогою хімічних препаратів - відновників.

### **6.3.5. Відновлення зношених деталей тиском**

Пошкоджені і зношені деталі можна відновлювати тиском. Цей спосіб заснований на використанні пластичності металів, тобто їх здатності під дією зовнішніх сил змінювати свою геометричну форму, не руйнуючись. Деталі відновлюють до номінальних розмірів за допомогою спеціальних пристосувань, шляхом переміщення частини металу з неробочих ділянок деталі до її зношеним поверхонь. При відновленні деталей тиском змінюється не тільки їх зовнішня форма, але також структура і механічні властивості металу. Застосовуючи обробку тиском, можна відновлювати деталі, матеріал яких володіє пластичністю в холодному або нагрітому стані. Зміна форми деталі і деяких її розмірів в результаті перерозподілу металу не повинно погіршувати їх працездатність і знижувати термін служби. Механічна міцність відновленої деталі повинна бути не нижче, ніж у нової деталі.

До основних видів відновлення різних деталей тиском відносяться:

- осаду при відновленні втулок, пальців, зубчастих коліс;
- роздача при відновленні пальців поршнів, роликів автоматів тощо;
- обтиснення при відновленні вкладишів підшипників і втулок;
- вдавнення при відновленні зубчастих коліс і шліцьових валиків;
- правка для виправлення гладких і колінчастих валів і важелів;
- накатка для збільшення діаметра шийок і цапф валів за рахунок підняття гребінців металу при утворенні канавок.

Метод пластичного деформування при ремонті деталей застосовується не тільки для відновлення розмірів зношених деталей, але і з метою підвищення їх міцності і довговічності. Поверхнєве зміцнення деталей підвищує зносостійкість і міцність деталей. Пластичне деформування деталей виробляють також

обробкою сталевий або чавунної дробом, карбуванням, обкаткою роликами або кульками.

### **6.3.6. Відновлення і склеювання деталей з використанням пластмас**

Для відновлення зношених деталей при ремонті метало- ріжучих верстатів застосовують пластмаси. В якості клею пластмаси широко використовуються для склеювання поламаних деталей, а також для отримання нерухомого з'єднання деталей, виготовлених з металевих і неметалевих матеріалів. При ремонті метало- ріжучих верстатів найбільшого поширення набули такі пластмаси, як текстоліт, деревнослоїсте пластики і швидко твердіючих пластмаса - стіракріл. Текстоліт і деревнослоїсте пластики застосовуються для відновлення зношених поверхонь напрямних верстатів, виготовлення зубчастих коліс, підшипників ковзання, втулок та інших деталей з труться робочими поверхнями.

Одним з ефективних способів отримання нерухомих з'єднань є склеювання деталей. У порівнянні з клепкою, зварюванням і сбалчіваним клейові з'єднання мають такі переваги, як з'єднання матеріалів в будь-якому поєднанні, зменшення ваги виробів, герметичність клейових швів, антикорозійну стійкість і в багатьох випадках зниження вартості ремонту виробу. У практиці ремонту металорізальних верстатів широко використовується карбінольний клей і клей типу БФ. Деталі, склеєні карбінольної клеєм з наповнювачем з непористої матеріалу, стійкі проти дії води, кислот, лугів, спирту, ацетону та подібних розчинників. Різні марки клею БФ відрізняються вмістом компонентів і призначенням.

Процес відновлення деталей склеюванням складається з трьох етапів: підготовки поверхні, склеювання і обробки швів. Поверхні деталей, що підлягають склеюванню, очищаються від масла, забруднень і добре приганяють. Клей наносять пензлем або скляною паличкою. Рідкий клей наносять на обидві сполучаються поверхні.

## **ЛЕКЦІЯ 7. Теорія старіння**

### **7.1. Імітаційна модель старіння і відновлення системи**

Під системою будемо розуміти машину в цілому, а також її комплектуючі або складові частини.

Поставимо задачу побудувати стохастичну (імовірнісну) модель одночасно протікають процесів старіння і відновлення системи.

Модель описує зміна ведучого параметра (параметрів) процесу з определённой ступенем достовірності.

Імітаційна модель старіння і відновлення повинна забезпечити можливість отримання прогнозу зміни стану машини, що представляє цілий клас масових

складних машин тривалого використання, за весь термін їх експлуатації. В процесі моделювання машини необхідно отримати характеристику її працездатності. Стан машини (системи), як результат одночасно протікають її старіння і відновлення, будемо описувати (моделювати) узагальненим параметром - випадковою функцією часу  $\Pi(t)$ , яку будемо називати потенціалом працездатності системи.

Функція  $\Pi(t)$  визначається на часовому проміжку  $[0, T]$ ,  $T \leq \infty$ . При цьому під часом  $t$  будемо розуміти не календарне час, а напрацювання, виражену в одиницях. При такому підході ремонтним впливів відповідають моменти зупинки машини (на ремонт), а не проміжки часу, так як простий, незалежно від його причини, не супроводжується зростанням напрацювання.

## 7.2. Основне рівняння старіння

Старіння машини - об'єктивно існуючий процес. Машина являє собою виріб, виготовлений людиною за його задумом з природних матеріалів, і її експлуатація протікає в умовах навколишнього природного середовища, негативні впливи якої посилюються людиною. Чи не старіюча машина принципово не може бути створена.

Будуємо модель старіння машини.

Нехай  $y$  - узагальнений параметр (НЕ потенціал працездатності), зміна якого характеризує загальний процес старіння системи в результаті сукупного впливу всіх факторів, що породжують цей процес:

$$y = F(I, K, Y, Z),$$

де  $I$  - зношування елементів системи;  $K$  - корозія;  $Y$  - втома;  $Z$  - структурні зміни матеріалів деталей.

Кожен з цих факторів підпорядковується певним фізичним закономірностям, однак поєднання їх випадкові і, отже,  $y$  є випадковою функцією часу. Так як ми вивчаємо поведінка не конкретної, а деякою середньою системи, обраної з великого числа однотипних систем, є достатньо підстав допустити припущення про детермінованість функції  $y = y(t)$ , що описує стан системи в процесі старіння. Ще більше підставу для цього дає прийняте нами рішення моделювати стан системи функцією напрацювання, що виключає вплив простой.

Похідна  $dy/dt$  - швидкість процесу старіння. Розглянемо диференціальне рівняння:

$$dy/dt = f[t, y; x_1(t), \dots, x_m(t)], 0 \leq t < T, \quad (1)$$

де  $t$  - час (напрацювання),  $x_i(t)$  - детерміновані функції, що описують вплив приватних чинників на загальний процес старіння.

Будемо вважати, в першому наближенні, що права частина рівняння (1)

лінійна по  $y$ , а сукупний вплив усіх процесів, що породжують старіння системи, описується однією функцією  $\varphi(t)$ , яку назовемо функцією загасання. Тоді рівняння (1) набуде вигляду:

$$dy/dt + \varphi(t)y = 0, 0 \leq t < T. \quad (2)$$

Щодо функції загасання будемо припускати, що вона неперервна в інтервалі  $[0, T]$  і задовольняє умовам:

$$\varphi(t) > 0, 0 \leq t < T, \int_0^T \varphi(t)dt = \infty. \quad (3)$$

Диференціальне рівняння (2) при умовах (3) назовемо основним рівнянням старіння.

Необхідно звернути увагу на те, що завдання опису процесу старіння поставлена в досить загальній формі, тобто деяка величина  $\Pi > 0$  характеризує стан системи, а система старіє, то природно вважати, що в процесі старіння  $\Pi$  монотонно убиває і до кінця абсолютного часу життя система прагне до 0. Саме такими властивостями володіють всі позитивні рішення рівняння (2), незалежно від вибору задовольняє умовам (3) функції  $\varphi(t)$ .

Індивідуальні властивості функції загасання  $\varphi(t)$  визначають особливості розвитку процесів старіння конкретних типів систем.

### 7.3. Формування потенціалу працездатності системи

На підставі виразу (3) запишемо рівняння формує функції потенціалу працездатності системи:

$$F(t) = y(t; 1) = \exp \left\{ - \int_0^t \varphi(u) du \right\}. \quad (4)$$

Якщо розглянута система не піддається ремонтним впливів, тобто процес старіння системи не супроводжується процесом її відновлення, то потенціал працездатності системи можна представити у вигляді:

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t), 0 \leq t < T. \quad (5)$$

де  $\Pi_0$  - потенціал працездатності нової системи.

Не треба забувати, що роль часу у нас грає напрацювання, тому ремонтним впливів відповідають фіксовані моменти часу.

Стан системи, яка піддається ремонтним впливів, моделюється випадковою функцією  $\Pi(t)$ , названої потенціалом працездатності системи. На кожному інтервалі часу  $(tk; tk + 1)$  - в проміжку між двома ремонтними впливами, відповідна реалізація функції  $\Pi(t)$ , збігається з однією з функцій  $y(t; c)$  однопараметричного сімейства. Результат ремонтного впливу в момент  $t$  описується, як стрибок потенціалу:

$$\Pi_k = \Pi(tk) - \Pi(tk - 0), \quad (6),$$

тягне за собою перехід  $\Pi(t)$  з однієї з ліній старіння на іншу з великим

значенням параметра  $c$ . Відповідно до (6) кожна реалізація  $\Pi(t)$  неперервна справа на інтервалі  $[0; T]$ , а  $\Pi(tk - 0)$  є межею функції  $\Pi(t)$  зліва.

На рис. 11 показан графік реалізації функції  $\Pi(t)$ , де  $tk; tk + 1$  - моменти послідовних ремонтних впливів, пунктирні лінії - це лінії старіння, тобто графіки функцій рішень основного рівняння старіння.

Відповідна послідовність стрибків потенціалу працездатності системи в результаті ремонтних впливів - це послідовність незалежних однаково розподілених випадкових величин, що приймають позитивні значення.

