

**БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра будівельних, колійних та вантажно-  
розвантажувальних машин**

**Є.В. Коновалов, П.Є. Коновалов**

**УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ БУДІВЕЛЬНИХ,  
КОЛІЙНИХ ТА ВАНТАЖНО-  
РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ МАШИН**

*Конспект лекцій*

**Харків - 2014**

Коновалов Є.В., Коновалов П.Є. Управління  
експлуатацією будівельних, колійних та вантажно-

розвантажувальних машин: Конспект лекцій. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 77 с.

Конспект лекцій призначений для студентів спеціальності 8.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» при вивченні курсу навчальної дисципліни «Управління експлуатацією і ремонтом будівельних, дорожніх і вантажно-розвантажувальних машин». Крім того, конспект лекцій розрахований на широке коло фахівців, що займаються питаннями експлуатації машин, в тому числі на слухачів факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації УкрДАЗТ.

У конспекті лекцій викладені матеріали, що стосуються сучасних принципів та методів ефективного управління машинного парку промислових підприємств.

Іл. 19, табл. 4, бібліогр.: 25 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри будівельних колійних та вантажно-розвантажувальних машин 9 грудня 2013 р., протокол № 4.

Є.В. Коновалов, П.Є. Коновалов

УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ  
БУДІВЕЛЬНИХ, КОЛІЙНИХ  
ТА ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ  
МАШИН

*Конспект лекцій*

Відповідальний за випуск Коновалов Є.В.

Редактор Решетилова В.В.

---

Підписано до друку 19.12.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,50. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Є.В.Коновалов, П.Є.Коновалов

УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ БУДІВЕЛЬНИХ, КОЛІЙНИХ  
ТА ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ МАШИН

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Харків – 2013

Коновалов Є.В. Управління експлуатацією будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин [Текст]: конспект лекцій / Є.В. Коновалов, П.Є. Коновалов. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 77 с.

Конспект лекцій призначений для студентів спеціальності 8.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» при вивченні курсу навчальної дисципліни «Управління експлуатацією і ремонтом будівельних, дорожніх і вантажно-розвантажувальних машин». Крім того, конспект лекцій розрахований на широке коло фахівців, що займаються питаннями експлуатації машин, в тому числі на слухачів факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації УкрДАЗТ.

У конспекті лекцій викладені матеріали, що стосуються сучасних принципів та методів ефективного управління машинного парку промислових підприємств.

Іл. 19, табл. 4, бібліогр.: 25 назв.

Конспект лекцій розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри БКВРМ 9 грудня 2013 р., протокол № 4.

Рецензент доц. Г.М.Афанасов

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Сучасна концепція управління експлуатацією машин.....	6
Тема 2. Основи експлуатації машин.....	11
2.1 Поняття «технічна експлуатація машин».....	11
2.2 Системи технічного обслуговування та ремонту машин...13	
2.3 Планування оптимальної періодичності діагностики.....	21
2.4 Система забезпечення запасними частинами.....	23
Тема 3. Підвищення надійності як засіб управління якістю експлуатації машин.....	24
3.1 Загальна характеристика надійності машин.....	24
3.2 Основні показники надійності.....	31
3.3 Методи оцінки показників надійності.....	37
3.4 Нормування показників надійності машин.....	39
3.5 Заходи для підвищення надійності машин.....	42
3.6 Підвищення надійності машин на етапі експлуатації ремонту.....	50
Тема 4. Основи управління експлуатацією машин.....	53
4.1 Управління експлуатаційною надійністю машин.....	53
4.2 Методологія та принципи управління експлуатацією машин.....	56
4.3 Фактори, що визначають рівень експлуатаційної надійності машини.....	60
4.4 Управління фондівдачею машинного парку.....	65
4.5 Зв'язок між технічною готовністю та ефективністю виробничої експлуатації машин.....	69
4.6 Аналіз системи управління працездатністю.....	72
Список літератури.....	75

## ВСТУП

Технічний прогрес на транспорті позначається змінами у структурі парку машин, підвищенням одиничної потужності і технічного рівня конструкцій, широким впровадженням об'ємного гідропривода, автоматизацією управління та впровадженням мікропроцесорної техніки. Зміни, що відбулися, вимагають підвищеного рівня надійності машин. Вимоги до підвищення надійності машин зросли, зокрема, у зв'язку з [1]:

- збільшенням складності машин (наприклад, сучасні системи автоматичного виробництва містять 70-250 тис. компонентів);

- посиленням інтенсивності режимів експлуатації (за період 1900-2000 рр. матеріаломісткість двигунів внутрішнього згорання зменшилася з 250 кг/к.с. до 1 кг/к.с., тобто в 200-250 разів);

- підвищенням вимог до якості, точності і довговічності машин.