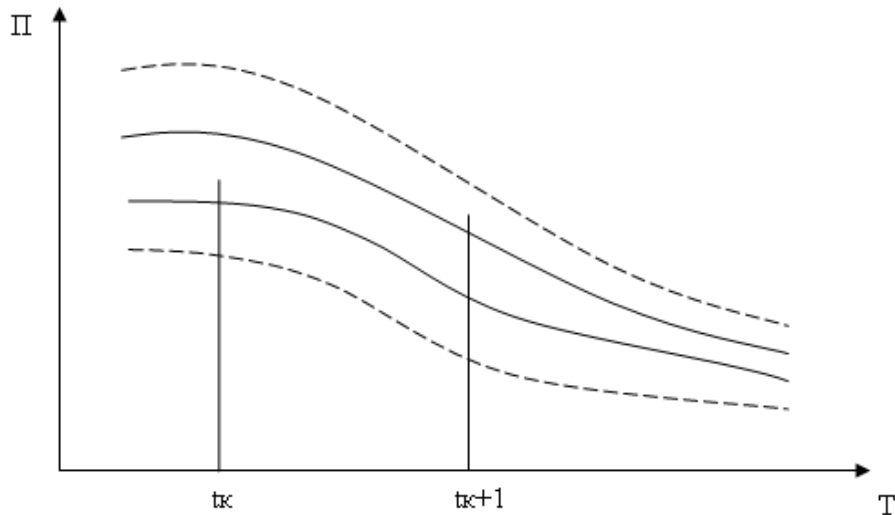


Рис. 11. Графік реалізації функції  $\Pi(t)$

У відповідності зі сказаним, потенціалом працездатності системи з формує функцією (4) назвемо випадкову функцію  $\Pi(t)$ , для реалізації якої мають місце уявлення:

$$\Pi(t) = \Pi_0 F(t) + \eta(t) = \Pi_0 F(t) + \sum_{k=1}^{Nt} \Pi_k F(t; tk) \quad 0 \leq t < T, \quad (7)$$

де

$$F(t; tk) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < tk \\ F(t)/F(tk), & tk \leq t < T \end{cases}$$

– функція одиничного стрибка в момент  $tk$ ;  $tk$  - точка послідовності моментів ремонтних впливів;  $Nt$  - число ремонтних впливів на часовому проміжку  $(0, t)$ .

Відповідно до (7) кожна реалізація потенціалу працездатності системи має такі властивості:

1)  $\Pi(0) = \Pi_0$  - в початковий момент потенціал працездатності дорівнює потенціалу працездатності нової системи;

2) перший доданок в (7) описує детермінований процес «чистого старіння», другий доданок відображає стохастичний процес відновлення працездатності системи;

3) для кожної реалізації потенціал працездатності системи не залежить від передісторії, тобто від значень потенціалу працездатності системи попередніх часових проміжків;

4) для кожної реалізації на ділянці між двома послідовними ремонтними впливами функція  $\Pi(t)$  збігається з однією з функцій (ліній старіння на графіку). Таким чином, будь-яка реалізація функції  $\Pi(t)$ , яка визначається формулою (7), являє собою кусково-монотонно спадну безперервну справа функцію;

5) функція має властивість адитивності (складання) результатів ремонтних впливів.

#### 7.4. Рівняння старіння і відновлення системи

$$\bar{\Pi}(t) = M(\Pi(t)) = \Pi_0 F(t) + \lambda \Pi_k \int_0^t F(t)/F(u) du. \quad (8)$$

0

Отримане детерміноване співвідношення (8) розглядається в якості імітаційної моделі одночасно протікають процесів старіння і відновлення системи. У цьому рівнянні функція  $F(t)$  відображає характер старіння модельованої системи, величина  $\lambda \Pi_k$  - інтенсивність ремонтних впливів на систему (твір інтенсивності потоку ремонтних впливів на середню величину стрибка потенціалу працездатності системи в результаті одного ремонтного впливу).

#### 7.5. Класифікація систем по характеру старіння

Імітаційна модель (8) старіння і відновлення системи дозволяє отримати повну класифікацію систем по асимптотическим властивостям їх потенціалу працездатності.

З (8) і накладених раніше обмежень слід, що граничне значення математичного очікування працездатності системи визначається рівністю:

$$\Pi_{\text{пред}} = \lim_{t \rightarrow T} \bar{\Pi}(t) = \lambda \Pi_k \lim_{t \rightarrow T} \int_0^t F(t)/F(u) du. \quad (9)$$

Позначимо:

$$A = \lim_{t \rightarrow T} \int_0^t F(t)/F(u) du. \quad (10)$$

З урахуванням введених раніше обмежень і використовуючи правило розкриття невизначеностей, отримаємо:

$$A = \lim_{t \rightarrow T} 1/\varphi(t).$$



Звідки згідно (9):

$$\Pi_{\text{пред}} = \lambda \Pi k_{\text{lim1}} / \varphi(t), \quad (11)$$
$$t \rightarrow T$$

З (11) випливає, що асимптотичні властивості математичного очікування потенціалу працездатності системи цілком визначаються характером її старіння, тобто асимптотическими властивостями функції загасання. При цьому функція загасання має межу (кінцевий або нескінченний).

Класифікація систем по характеру їх старіння є природним, оскільки специфіка старіння відображає внутрішні властивості системи, а відновлення - результат зовнішнього впливу на систему.

Відповідно до (11) можна побудувати таку класифікацію систем:

- 1) швидко старіюча система, якщо  $A = 0$ ;
- 2) система з керованим потенціалом працездатності, якщо  $0 < A < \infty$ ;
- 3) система з необмеженим потенціалом працездатності, якщо  $A = \infty$ .

Будь-яка система, що моделюється випадковою функцією (7), є старіючою. Дійсно, якщо в процесі експлуатації, починаючи з моменту  $t > 0$ , на систему не надаються ремонтні впливи, то для кожної реалізації випадкової функції  $\Pi(t)$  існує число  $ct > 0$ , при якому  $\Pi(t)$  прагне до 0 при  $t \rightarrow T$ .

Таким чином, специфіка характеру старіння системи проявляється в тому, як вона реагує на процес відновлення її працездатності. Необхідно відзначити, що відмінності, пов'язані з поведінкою математичного очікування потенціалу працездатності системи при  $t \rightarrow T$ , мають важливе значення, так як термін служби системи багато менше  $T$  і при цьому потенціал працездатності в процесі експлуатації не може бути доведений до 0.

## 7.6. Моделювання доремонтного циклу

При використанні моделі старіння і відновлення системи (8) необхідно поставити питання: що таке ремонт і навіщо він потрібен? Якщо на систему не надається ремонтних впливів то:

$$\Pi(t) = \Pi(t) = \Pi_0 F(t), \quad 0 \leq t < T. \quad (12)$$

Нехай  $\Pi_{\text{крит}}$  – гранично допустимий рівень математичного очікування потенціалу працездатності системи і  $t_{\text{полн}}$  - запланована конструктором повна напрацювання системи. Тоді, незважаючи на те, що функція  $F(t)$  монотонно убуває, не виключена ситуація, коли

$$\Pi(t_{\text{полн}}) = \Pi(t_{\text{полн}}) \geq \Pi_{\text{крит}}. \quad (13)$$

Фізичний сенс (13) полягає у відсутності потреби в ремонті, тобто (13) говорить система, відпрацювавши запланований ресурс і не встигнувши «постаріти» через відповідного уповільненої характеру старіння, не потребує відновленні.

Якщо мова йде про автомобілі, то це повинен бути надзвичайно дорогий автомобіль.

До 1937 року в США існувала фірма «Дюсенберг», що випускала в дуже обмеженій кількості автомобілі за індивідуальними замовленнями. Ці найдорожчі в світі автомобілі наближалися за своїми якостями до «безремонтний» автомобілів (тобто не вимагає ремонту в установлений період експлуатації), але фірма прогоріла, так як величезні витрати на забезпечення безремонтної працездатності автомобіля протягом тривалого періоду себе не виправдали.

Предметом нашого вивчення є масова машина, яка не може реалізувати заплановану конструктором повну напрацювання без ремонтних впливів, тому для такої машини при відсутності ремонтних впливів завжди:

$$\Pi(t_{\text{полн}}) = \Pi(t_{\text{полн}}) < \Pi_{\text{крит.}}$$

Працездатність автомобілів при експлуатації бажано відновлювати переважно поточними (заявочний) ремонтами. У тих випадках, коли за період призначеного ресурсу не представляється можливим економічно доцільними поточними ремонтами запобігти зниженню працездатності автомобіля до рівня граничного стану, виробляють капітальний ремонт. Він здійснюється для повного або близького до повного відновлення ресурсу автомобіля із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові.

При необхідності відновлення працездатності системи в випадковий, незапланований момент часу проводиться заявочний ремонт. Чи достатньо такого типу відновлення для підтримки потенціалу працездатності системи на належному рівні протягом повного часу її експлуатації, або для цього потрібні періодичні номенклатурні ремонтні впливи - капітальні ремонти, що відновлюють потенціал працездатності системи до певного рівня, що забезпечує її подальшу експлуатацію в режимі заявочного ремонту?

Залежно від вибору моделі розмірність потенціалу працездатності системи, може бути якою завгодно. Найбільш природно і практично можна вважати потенціал працездатності системи безрозмірною величиною, тоді значення  $\Pi_0$  визначатиме масштаб. Якщо  $\Pi_0$  дорівнює 100 або 1000, то величина  $\Pi(t)$  дає значення потенціалу працездатності системи в момент  $t$  відповідно в% або промиллях (безрозмірна величина рівна 1/1000%) до початкового потенціалу працездатності системи. При такій побудові моделі величина  $\Pi_{\text{крит}}$  втрачає своє абсолютне значення, і визначальною буде величина:

$$\lambda = \Pi_{\text{крит}}/\Pi_0, \quad (14)$$

яку будемо називати коефіцієнтом використання потенціалу працездатності системи. Цю величину природно вважати постійною для будь-якого циклу між капітальними ремонтами системи.

Відповідно до (14) введемо коефіцієнт:

$$v = \Pi_{кр}/\Pi_0,$$

який представляє собою середнє відношенє значення стрибків потенціалу працездатності системи в результаті ремонтних впливів в режимі поточного ремонту.