Тим часом, на ремонт та на відновлення техніки витрачаються значні трудові та матеріальні ресурси: трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів (ТО і Р) за період служби будівельних і дорожніх машин у 20 разів перевищує трудомісткість виготовлення нової машини [2]. Витрати на запасні частини за весь період експлуатації перевищують вартість нового обладнання: для будівельних і дорожніх машин – у 6-10 разів [2], для верстатів – у 5-12 разів; радіотехнічної апаратури – 10-12 разів; літаків – у 5 разів; автомобілів - в 6 разів; військової техніки – в 20 разів [1]. На відновлення техніки витрачається близько 20 % річної продукції чорного металу [1].

В окремих галузях машинобудування до 75 % виробничих потужностей зайняті ремонтом тієї техніки, яка випускається на решті 25 % потужностей [1].

Через недостатній рівень надійності продуктивність будівельних і дорожніх машин за період життєвого циклу знижується майже утричі, а собівартість машино-години роботи підвищується на 40-70 % [2]. Зростаюча складність конструкції і продуктивність сучасних машин вимагають відповідної програми їх технічної експлуатації. Під технічною експлуатацією слід

розуміти не тільки використання машини за призначенням, але й забезпечення її справного стану з високим рівнем надійності, включаючи планове технічне обслуговування і ремонти, відновлення працездатності після відмов, зберігання, підготовку до роботи та ін.

Збільшення складності та підвищення інтенсивності використання техніки вимагають відповідної якості машин під час їх технічної експлуатації, тобто створення умов для тривалої роботи машин з максимально можливою продуктивністю і найменшими витратами.

Підвищення терміну служби машин в умовах експлуатації може бути досягнуто насамперед за рахунок дотримання норм і правил експлуатації, технічного обслуговування і ремонту.

Основним завданням технічної експлуатації є вміння керувати технічним станом і працездатністю машин в період їх використання за призначенням, а критерієм оцінки якості управління є максимально можлива продуктивність машини при найменших експлуатаційних витратах.

## Тема 1. СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ МАШИН

Вирішення проблеми підвищення ефективності виробництва значною мірою залежить від підвищення ефективності використання основних фондів, особливо їх активної частини – машин і механізмів. Тому підвищення фондоддачі, продуктивності праці і зниження собівартості виконання робіт залежить від поліпшення використання машинного парку.

На ступінь важливості проблеми ефективного використання сучасного машинного парку вказує зростаюча кількість присвячених їй досліджень і наукових робіт. Результати цього сегмента досліджень дозволили сформулювати сучасну науку про ефективне управління експлуатацією машин, а її основні положення виділити як окрему навчальну дисципліну.

Згідно з [3], термін «експлуатація» означає стадію життєвого циклу виробу, на якій реалізується, підтримується і відновлюється його якість. Взагалі експлуатація виробу складається з використання за призначенням, транспортування, зберігання, технічного обслуговування та ремонту. Отже, управління експлуатацією машини полягає у пошуку та коригуванні шляхів поліпшення її використання, продовження терміну служби, а також ефективних способів підтримки і відновлення її споживчої якості.

**Сучасна концепція управління експлуатацією машин** являє собою комплекс керівних принципів і положень щодо ефективного використання машинного парку підприємств. Засобом управління експлуатацією машин дана концепція розглядає певну систему, що забезпечує необхідний рівень якості експлуатації машин. З економічної точки зору необхідний рівень якості експлуатації машин має підтримуватися підприємством за рахунок оптимальних витрат.

У загальному вигляді **система управління якістю експлуатації машин** (далі – система) складається з об'єкта та суб'єкта управління, а також засобів і ресурсів для керівництва якістю експлуатації [4] (рисунок 1). Система забезпечує єдність і взаємозв'язок технічних, економічних соціальних та інших заходів з підвищення якості експлуатації машин.





Рисунок 1 – Загальна структура системи управління якістю експлуатації машин

**Основними завданнями** застосування системи є:

- удосконалення заходів системи технічної експлуатації машин, які забезпечують бажаний рівень якості експлуатації;
- запобігання можливим відхиленням процесів технічної експлуатації машин від вимог нормативно-технічної документації;
- поліпшення техніко-економічних показників діяльності і конкурентоспроможності підприємств.

**Якість експлуатації машин** являє собою сукупність характеристик заходів, спрямованих на забезпечення використання машин за призначенням відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Вимоги до якості експлуатації машин встановлюються:

- експлуатаційною документацією, яка розроблена підприємством-виробником машини;
- державними та галузевими нормами і правилами експлуатації машин.