Чим ефективніше ремонтні впливу на систему в режимі поточного ремонту, тим більше напрацювання  $t_{кр}$  до першого капітального ремонту. Таким чином, при достатній інтенсивності ремонтних впливів у процесі експлуатації системи повна її напрацювання, запланована конструктором, може бути забезпечена в режимі поточного ремонту

### 7.7. Моделювання міжремонтних циклів

Момент (напрацювання)  $t_{кр}$  - момент здійснення першого капітального ремонту, є рубіжним моментом між двома незалежними циклами (доремонтного і міжремонтним), на яких, на відміну від капітального ремонту, процес відновлення системи описується як випадковий процес. При  $t > t_{кр}$  починається нова

«Життя» системи.

Капітальний ремонт - номенклатурне ремонтне вплив, при якому потенціал працездатності системи повинен бути доведений до заданого рівня. Тому для кожної реалізації випадкової функції  $\Pi(t)$  після здійснення капітального ремонту отримаємо:

$$\Pi(t_{кр}) = \Pi(t_{кр} - 0) + \Delta\Pi_{кр} = \Pi_0, \quad (15)$$

де  $\Delta\Pi_{кр}$  - стрибок потенціалу працездатності системи в результаті капітального ремонту.

Величину  $\Pi_0$  будемо називати початковим потенціалом працездатності системи після капітального ремонту, співвідношення між цією величиною і  $\Pi_0$  визначається технічним характером системи і технологічними вимогами до її капітального ремонту:

$$\Pi_0 = \mu\Pi_0,$$

де значення коефіцієнта  $\mu$  приймають зазвичай 0,8 до 1.

Для математичного очікування стрибка потенціалу працездатності системи з виразу (15) отримаємо:

$$\Delta\Pi_{кр} = M[\Delta\Pi_{кр}] = \Pi_0 - \Pi_{крит}.$$

Звідки середній стрибок потенціалу працездатності системи в результаті капітального ремонту визначається:

$$v_{кр} = \Delta\Pi_{кр}/\Pi_0 = \mu - v. \quad (16)$$

Величина  $v_{кр}$  дає нам інформацію про усереднений обсязі капітального ремонту, назвемо її наведеним об'ємом капітального ремонту.

Так як після проведення капітального ремонту система починає нову «життя», нам зручніше за все після моменту  $t_{кр}$  почати новий відлік часу (перенести початкову точку на осі  $t$  в точку  $t_{кр}$ ). Так само зауважимо, що оскільки ми вивчаємо стан середнього автомобіля (системи), то проблеми відмінності між знеособленим і індивідуальним капітальним ремонтом для нас не існує.

Випадковий характер процесу відновлення системи визначає порядок формування режиму поточного (заявочного) ремонту на міжремонтний циклі аналогічно тому, як це зроблено для доремонтного циклу.

## **ЛЕКЦІЯ 8. Системи, види і методи ремонту. Ремонтопридатність. Ремонтне резервування**

### **8.1. Системи, види і методи ремонту**

Ремонт машин складається з комплексу робіт по усуненню несправностей шляхом відновлення або заміни деталей вузлів і агрегатів. Відповідно до призначення і характером виконуваних робіт встановлені дві основні групи ремонтів: а) експлуатаційні (гаражні) і б) капітальні. Експлуатаційні ремонти поділяються на поточний ремонт машини і поточний ремонт двигуна. Капітальний ремонт підрозділяється на капітальний ремонт машини і капітальний ремонт агрегату.

Поточний ремонт машини включає разборочно-складальні, зварювальні, кузовні, електротехнічні, слюсарно-механічні та інші роботи, необхідні для усунення окремих несправностей, зі зняттям або без зняття агрегату з машини. Потреба в поточному ремонті виявляється при контрольно-оглядових роботах технічного обслуговування і в процесі експлуатації машини.

Капітальний ремонт машини призначений для відновлення технічного стану, що забезпечує працездатність машини на весь період встановленого міжремонтного пробігу. При капітальному ремонті проводиться повне розбирання машини на агрегати, вузли і деталі, контрольна перевірка і сортування деталей на придатні, що вимагають ремонту і негідні. Рама машини відновлюється (при необхідності), комплектуються всі вузли і агрегати, виробляються складання, випробування і регулювання. Випробувані агрегати збираються на рамі, після чого автомобіль піддається випробуванню пробігом. Всі несправності, виявлені при випробуванні машини, усуваються, і автомобіль забарвлюють.

Капітальний ремонт машини може проводитися індивідуальним або агрегатним методом. При індивідуальному методі ремонту агрегати, зняті з машини, після їх капітального ремонту встановлюються на той же автомобіль. Цей метод ремонту в даний час застосовується лише у виняткових випадках і

при ремонті окремих моделей іномарок.

При агрегатному методі ремонт машини зводиться до заміни окремих несправних складальних одиниць новими, або заздалегідь відремонтованими, що дозволяє значно скоротити час перебування машини в ремонті. При агрегатному методі ремонту зняті з машини агрегати і механізми обезличиваються і після ремонту можуть бути встановлені на будь-який ремонтується автомобіль.

В автомобільних господарствах заміна агрегатів проводиться при поточному ремонті машини, а капітальний ремонт агрегатів і капітальний ремонт машин виробляються на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Для кожної марки машин встановлюється певна норма пробігу (наробітку) до капітального ремонту. Після проходження встановленої норми пробігу (наробітку) комісією з адміністративно-технічного персоналу за участю оператора (водія) проводиться обов'язковий контрольний огляд машини, при якому проводиться оцінка технічного стану з метою визначення можливості подальшого використання.

Автомобіль може бути направлений в капітальний ремонт, якщо більшість його основних агрегатів, в тому числі двигун, а для легкових автомобілів - кузов, потребують капітального ремонту одночасно, а загальний технічний стан машини погіршується в зв'язку з великим зносом деталей і зменшенням надійності всіх його агрегатів.

Якщо автомобіль за своїм технічним станом не потребує ремонту, комісією встановлюється додатковий пробіг (наробіток) до ремонту, і він допускається до подальшої експлуатації. Таким чином, капітальний ремонт машин здійснюється тільки за потребою.

## **8.2. Ремонтпридатність**

В даний час ремонтпридатність вважається одним з основних експлуатаційних властивостей машини. Технічний прогрес висуває нові вимоги до машин і систем:

- підвищена інтенсивність роботи, посилення навантажувального і швидкісного режимів роботи, прискорення протікання процесів;
- збільшення різноманітності умов експлуатації, розширення температурного діапазону роботи машин;
- підвищення продуктивності, розширення функціональних можливостей машин;
- підвищення вимог до точності роботи машин.

Більшість сучасних машин, як і інші види технічних пристроїв з тривалими термінами служби, є відновлюваними, тобто що виникли при

експлуатації дефекти можуть бути усунуті методами ремонту. Забезпечення ремонтпридатності полягає в тому, щоб встановити вимоги до цієї властивості машин і забезпечити їх виконання в процесі проектування і виробництва.

Ремонтпридатність як одне з найважливіших властивостей конструкції машини. властивості ремонтпридатності:

- пристосованість до ремонту;
- пристосованість до разборочноборочним процесам;
- пристосованість до відновних технологій.

Характеристики ремонтпридатності, що є функцією конструктивних і експлуатаційних факторів, являють собою змінні величини, які можуть змінюватися в певних межах. Отже, властивістю ремонтпридатності можна управляти.

Поняття і термінологія в області ремонтпридатності машин.

Ремонтпридатність - властивість виробу, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення та усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічних обслуговувань і ремонтів.

Під ремонтної технологічності розуміється здатність машини і окремих елементів під впливом різних технологічних процесів відновлювати свої експлуатаційні властивості.

Експлуатаційна технологічність - властивість конструкції машини, яке характеризується їх пристосованістю до робіт, виконуваних при підготовці машин до використання, в процесі безпосереднього застосування і після закінчення використання.

Основні напрямки та найбільш суттєві питання забезпечення ремонтпридатності:

- встановлення єдиної термінології в експлуатації і при технічних обслуговуваннях і ремонтах;
- розробка нормативних вимог до ремонтпридатності;
- встановлення складу показників ремонтпридатності, зазначених вище в технічному завданні на проектування;
- розробка методів завдання і прогнозування показників ремонтпридатності;
- розробка рекомендацій і керівних матеріалів для забезпечення вимог ремонтпридатності при створенні і використанні машин;
- розробка методів і керівних матеріалів по якійсній і кількісній оцінці ремонтпридатності на етапі проектування;
- розробка методів і керівних матеріалів з планування випробувань машин з метою виявлення і визначення факторів, що впливають на характеристики ремонтпридатності;
- розробка системи збору та методів статистичного аналізу даних,

необхідних для вирішення різних питань ремонтпридатності;

- розробка класифікації машин як об'єктів експлуатації, обслуговування і ремонту;
- розробка методів і керівних матеріалів для встановлення змісту системи технічного обслуговування і ремонту машин відповідно до їх призначення;
- розробка методик та керівних матеріалів по раціональній організації обслуговування і ремонту з урахуванням особливостей конструкції машин, їх призначення та умов експлуатації;
- розробка методів встановлення складу машин і технологічного оснащення підрозділів технічного обслуговування і ремонту;
- розробка прогресивних технологічних методів відновлення конструктивних елементів, які втратили працездатність;
- розробка методів і нормативних керівних матеріалів по встановленню номенклатури, кількості запасних частин і матеріалів для різних видів машин і умов експлуатації;
- розробка системи зберігання та обліку запасних частин і матеріалів, доставки споживачеві і їх поповнення;
- розробка раціональних методів визначення технічного стану машин і виявлення несправних елементів;
- впровадження в практику стандартів в області ремонтпридатності, технічного обслуговування і ремонту;
- обґрунтування системи підготовки спеціалістів із забезпечення ремонтпридатності.

### **8.3. Резервування**

Резервування - метод забезпечення надійності системи шляхом дублювання відповідальних підсистем з метою збереження працездатності об'єкта при відмові одного або декількох його елементів або порушення зв'язків між ними. Найбільш часто резервування використовують в тих випадках, коли інші методи (зниження інтенсивності відмов елементів, поліпшення ремонтпридатності) виявляються недостатніми або ними можна скористатися в повній мірі через обмеження, що виникають при проектуванні і експлуатації систем.

Основою резервування є введення надмірності: додаткових елементів, часу, інформації, запасів продукції, запасів продуктивності, алгоритмічної гнучкості та ін. В зв'язку з цим за джерелом і фізичну природу можна розрізнити наступні види надмірності: структурну, тимчасову, функціональну,

інформаційну, навантажувальну, алгоритмічну, програмну, режимну. Введення надмірності ще не створює резерву і не обов'язково призводить до підвищення надійності. Щоб введення надмірності призводило до резервування, слід дотримуватися ряду додаткових умов і технічних заходів:

- проведення контролю працездатності та технічного стану апаратури і обладнання;
- динамічного перерозподілу функціонального навантаження елементів при зміні структури системи, забезпечення можливості розпаралелювання робіт в системах з паралельною структурою;
- включення до складу систем алгоритмів і засобів, що дозволяють реалізувати працездатні ресурси в процесі експлуатації виробу.

Резервування в усіх системах пов'язано з ростом сумарного потоку відмов. Підвищуючи нормований показник надійності, воно призводить до збільшення не тільки вартості виробу, габарітновесових показників, енергоспоживання і деяких інших характеристик, але і до зростання експлуатаційних витрат і споживання запасних частин, збільшення обслуговуючого і ремонтного персоналу. Тому резервування слід розглядати як вимушений засіб підвищення надійності, коли інші можливості вже вичерпані і не дозволяють забезпечити необхідний рівень надійності.

Для кожного виду техніки можливості резервування як засобу підвищення надійності визначаються в значній мірі технічної товарності методів резервування. Тому при проектуванні повинні використовуватися тільки такі методи резервування, технічна реалізація яких забезпечена відомими конструктивними і технологічними рішеннями або може бути підтверджена досвідно-конструкторських робіт в прийнятні терміни.

Відмова резервованої системи є подія, яке у порушенні хоча б одного з встановлених вимог до вихідних характеристик системи (продуктивності, точності, достовірності, матеріаломісткості, енергоємності та ін.). Виникнення відмови фіксується за допомогою критеріїв, які представляють собою детерміновані правила прийняття рішення про приналежність стану системи класу працездатних або непрацездатних станів.

Основним критерієм відмови резервованої системи служить функціональний ознака, за допомогою якого визначається межа області в просторі вихідних характеристик системи, перетин яких розглядається як відмова системи.

У складних системах, що мають кілька режимів функціонування і ряд виконуваних функцій, допускається формування декількох функціональних критеріїв відмови - відмови при виконанні кожної функції. Шляхом угруповання критеріїв відмови по кожній функції формують функціональні критерії відмови з будь-якої сукупності функцій. У складній системі можуть



виділятися кілька рівнів функціонування, кожному з яких відповідає функціональний критерій.

На основі функціонального критерію формується структурний критерій відмови, який визначає, якого стану сукупності технічних засобів відповідає відмова системи. Якщо такий критерій вдається сформувавши, то сукупність працездатних і непрацездатних станів можна описати у вигляді структурно-надежностной схеми або логічної функції працездатності (непрацездатності) системи.

Для систем, що володіють декількома видами надмірності, не завжди вдається сформувавши структурний критерій, адекватний функціональним критерієм, так як стан працездатності системи визначається не тільки сукупністю станів її елементів. В цьому випадку потрібно розробляти технічний критерій відмови, який крім стану елементів включає в себе значення запасів продукції і запасів продуктивності, допустимий час перебування в частково працездатному стані, стан системи технічного обслуговування.

У резервованій системі існує безліч працездатних станів, у тому числі одне повністю працездатний. Воно виникає, коли всі елементи працездатні і всі додаткові ресурси, виділені для резервування, знаходяться на рівні нормативних значень, які характеризуються векторним параметром  $A$ . Решта працездатні стану виникають при відмові деяких елементів або зменшенні ресурсів нижче нормативних значень.

Працездатний стан, в якому поточні значення параметрів знаходяться на такому рівні, що відмова одного елемента може привести до відмови системи, називають передотказним станом. У послідовності станів резервованій системи між повністю працездатним і передотказним станом зазвичай є одне або кілька проміжних станів. Кількість відмов елементів, яке призводить систему з повністю працездатного стану в передотказное, є важливою характеристикою ступеня надмірності в системі. У загальному випадку це кількість змінюється в залежності від послідовності відмов елементів і від того, в якій частині системи вони відбуваються. Мінімальна кількість відмов, відповідне найбільш невдалому поєднанню відмов елементів, може використовуватися не тільки як характеристика рівня резервування, а й як детермінований показник надійності, званий  $d$  - безотказністю:

$$d = \min d_i,$$

де  $d_i$  - число відмовили елементів при переході з повністю працездатного в передотказное стан по  $i$ -му шляху.

Рівень надмірності характеризується також максимальною кількістю відмов елементів, при якому ще не відбувається відмови системи. Це число може використовуватися як детермінований показник надійності, званий  $m$  - безотказністю:

$$m = \min m_i,$$

де  $m_i$  - число відмов елементів при переході в передказное стан по  $i$ -му шляху. Відзначимо, що тут шлях може містити кілька передказних станів.

Порівняння  $m$  і  $d$  дозволяє оцінити властивість маневреності ресурсів, що використовуються для підвищення надійності. При великому розходженні між цими числами маневреність ресурсів низька, при невеликому розходженні - висока. При  $m = d$  маневреність абсолютна.

Застосовуваний для нерезерованих систем показник безвідмовності середнє напрацювання до відмови  $T_{ср}$  може також обчислюватися і для резервованої системи. Однак цей показник погано відображає основні властивості останньої, так як характеризує поведінку системи на всьому інтервалі функціонування, коли ймовірність безвідмовної роботи відрізняється від нуля. Для високонадійних систем, якими є зазвичай резервовані системи, цей інтервал досить великий і значно перевищує нормативний час функціонування. Це означає, що  $T_{ср}$  визначає і інтервал, на якому система вже не працює і де через поступове зменшення надмірності і деградації системи надійність знижується і може виявитися нижче рівня надійності нерезерованої. Тому ефективність резервування, оцінювана по збільшенню середнього напрацювання, виявляється, як правило, істотно нижче, ніж при оцінці за ступенем зменшення ймовірності відмови. З цієї причини середній наробіток до відмови не рекомендують в якості показника надійності резервованої системи. Замість середнього напрацювання застосовують умовну середню напрацювання до відмови, якщо напрацювання не перевищує інтервалу функціонування.

Коефіцієнт збереження ефективності висловлює відносне зниження деякого показника ефективності (продуктивності, пропускної здатності, потужності, кількості виготовлених виробів), обумовлене відмовами елементів системи. Особливістю  $K_e$  як показника надійності є те, що для його обчислення не потрібно вводити поняття і критерії відмови системи. Тому  $K_e$  застосовують при оцінці надійності складних систем, в яких не вдається розділити їхні капітали на два класи (працездатне і непрацездатна) і які мають кілька рівнів працездатності. Однак він може застосовуватися і в системах, де сформульовані поняття і критерії відмови, якщо працездатні стану відрізняються значеннями показника ефективності. Якщо ж вони однакові, то коефіцієнт збереження ефективності кількісно збігається з коефіцієнтом технічного використання.

Класифікація видів резервування. Незалежно від призначення і області техніки слід розрізняти п'ять видів резервування: структурний, тимчасове, функціональне, інформаційне, навантажувальний. Відповідно до цих видів резервування розрізняють п'ять видів надмірності. До них слід додати алгоритмічну і семантичну надмірності, які можна розглядати як різновиди

функціональної і інформаційної надмірності відповідно. Однак вони мають певну специфіку і можуть розглядатися і окремо.

Структурний резервування здійснюється введенням в структуру технічних засобів додаткових (резервних) елементів, здатних виконувати функції основних елементів при їх відмові. Видалення цих елементів з системи при працездатному стані основних чи не порушує здатності системи виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування.

Функціональне резервування має місце в багатофункціональних системах, в яких окремі елементи або групи елементів мають здатність приймати на себе функції інших відмовили елементів на час відновлення їх працездатності без істотного зниження техніко-економічних показників системи. При функціональному резервуванні на відміну від структурного резервування немає резервних елементів, тобто таких елементів, які можуть бути вилучені постійно без порушення вимог до технічних характеристик системи.

Функціональне резервування забезпечується:

- встановленням додаткових зв'язків між елементами;
- гнучкістю і оперативністю перенастроювання багатофункціональних елементів на виконання заданої функції;
- зміною режиму функціонування.

Тимчасове резервування полягає у виділенні для окремих елементів, груп елементів або системи в цілому деякого додаткового часу, який може бути використано для відновлення технічних характеристик без порушення вимог до вихідних параметрів системи.

Тимчасове резервування забезпечується:

- створенням запасу продуктивності шляхом збільшення швидкодії (пропускної спроможності) елементів;
- створенням запасу продуктивності шляхом паралельного включення в роботу пристроїв однакового призначення;
- створенням запасів продукції в проміжних або вихідних накопичувачах;
- зниженням швидкості розвитку несприятливих наслідків відмов і швидкості погіршення вихідних параметрів системи.

Інформаційне резервування полягає в формуванні кількох семантичних адекватних джерел інформації або копій масивів інформації, введення додаткової інформації, призначеної для відновлення основний в разі її спотворення.

Інформаційне резервування забезпечується шляхом:

- завадостійкого кодування інформації;
- дублювання даних на різних пристроях;
- коррелированности даних вимірювань фізичних полів;

- використання даних, які відповідають симетричним співвідношенням;
- використання надмірності алгоритмічного або природної мови.

Навантажувальний резервування полягає в забезпеченні запасів працездатності при впливі різних навантажень (електричної, механічної, термічної та ін.) в процесі експлуатації. Навантажувальний резервування забезпечується шляхом:

- створення запасу міцності з метою захисту від підвищених ударних і вібраційних навантажень;
- використання елементів з підвищеною допустимою розсіюється електричною потужністю;
- використання термостійких матеріалів;
- зниження коефіцієнта зайнятості виробу корисною роботою.

Основними характеристиками видів резервування, визначальними розміри введених ресурсів і правила їх використання, служать:

- кратність резервування;
- область використання резервних ресурсів;
- дисципліна резервування;
- дисципліна відновлення ресурсів;
- кількість рівнів ієрархії резервування.

Кратність резервування визначається як відношення кількості резервних ресурсів до кількості основних ресурсів. Кратність структурного резервування представляється у вигляді невідомо дробу, в якій в чисельнику знаходиться число резервних елементів, а в знаменнику число основних елементів. Кратність функціонального резервування визначається числом різних способів, якими може бути виконана задана функція. Кратність тимчасового резервування визначається як відношення резервного часу до основного часу виконання завдання. Кратність інформаційного резервування визначається як відношення числа одиниць резервної і основної інформації. Кратність навантажувального резервування визначається як відношення запасу працездатності по даному виду навантаження до номінального значення навантаження, вимірюваних в одних і тих же одиницях.

По області використання резервних ресурсів розрізняють: загальне, групове і поелементне резервування. Загальний резерв здатний парировати відмови в будь-якому з елементів системи. Груповий резерв попереджає відмови тільки в елементах даної групи і не може використовуватися при відмовах елементів поза цієї групи. По- елементний резерв призначений для попередження відмов тільки елементів даного типу. Кожен з цих способів резервування може характеризуватися кратністю резервування.

Процедура резервування встановлює порядок використання надлишкових ресурсів, які введені в систему для реалізації різних способів резервування, і

залежить від того, які види і способи резервування реалізуються в системі і в якому режимі працює система в момент прояву виник відмови. При структурному резервування зазвичай використовують спочатку поелементний резерв, потім груповий і в останню чергу загальний резерв. При структурному і тимчасовому резервування в одних режимах спочатку застосовують структурний резерв, а потім резерв часу. В інших режимах роботи порядок використання резерву може бути зворотний, функціональний резерв зазвичай використовують після того, як вичерпано структурний, так як перехід на інший спосіб виконання функції пов'язаний часто з деяким зниженням якості функціонування. Оскільки від процедури резервування залежить досягнення надійності резервованої системи, необхідний пошук оптимальної процедури резервування.

Процедура відновлення ресурсів визначає порядок технічного обслуговування, процедуру технічного та інформаційного відновлення, поповнення запасів продукції, запасів працездатності та резервів часу. Процедура відновлення повинна визначати:

- момент початку відновлення;
- зміна режиму функціонування системи на час відновлення;
- джерело поповнення ресурсів;
- черговість робіт по відновленню ресурсів;
- порядок повернення в систему технічних засобів і засобів програмного та інформаційного забезпечення після завершення їх відновлення;
- нормативні значення ресурсів, при досягненні яких процес відновлення припиняється або проходить зміна режиму функціонування основної системи і системи технічного обслуговування;
- стратегію технічного обслуговування і відновлення.

Ієрархія коштів резервування створюється відповідно до ієрархією технічних засобів. У зв'язку з цим можна розрізняти кілька рівнів ієрархії резервування:

- елементний рівень (I);
- рівень сполучень і вузлів (II);
- рівень складальних одиниць (агрегатів) (III);
- рівень підсистем (IV);
- системний рівень (V).

За способом реалізації резервування розрізняють три рівні ієрархії:

- технологічний (I);
- конструктивний (II);
- функціональний (III).

Число рівнів ієрархії є класифікаційної і технічною характеристикою

засобів резервування.

Вибір виду резервування визначається:

- умовами експлуатації системи;
- обмеженнями на сукупні витрати на засоби підвищення надійності;
- обмеженнями, зумовленими вимогами до інших технічних характеристик (габарити, маса, енергоспоживання, експлуатаційні витрати, які обслуговують підсистеми);
- допустимим погіршенням якості функціонування і скороченням обсягу виконуваних функцій при зниженні працездатності системи;
- технічної товарності методів резервування;
- рівнем розвитку засобів контролю і діагностування;
- характеристиками ремонтпридатності;
- ступенем уніфікації обладнання;
- рівнем технології виробництва і її характеристиками (стабільністю, гнучкістю, точністю).

Структурний резервування отримує право в системах, умови застосування яких характеризуються такими особливостями:

- малий допустимий час переривання функціонування;
- висока ціна відмови (важкі наслідки відмов);
- неприпустимість зниження якості функціонування при зниженні працездатності системи;
- розвинена система апаратного контролю і діагностування, не допускає значної затримки у виявленні відмов;
- організація технічного обслуговування, при якій можливо відключення відмовив пристрої, його відновлення і включення в роботу без переривання функціонування решти системи.

Методи структурного резервування можна поділити на три основні групи:

- вбудоване резервування з постійним включенням резерву;
- вбудоване резервування заміщенням з автоматичним або автоматизованим включенням резерву;
- ненавантажений резервування шляхом заміни непрацездатних елементів на працездатні з ЗІП.

В останньому випадку кратність і спосіб резервування визначаються номенклатурою і кількістю запасних частин, структурою ЗІП (одиначний, груповий).

Інформаційне резервування є специфічним видом резервування, використовуваним в системах зв'язку, управління, вимірювальних, інформаційних, обчислювальних системах та інших системах збору та обробки інформації.

Воно застосовується в тих випадках, коли наслідки втрати і спотворення інформації важкі, і тому такі порушення або неприпустимі, або повинні бути малоймовірні. Основними умовами і передумовами використання інформаційного резервування є:

- недостатня надійність носіїв інформації;
- неможливість оперативного відновлення алгоритмічними засобами спотворень інформації при обробці;
- неможливість відновлення інформації за допомогою первинних джерел;
- в системі передбачені необхідні ресурси апаратури і часу для реалізації резервування інформації, а в алгоритмах функціонування передбачено використання надлишкової інформації.

Інформаційне резервування використовується зазвичай в поєднанні зі структурним і тимчасовим резервуванням, оскільки для зберігання копій інформаційних масивів і додаткової інформації при завадостійке кодування необхідні додаткові ємності запам'ятовуючих пристроїв і додаткова апаратура для обробки інформації, а для читання копій і роботи засобів відновлення інформації потрібно додатковий час. Поширений метод інформаційного резервування - установка додаткових датчиків в поле вимірювань.

Навантажувальний резервування застосовується в тих випадках, коли виріб не обслуговується або коли усунення відмови вимагає великих витрат часу і великих експлуатаційних витрат. При цьому використання структурного резервування важко або неможливо з технічних або економічних міркувань. Навантажувальний резервування може застосовуватися і тоді, коли структурний резервування неефективне і для підвищення його ефективності необхідно зменшити інтенсивність відмов виробу або резервованій його частини. Основні умови успішного застосування цього виду резервування:

- наявність відповідних елементів, що володіють необхідним запасом працездатності за різними параметрами щодо номінального режиму роботи виробу;
- прийнятність ступеня підвищення інших техніко-економічних характеристик (габаритів, енергоспоживання, вартості та ін.) по відношенню до прототипу, обумовленої створенням запасу працездатності;
- можливість одночасної розвантаження всіх або більшості елементів з тим, щоб створити «рівнопрочність» систему.

До методів навантажувального резервування слід віднести:

- застосування елементів з підвищеною допустимою розсіюється потужністю;
- зменшення щільності упаковки елементів для створення сприятливого теплового режиму;

- зниження швидкості переміщення механічних елементів для зниження механічних навантажень;
- зменшення інтенсивності вхідних потоків інформації в інформаційних системах з метою попередження збоїв і відмов;
- полегшення технологічних режимів в технологічних системах з метою розширення області працездатності при відхиленнях технологічних параметрів від номінальних значень.

Навантажувальний резервування часто використовують у поєднанні з іншими видами резервування. При зниженні інформаційного навантаження періоди незайнятості можна використовувати як резерв часу. При розвантаженні по потужності використовують короточасне форсування режиму з метою часткової або повної компенсації простоїв або погіршення вихідних параметрів системи внаслідок відмов.

#### **8.4. Резервування на етапі проектування**

Запасні частини до машин в залежності від часу і місця їх використання виконують різні функції. При відмовах, які усуваються поточними ремонтами, запасні частини виконують своє призначення експлуатаційного резервування з метою підвищення напрацювання виробу в процесі його експлуатації. Як правило, резервуються вироби, що лімітують надійність. При капітальному ремонті виробу, вузла або агрегату запасні частини є комплектуючими замість деталей, які дійшли до граничного стану через руйнування або зносу поверхні. В цьому випадку у вигляді запасних частин можуть бути використані як нові, так і заздалегідь відремонтовані деталі.

У нашій країні найбільш масовим є використання запасних частин з метою експлуатаційного резервування шляхом заміни відмовила деталі виробу. Як показує практика, це далеко не досконалий шлях. По-перше, нова (відремонтована) деталь, будучи встановленою в зношене виріб прірабативаються з сполученими поверхнями інших деталей за більш тривалий період через спотворення у останніх форми робочих поверхонь, що супроводжується великими значеннями зносу. При цьому термін служби сполучення в цілому скорочується від 1,5 до 2,5 разів. По-друге, прискорений темп зношування встановленої нової деталі викликає підвищення інтенсивності зношування робочих поверхонь сполучених деталей і, як наслідок, скорочення напрацювання всього виробу.

При подетальній заміні при поточному ремонті частота відмов буде збільшуватися в міру зростання напрацювання, термін служби скорочуватися при збільшенні числа деталей в його складі, у яких інтенсивність зношування робочих поверхонь підвищується і призводить до граничного стану.



Подетальна заміна при поточному ремонті не відновлює зазори (натяг) в з'єднаннях деталей, а вони, за інших рівних умов, визначають швидкість накопичення пошкодження і, зокрема, інтенсивність зношування.

З позиції подальшої напрацювання відремонтованого виробу кращі результати досягаються при застосуванні комплектної заміни замість подетальної. З економічної точки зору, на перший погляд здається, що комплектна заміна при усуненні відмов виробів повинна привести до необґрунтованого підвищення витрат на запасні частини. Але, по суті, це не так. Комплектна стратегія заміни при відповідному раціональному формуванні ремонтних комплектів призводить до збільшення загальної напрацювання виробу до його граничного стану і, в кінцевому підсумку, до зниження питомих витрат на запасні частини.

Ефективність переходу від подетальної стратегії заміни до комплектної стратегії тим більше, чим нижче початкова якість виробу, так як при цьому сильніше позначаються негативні прояви подетальної стратегії. Тому можна стверджувати, що для реалізації запланованої конструкцією напрацювання виробу за термін служби до списання необхідно, погодившись з початковим рівнем якості, розробити оптимальну систему експлуатаційного резервування. При порушенні балансу вкладів в початкову якість виробу і збільшенні якості від подальших ремонтних впливів забезпечити нормативну напрацювання виробу не вдається.

Ремонтний комплект виробу - сукупність його деталей в зборі, об'єднана функціональним єдністю, утворює замкнуту розмірну групу з повною технологічною завершеністю. Замкнутість групи реалізується, наприклад, в тому, що при установці її в виріб вона утворює замкнуту розмірну ланцюг з точносних параметрами складального розміру в межах нормативу. З визначення ремонтного комплекту слід:

- заміна ремонтного комплекту на відповідний новий (відремонтований) ремонтний комплект не повинна вимагати додаткових технологічних операцій для повного відновлення його функціональних властивостей і надійності виробу;

- на відміну від подетальної, комплектна заміна не руйнує (не погіршує) за рахунок ремонтних впливів функціональну роботу і показники надійності агрегату як системи.

Відповідно до введених визначенням ремонтні комплекти виробу повинні бути незалежні в сукупності, тобто працездатність будь-якого з ремонтних комплектів виробу не залежить від технічного стану і працездатності інших комплектів.

## **8.5. Повна класифікація ремонтних комплектів**

Прийняті позначення:

- базовий ремонтний комплект – БК;
- змінюваний ремонтний комплект – СК.

Базовий ремонтний комплект відрізняється від змінюваного ремонтного комплексу тим, що його відмова тягне за собою капітальний ремонт агрегату і, отже, попутну заміну всіх змінюваних ремонтних комплектів, причому число замін базового ремонтного комплексу відповідає числу капітальних ремонтів і заздалегідь обмежується конструктивно.

Змінюваний ремонтний комплект є однорідним, якщо ресурси його змінних підкомплектів близькі до ресурсу основної частини змінюваного ремонтного комплексу або в силу функціональних і конструктивних особливостей ремонтний комплект взагалі не має підкомплектів.

Змінюваний ремонтний комплект називається неоднорідним, якщо він має слабку ланку, тобто підкомплект, ресурс якого менше основної частини ремонтного комплексу.

Для неоднорідного змінюваного ремонтного комплексу відмова його основної частини тягне за собою заміну і змінюваного ремонтного комплексу.

Неоднорідний змінюваний ремонтний комплект без обмеження на число замін його основної частини.

Неоднорідний змінюваний ремонтний комплект із заздалегідь обмеженим числом замін його основної частини. Для таких комплектів число замін визначається числом ремонтних розмірів.

Приклад. Як об'єкт ремонту вибираємо дизельний двигун.

Сформовано 4 комплекти:

- блок циліндрів;
- головка циліндрів в зборі;
- гільза циліндрів, кільця ущільнювачів гільзи, поршні і поршневі пальці, стопорні кільця, шатуни і поршневі кільця;
- колінчастий вал, корінні і шатунні вкладиші і наполегливі півкільця.

## **ЛЕКЦІЯ 9. Основні терміни та визначення при ремонті машин. Виробничі процеси ремонту. Технологічні процеси ремонту. Види, структура, методи проектування**

### **9.1. Основні терміни та визначення**

Проведення КР машин і їх агрегатів в умовах сучасного АРП пов'язано з виконанням широкого комплексу різноманітних робіт. При цьому поряд з

основними роботами, такими як розбирання, миття і очищення, дефектація і сортування, відновлення і виготовлення деталей, комплектування та складання, випробування і фарбування, виконуються і допоміжні роботи: транспортування, складські операції, зміст і ремонт обладнання та будівель, технічний контроль, матеріально-технічне постачання, забезпечення виробництва інструментом і всіма видами енергії.

Сукупність усіх дій людей і знарядь праці, необхідних на даному підприємстві для виготовлення чи ремонту продукції, називається виробничим процесом. Таким чином, під виробничим процесом КР слід розуміти сукупність основних і допоміжних робіт, які виконуються в умовах конкретного ремонтного підприємства з метою перетворення непрацездатних машин, які досягли граничного стану, в працездатні об'єкти з необхідним ресурсом.

Частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані дії по зміні і (або) визначення стану предмета праці, називається технологічним процесом, який може бути віднесений до виробу, його складової частини або до методів обробки, формоутворення і складання. До предметів праці належать заготовки і вироби. Відповідно до цього на ремонтному підприємстві поряд з поняттями технологічного процесу КР автомобілів (агрегатів) розробляються і здійснюються окремі технологічні процеси по основним видам робіт, тобто технологічні процеси розбирання, мийки-очищення, дефектації, відновлення і виготовлення деталей, складання, випробування, забарвлення. Технологічний процес складається з технологічних операцій, кожна з яких представляє закінчену частину технологічного процесу, виконувану на одному робочому місці.

У свою чергу, технологічна операція включає ряд елементів. Технологічним переходом називають закінчену частину технологічної операції, виконувану одними і тими ж засобами технологічного оснащення (обладнання, оснащення та пристосування) при постійних технологічних режимі і установці. Поряд з технологічним переходом є допоміжний перехід як закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини і (або) обладнання, які не супроводжуються зміною властивостей предметів праці, але необхідні для виконання технологічного переходу (наприклад, закріплення заготовок, зміна інструменту). Установ - частина технологічної операції, виконувана при незмінному закріпленні оброблюваних заготовок або збирається складальної одиниці. Позицією називається фіксоване положення, займане незмінно закріпленою заготовкою або збирається складальної одиницею спільно з пристосуванням щодо інструмента чи нерухомої частини устаткування при виконанні певної частини операції. Переміщення інструменту щодо заготовки супроводжується зміною форми, розмірів, якості поверхні і властивостей заготовки. Допоміжний хід - закінчена частина технологічного переходу, що

складається з одноразового переміщення інструменту відносно заготовки, необхідного для підготовки робочого ходу. До елементів технологічної операції відноситься прийом як закінчена сукупність дій людини, застосовуваних при виконанні переходу або його частини і об'єднаних одним цільовим призначенням (наприклад, установка виробу в пристосування, включення обладнання).

Основним нормативним документом, який регламентує технологічні процеси забезпечення працездатності машин, є ГОСТ 18322-78, який регламентує наступні аспекти:

- встановлює застосовувані в науці, техніці і виробництві терміни та визначення основних понять в області видів, методів і показників технічного обслуговування і ремонту виробів;

- до складу операцій технічного обслуговування можуть входити мийка виробу, контроль його технічного стану, очищення, змазування, кріплення болтових з'єднань, заміна деяких складових частин виробу (наприклад, фільтруючих елементів), регулювання і т.д.;

- терміни, встановлені стандартом, обов'язкові для застосування в документації всіх видів, науково-технічної, навчальної та довідкової літератури.

Вихідними даними, якими необхідно розташовувати при проектуванні технологічних процесів, служать:

- Річна виробнича програма ремонту автомобілів, агрегатів і деталей;
- креслення вузла або складальної одиниці, в який входить деталь. Креслення дозволяє проаналізувати умови роботи деталі, вимоги до складальної одиниці;

- робоче креслення деталі, необхідний для отримання інформації про допустимі погрішності на розміри деталі, її форму і розташування поверхонь, про марку матеріалу деталі і додаткові вимоги до деталі або її елементів;

- технологічний процес виготовлення деталі на підприємстві виробника. Однією з умов забезпечення необхідного рівня якості відновлення деталей є технологічна спадкоємність між процесами виготовлення і відновлення деталей. Ця умова визначає виняткову цінність відомостей про технологічний процес виготовлення деталей для технолога ремонтного виробництва;

- ремонтний креслення деталі виконується відповідно до вимог, встановлених ГОСТом на ремонтну документацію. Він повинен мати:

- необхідну кількість проєкцій, розмірів при правильній їх розстановці;
- допуски на похибки форми і розташування поверхонь;
- додаткові вимоги до деталі;

- дані про кількість ушкоджуваних поверхонь, характер пошкоджень,

про ймовірні поєднаннях дефектів у зношених деталей, кількості деталей з певними поєднаннями дефектів. Зазначені відомості необхідні для встановлення раціональної послідовності усунення дефектів, формування оптимальних розмірів партій, що запускаються у виробництво, визначення кількості технологічних маршрутів, відновлення деталей, вибору способів усунення дефектів;

- вказівки про перевагу застосування методів обробки та способів усунення окремих дефектів, про рівень відновлення службових властивостей деталі. Велика розмаїтість способів усунення дефектів і високі вимоги до якості відновлення деталей вимагають знання об'єктивних технологічних можливостей кожного способу, умов його застосування до конкретної деталі, рівня відновлення функціональних властивостей деталі;

- довідкові дані про обладнання, його завантаження, керівні та нормативні технічні матеріали, відомості про передовий досвід ремонту деталей даного найменування: дані про обладнання (технічні характеристики, паспорта верстатів, каталоги, відомості про завантаження обладнання);

- операційні припуски і допуски (нормалі);
- каталоги ріжучих, вимірювальних і допоміжних інструментів;
- нормативи режимів різання, допоміжного та підготовчо-заключного часу і часу на обслуговування робочого місця і відпочинок робочого;
- таблиці величин врізання інструментів;
- дані про твердість і відносної зносостійкості окремих видів покриттів, отримані за результатами проведених науково-дослідних робіт;
- єдиний тарифно-кваліфікаційний довідник.

Проектування технологічного процесу відновлення деталі включає в себе цілий комплекс робіт:

- аналіз технологічного процесу виготовлення деталі;
- аналіз інформації про частоти і характер пошкоджень окремих поверхонь деталей;
- систематизацію та аналіз можливих способів усунення окремих дефектів;
- розробку складу і послідовності технологічних операцій;
- визначення оптимальних обсягів ремонтних робіт;
- вибір технологічних баз;
- вибір засобів технічного оснащення (обладнання, пристосувань, який займається обробкою, допоміжного та вимірювального інструмента);
- розробку оригінальних засобів технічного оснащення;
- вибір режимів різання, схем базування;
- обґрунтування міжопераційних допусків і припусків на обробку;
- системний аналіз розроблених варіантів технологічного процесу і

вибір оптимального.

При подефектної технології відновлення деталей рішення питання про можливість їх повторного використання та виборі раціональних способів усунення дефектів може прийматися на основі даних щодо характеру та обсягів зносу. У разі промислового відновлення деталей по маршрутної технології наявність тільки цієї інформації зовсім недостатньо, так як великий вплив при цьому на вибір способів, а також послідовність операцій відновлення надає сукупність дефектів, що становлять той чи інший маршрут. Тому необхідно досліджувати не тільки розподіл розмірів поверхонь зношених деталей, але і виявити статистичні закономірності в освіті дійсних поєднань дефектів, оцінити ймовірності надходження деталей по ним.

Практика показує, що, незважаючи на випадковий характер освіти тих чи інших поєднань дефектів, надходження деталей на відновлення має цілком певні закономірності. Наприклад, зі збільшенням обсягу вибірки обстеження частота надходження деталей з тим чи іншим станом поступово стабілізується, наближаючись до якогось постійному значенням. При цьому виявляються так звані статистичні закономірності або стійкість надходження деталей, коли неможливо заздалегідь передбачити, з яким саме поєднанням дефектів надходить на контроль - сортування та чи інша деталь, але можна передбачити ймовірність цієї події за результатами обстеження великої кількості таких деталей.

## **9.2. Виробничі процеси ремонту**

Виробничий процес - сукупність всіх дій людей і знарядь виробництва, необхідних для виготовлення і ремонту виробів. Виробничий процес складається з технологічних процесів, складових основне виробництво, яке забезпечується допоміжним виробництвом і обслуговуючими процесами.

Допоміжне виробництво - виготовлення і ремонт засобів технологічного оснащення; вироблення і подача стисненого повітря, енергії та інших засобів, необхідних для випуску продукції.

Обслуговуючі процеси - транспортні, контрольні та складські операції.

Технологічний процес (ТП) - частина виробничого процесу, яка містить дії по зміні і подальшому визначенню стану предмета виробництва.

Залежно від умов виробництва розрізняють наступні види ТП: проектні, робочі, маршрутні, операційні, маршрутно-операційні, поодинокі, тимчасові, перспективні, типові, стандартні. ТП складається з операцій, установок, переходів, позицій.

Структура виробничого процесу. Виробничий процес капітального ремонту автомобілів включає технологічні, енергетичні, транспортні, складські та ін. Операції, що забезпечують випуск готової продукції.

Перераховані вище особливості АРП, низька механізація і автоматизація ремонтних робіт в порівнянні з автоматизованими поточними лініями, недостатня концентрація і спеціалізація виробництва призводять до того, що трудомісткість капітального ремонту автомобілів в 2-3 рази вище, ніж їх виготовлення на автозаводах, а ходимість відремонтованих автомобілів нижче нових.

Принципи виробничого процесу.

Випуск готової продукції базується на організації виробництва, праці та управління. Організація виробництва - це раціональне поєднання засобів виробництва, предметів і умов праці, що забезпечують випуск готової продукції необхідної якості при регламентованих матеріальних, фінансових і трудових витратах.

Організація праці - це система заходів, що забезпечують раціональне використання робочої сили за рахунок раціональної розстановки людей в процесі виробництва, розподілу праці, кооперування, використання прогресивних прийомів і методів, нормування та стимулювання праці, наукової організації робочих місць, їх обслуговування та створення сприятливих умов для роботи.

Організація управління - це комплекс заходів щодо збору інформації про виробництво, її обробці, прийняття рішень, доведення їх до виконавців, контролю і регулювання виробництва з метою підвищення ефективності використання ресурсів і якості готової продукції.

Основні принципи організації виробничого процесу.

Спеціалізація виробництва - випуск вузької номенклатури виробів на одному підприємстві при досить великому обсязі виробництва. Розрізняють за наступними напрямками:

а) за місцем застосування:

- внутрішньозаводських;
- цехову;
- робочих місць;

б) по виду:

- предметну;
- подетальную;
- технологічну.

Спеціалізація дозволяє ширше приймати стандартні рішення, використовувати типові ТП і уніфікувати оснащення.

Прямо точність - це забезпечення найкоротшого шляху проходження відремонтованих виробів по всіх стадіях і операціях виробничого процесу. При цьому скорочується час на міжопераційне транспортування виробів.

Розрізняють такі види руху виробів:

а) послідовне (відновлення і виготовлення деталей) - забезпечується більш повне завантаження устаткування, але викликає тривале перебування деталей на постах обробки;

б) паралельне - забезпечує безперервність виробництва і скорочує час перебування виробу в ремонті, але при цьому необхідно забезпечення синхронності і кратності суміжних операцій;

в) послідовно-паралельне - застосовується, коли операції виробничого процесу не синхронізовані і обладнання на ділянках має різну продуктивність.

Виробничий процес на АРП організують з прямим, Г- образним і П- образним рухом ремонтованих виробів.

а) прямий потік.

Гідність - прямолінійність руху найбільш важких деталей, що дозволяє використовувати нескладні підйомно-транспортні механізми.

Недолік - невідповідність площ основних ділянок утворюється бічним потокам ремонтованих агрегатів, вузлів і деталей.

б) Г-подібний потік.

Гідність - можливість ізоляції разборочно-мийних ділянок від складальних і ін. ділянок.

Недолік - непрямолінійність технологічного потоку.

в) П-подібний потік.

Гідність: одночасне виконання складових виробничого процесу, більш широкий фронт робіт, скорочення часу перебування виробу в ремонті.

Пропорційність - це відповідність потужностей всіх цехів і ділянок (і допоміжних) плановим завданням по ремонту певної номенклатури виробів.

Принцип пропорційності полягає в тому, що кількість виконавців пропорційно кількості робочих місць.

### **9.3. Технологічні процеси ремонту**

Технологічний процес - це частина виробничого процесу, яка містить цілеспрямовані дії по зміні і визначення стану предмета праці. Технологічний процес складається з послідовності виконуваних технологічних операцій. Технологічна операція - це закінчена частина технологічного процесу, виконувана на одному робочому місці. Закінчена частина технологічної операції (технологічний режим і установка), що виконується одними і тими ж засобами технологічного оснащення, називається переходом.

Робоче місце - це елементарна одиниця структури підприємства, де розміщені виконавці робіт, яку обслуговує ними одиниця технологічного обладнання (верстати, преси, гальванічні ванни і т.д.) або частина конвеєра, а також устаткування й, на обмежений час, предмети праці. Комплекти



документів за ступенем деталізації опису підрозділяють на: маршрутні, операційні, маршрутно-операційні.

Існують два основні методи організації технологічного процесу ремонтного виробництва.

Тушковий метод - реалізується на універсальних і спеціалізованих робочих місцях.

На універсальних постах ремонт виконується однією бригадою, яка робить всі операції від початку і до кінця.

На спеціалізованих - виконують ремонт однієї складальної одиниці або певну технологічну операцію.

Поточна організація - це розташування засобів технологічного оснащення в послідовності виконання операції і з певним інтервалом випуску виробів.

Технологічні операції закріплюють за робочими місцями, розташованими згідно з технологічним процесом. Поточні лінії можуть бути одне і багатопредметні, переривчастими і безперервно-потоковими.

#### **9.4. Види, структура, методи проектування**

Нормативними документами ЕСТПП встановлені два види ТП: одиничний і типовий. Одиничний ТП - це ТП виготовлення або ремонту виробів одного найменування, типорозміру і поповнення незалежно від типу виробництва.

Типовий ТП характеризується єдністю змісту і послідовністю більшості технологічних операцій та переходів для груп виробів із загальними конструктивними ознаками.

Груповим ТП називається сукупність групових технологічних операцій, що забезпечують відновлення властивостей виробу (або декількох груп виробів) за загальним технологічним маршрутом (ТМ). При груповому ТМ передбачається проходження груп виробів або їх представників з пропуском окремих операцій. Групою називається сукупність виробів, що характеризується при ремонті спільністю обладнання, оснащення, налагодження і ТП.

При побудові групових ТП за базовий виріб беруть комплексну одиницю ремонтного фонду, під якою розуміється реальна або умовна (штучна) одиниця ремонтного фонду, що містить у своїй конструкції всі основні елементи, характерні для виробу цієї групи і є її конструктивно-технологічним представником.

Кожен вид ТП характеризується наступними ознаками:

- основним призначенням процесу (робочий, перспективний);
- ступенем деталізації процесу (маршрутний, операційний, маршрутно-операційний).

Робочий ТП виконують по робочій технологічній або конструкторській документації.

Перспективний ТП - це процес, який повністю або частково належить освоїти на підприємстві, використовуючи останні досягнення науки і техніки.

Маршрутний ТП виконують по документації, в якій вміст операцій викладається без вказівки переходів і режимів обробки.

Операційний ТП виконують по документації, в якій вміст операцій викладається з зазначенням переходів і режимів обробки.

Маршрутно-операційний ТП виконують по документації, в якій вміст окремих операцій викладається без вказівки переходів і режимів обробки.

Проектування ТП є складовою частиною системи технологічного проектування підприємства, яка в державному масштабі лімітується ГОСТами Р ЕСТПП.

Основним фактором, що визначає ступінь диференціації ТП, є характер виробництва і пов'язаний з ним обсяг випуску продукції.

Обсяг випуску продукції - це кількість виробів певного найменування, типорозміру, виконання, ремонтіваних підприємством протягом планованого інтервалу часу.

Тип виробництва - класифікаційна категорія виробництва, яка виділяється за ознаками широти, номенклатури, регулярності, стабільності й обсягу ремонту виробів.

Однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій (КЗО) - це відношення числа всіх різних технологічних операцій, виконаних протягом місяця, до числа робочих місць.

Для дрібносерійного виробництва:  $K_{30} = 20-40$ ;

Для середнесерійного виробництва:  $K_{30} = 10-20$ ;

Для великосерійного виробництва:  $K_{30} = 1-10$ ;

Для масового:  $K_{30} = 1$ .

В даний час практика технологічної підготовки виробництва на АРЗ, що базується на розробці і застосуванні індивідуальних ТП, застаріла і не сприяє технічному прогресу. Багато сил і коштів витрачається на проектування ТП, які при сучасних темпах зміни номенклатури ремонтіваних виробів швидко можуть виявитися непотрібними або застарілими.

Одним із шляхів підвищення ефективності проектування ТП є проведення їх технологічної уніфікації, яка дозволяє скоротити терміни ТПП і виконати її на більш високому організаційно-технічному рівні при менших витратах матеріальних і трудових ресурсів.

Основні напрямки технологічної уніфікації:

- типізація ТП;
- розробка і впровадження групових ТП.

Під типізацією ТП розуміється розбивка виробів на конструктивно-технологічні класи (типи) і складання для кожного з них типового ТП.

## **ЛЕКЦІЯ 10. Основи теорії ефективності ремонту машин. Бізнес-планування в ремонтному виробництві. Оцінка ефективності ремонтного виробництва**

### **10.1. Основи теорії ефективності ремонту машин**

Ремонт машин виступає як засіб прискорення темпів зростання суспільного виробництва і, як наслідок, як засіб повнішого задоволення суспільних потреб при однакових ресурсних можливостях. З представленого вище матеріалу ясно, що, по-перше, при проведенні КР потрібно істотно менше кількості металу через можливість повторного використання деталей і, отже, менше витрачається електроенергії та ін. Виробничих ресурсів. По-друге, ремонтне виробництво в різних галузях має різний рівень і з плином часу змінюється, що показує на зміну ефективності ремонту. Завдяки кількісній оцінці, можна виявити найбільш прогресивні рішення для подальшого широкого їх поширення, що забезпечує можливість більшої економії суспільної праці.

Для можливості порівняння ефективності різнотипних виробництв необхідно розробити систему не тільки якісних, а й кількісних показників, що дозволяють проводити порівняльний аналіз різних систем організації виробництва, технологічних процесів і способів ремонту. Для кількісної оцінки ефективності виробництва найчастіше використовують ряд приватних показників, наприклад: зростання продуктивності праці, обсяг виробництва, повна собівартість, основні фонди. Крім приватних показників ефективності використовують і узагальнені показники, наприклад: темпи зростання виробництва, виробництво чистої продукції на одиницю витрат, загальну рентабельність і т.д.

### **10.2. Оцінка економічної ефективності технології ремонту машин**

Безперервний розвиток технічного прогресу, вдосконалення техніки і технології виробництва відкривають нові способи і методи відновлення і принципи організації ремонтного виробництва. Характерною особливістю стає можливість відновлення деталей декількома способами із застосуванням різних технологічних процесів, обладнання, режимів його роботи, методів організації виробництва. Для вибору оптимального технологічного способу ремонту проводиться аналіз можливих варіантів з метою виявлення їх відносних переваг і недоліків. Доцільність розробки нової технології, вибору обладнання, організації виробництва встановлюється на основі комплексного аналізу ефективності, який включає в себе аналіз технічної, організаційної, соціальної та економічної

доцільності застосування кожного варіанта.

Аналіз технічної доцільності ремонту полягає у виявленні можливостей відновлення деталей в повній відповідності з технічними умовами на ремонт. При цьому в обов'язковому порядку повинні бути забезпечені необхідні точність геометричних параметрів, твердість матеріалу та інші показники, що характеризують фізико-механічні властивості. Крім того, оцінюється надійність, довговічність деталей і складальних одиниць, відновлених з використанням різних варіантів технологічних процесів.

Аналіз організаційної доцільності ремонту передбачає виявлення можливості відновлення деталей необхідного рівня якості, заданої кількості в установлені терміни при існуючій організаційній структурі підприємства і його виробничих ділянок. При порівняльній оцінці визначаються переваги та недоліки зіставляються варіантів по тривалості підготовки виробництва і виробничого циклу, ритмічності виробництва і т.д.

Аналіз соціальної доцільності ремонту характеризується комплексом таких показників, як рівень механізації, автоматизації виробництва, кваліфікація працівників, рівень їх освіти, енергоозброєність праці і ступінь охорони праці.

Комплексний аналіз завершується порівняльним економічним аналізом ефективності варіантів технологічних процесів і дозволяє встановити величину економічного ефекту, який забезпечується при застосуванні того чи іншого варіанту в порівнянні з базовим. Базовим називається варіант, з яким проводять порівняння. В якості базового приймають той варіант, який є кращим з впроваджених раніше, тобто варіант, що забезпечує найменші сукупні витрати при дотриманні принципу забезпечення повної відповідності відремонтованих деталей вимогам проектної, технічної та технологічної документації. При порівнянні варіантів необхідно забезпечувати тотожність за обсягом, якістю і часу виробництва відновлювальних робіт. За інших рівних умов вирішальним фактором є величина економічного ефекту.

В якості критеріїв оцінки економічної ефективності варіантів технологічних процесів ремонту деталей вибирається мінімум витрат на виготовлення, ремонт і подальшу експлуатацію всієї сукупності деталей, використовуваних на даному підприємстві, тобто має дотримуватися таких умов:

$$\sum_{j=1}^n Q_j \cdot q_{pj} \cdot S_{pj} + q_{uj} \cdot S_{uj} \rightarrow \min,$$

де  $Q_j$  - річна потреба в деталях  $i$ -го найменування;  $n$  - кількість найменувань деталей машини, які піддаються ремонту;  $q_{pj}$  - частка річної потреби в деталях  $j$ -го найменування, яка задовольняється за рахунок ремонту;  $S_{pj}$  - витрати на ремонт і експлуатацію відремонтованих деталей  $j$ -го найменування;  $q_{uj}$  - частка

річної потреби в деталях  $j$ -го найменування, яка задовольняється за рахунок виготовлення;  $S_{uj}$  - витрати на виготовлення (запасних частин) і експлуатацію деталей  $j$ -го найменування.

### 10.3. Узагальнюючий показник економічної ефективності ремонту

Узагальнюючий показник економічної ефективності ремонту розраховується виходячи з умови:

$$\Delta_i = S_1 - S_i - q_i,$$

де  $S_1$  і  $S_i$  - наведені витрати на ремонт однієї деталі при застосуванні відповідно базової і нової технології відновлення;  $q_i$  - річний обсяг відновлення деталей за новою технологією в розрахунковому році в натуральних одиницях.

Розрахунок приведених витрат на ремонт. Наведені витрати являють собою суму собівартості і нормативного прибутку, тобто.

$$S = C + E_H K,$$

де  $C$  - собівартість ремонту однієї деталі;  $K$  - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди;  $E_H$  - нормативний показник ефективності капітальних вкладень.

У тих випадках, коли нова технологія вимагає збільшення капітальних вкладень, а економічність забезпечується за рахунок зниження собівартості ремонту деталі, вибір найбільш доцільного з економічної точки зору варіанта здійснюється виходячи з наступної умови:

$$E_H < E_{pi},$$

де  $E_{pi}$  - розрахунковий показник економічної ефективності додаткових капітальних вкладень, що визначається за формулою:

$$E_{pi} = \frac{C_1 - C_i}{K_i - K_1}.$$

Для порівнюваних варіантів широко використовується показник терміну окупності додаткових капітальних вкладень, який представляє собою величину, зворотну величиною показника ефективності додаткових капітальних вкладень:

$$\tau_{pi} = \frac{1}{E_{pi}}; \quad \tau_H = \frac{1}{E_H},$$

де  $\tau_{pi}$  - розрахункова величина терміну окупності додаткових капітальних вкладень;  $\tau_H$  - нормативний термін окупності додаткових капітальних вкладень.

У розрахунку порівняльної економічної ефективності від впровадження у виробництво нових технологічних процесів вирішальне значення мають: фактор часу, відмінність варіантів за годинниковою продуктивністю і якості відновлення деталей.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Канарчук В. Є., Лудченко О. А., Чигиринець А. Д. Експлуатаційна надійність автомобілів : підручник : у 2 ч., 4 кн. Київ : Вища школа, 2016. Ч. 1 : кн. 1. 609 с. ; кн. 2. 458 с. ; Ч. 2 : кн. 3. 321 с. ; кн. 4. 552 с.
2. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин : підручник. Київ : Либідь, 2015. 424 с.
3. Полянський С. К., Білякович М. О. Технічна експлуатація будівельно-дорожніх машин та автомобілів. Загальні відомості. Теоретичні і організаційні основи : підручник : у 3 ч. Київ : Видавничий дім „Слово”, 2015. Ч. 1. 384 с.
4. Карагодін В. І., Митрохін Н. Н. Ремонт машин и двигателей. Харьков : Мастер, 2013. 306 с.
5. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов / Б. С. Васильев и др. ; под ред. В. А. Зорина. Харьков : Мастер, 2012. 496 с.
6. Павлов А. П., Дехтеринский Л. В., Норкин С. Б., Скрипников С. А. Теория потенциала работоспособности и ремонтного резервирования надежности стареющих технических систем. Харьков : ХАДИ, 2013. 104 с.
7. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / В. А. Зорин и др. ; под ред. В. А. Зорина. Харьков : Академия, 2011. 568 с.
8. Зорин В. А. Основы надежности технических систем. Харьков : Академия, 2012. 243 с.
9. Кузова легковых автомобилей: техническое обслуживание и ремонт / А. Ф. Синельников и др. ; под ред. А. Ф. Синельникова. Харьков : Академкнига, 2012. 495 с.
10. Справочник специалиста по ремонту машин / В. А. Зорин и др. ; под ред. В. А. Зорина. Харьков : Академкнига, 2017. 380 с.

Навчальне видання

## **РЕМОНТ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ**

Методичні рекомендації

Укладач: **Марченко** Дмитро Дмитрович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 6.

Тираж 100 прим. Зам. № \_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі

Миколаївського національного аграрного університету

54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №4490 від 20.02.2013 р.