**Управління якістю експлуатації машин** здійснюється за допомогою системи шляхом:

- **планування показників** підвищення якості експлуатації машин;

найбільш значущими показниками є:

- а) питома сумарна вартість технічної експлуатації;

- б) питома сумарна трудомісткість технічної експлуатації;
- в) середній ресурс машин до капітального ремонту, між капітальними ремонтами і до списання;
- г) напрацювання до відмови;
- д) концентрація забруднюючих речовин у вихлопних газах двигунів;
- е) коефіцієнт технічної готовності машин;
- ж) питомі витрати палива, експлуатаційних матеріалів, запасних частин, електроенергії;
- **створення умов для виконання планів**, організації контролю і обліку їх виконання, аналізу та оцінки результатів, корегування процесу експлуатації за результатами контролю;
- **розширення зв'язків** з науковими і проектними організаціями, підприємствами-виробниками, підприємствами технічного сервісу;
- **реконструкції експлуатаційної бази**, відповідно до структури машинного парку;
- **переходу до стратегії експлуатації машин на підставі фактичного технічного стану**, встановленого засобами стану діагностики;
- **використання ЕОМ** для проведення аналізу, планування, контролю показників управління якістю експлуатації машин;
- **технологічної підготовки** виробництва для забезпечення готовності служб підприємства до експлуатації машин на запланованому рівні якості та у заданих обсягах, в тому числі:
  - а) забезпечення експлуатаційною, ремонтною і технологічною документацією;
  - б) укомплектування засобами технологічного оснащення відповідно до вимог нормативно - технічної документації;
  - в) впровадження технічної діагностики, створення стаціонарних постів і пересувних засобів діагностування;
  - г) оснащення сучасними технологічними засобами стаціонарних і пересувних засобів технічного обслуговування та ремонту;
  - д) впровадження методів прогнозування залишкового ресурсу для організації ТО і Р з оптимальною періодичністю;
  - е) впровадження агрегатного методу для виконання поточних та позапланових ремонтів машин;

ж) організації відновлення зношених деталей прогресивними методами;

- **організації експлуатації машин**, у тому числі шляхом:

а) удосконалення:

1) контролю та оцінки технічного стану машин;

2) договірних відносин з підприємствами технічного сервісу;

б) створення:

1) режимів економії експлуатаційних матеріалів;

2) обмінного фонду складальних одиниць для ремонту машин, агрегатним методом;

в) організації:

1) експлуатації машин відповідно до вимог ГОСТ 25646-95 та галузевої документації [5-9];

2) діагностування машин відповідно до вимог ГОСТ 25044-81 та галузевої документації [6-9];

г) проведення ТО і Р на основі оцінки технічного стану машин із застосуванням засобів діагностування машин;

д) розробки планів транспортування і зберігання машин, організації збору та очищення відпрацьованих матеріалів;

е) визначення залишкового ресурсу при діагностуванні машин з метою обґрунтованого прийняття рішення на експлуатацію;

ж) забезпечення при роботі машин рівнів загазованості, шуму, вібрації, запиленості відповідно до встановлених норм;

- **матеріально-технічного забезпечення** виробництва, у тому числі:

а) організації регулярності поставок запасних частин і матеріалів;

б) оптимізації запасних частин і матеріалів на основі даних про оцінку залишкового ресурсу, отриманих під час діагностування машин; в) забезпечення економії матеріальних ресурсів;

- **метрологічного забезпечення** експлуатації машин шляхом:

а) удосконалення контролю використання, зберігання та повірки засобів вимірювань;

б) забезпечення підрозділів необхідними засобами вимірювань;

- **підготовки та навчання кадрів**, що передбачає:

а) підвищення кваліфікації, навчання персоналу прийомів і шляхів забезпечення якості експлуатації машин;

б) організацію періодичних перевірок знань персоналу;

- **інформаційного забезпечення** виробництва шляхом:

а) збору та застосування науково-технічної інформації про передовий вітчизняний та зарубіжний досвід підвищення якості експлуатації машин;

б) забезпечення своєчасної та повної інформації про фактичний рівень якості експлуатації машин, причини відхилень від встановленого рівня якості та ефективності проведених заходів;

в) обліку витрат на забезпечення і підвищення якості експлуатації машин;

- **стимулювання** підвищення якості експлуатації машин, у тому числі:

а) удосконалення оцінки якості праці та стимулювання за досягнуті показники якості;

б) поєднання адміністративних, моральних і матеріальних форм стимулювання;

- **правового забезпечення** виробництва шляхом:

а) удосконалення правової пропаганди та підвищення правових знань;

б) здійснення контролю дотримання законів України, які регламентують забезпечення якості експлуатації машин (у тому числі договірні зобов'язання з підприємствами технічного сервісу і постачальниками ресурсів, претензії, позови, посадові інструкції, документи системи управління якістю експлуатації машин).

Таким чином, ефективність управління якістю експлуатації (рисунок 1) багато в чому залежить від якості самого об'єкта управління, тобто якості самої машини. У той же час найважливішим експлуатаційним показником якості машини є її надійність. Шляхи підвищення надійності машин, як засобу управління якістю їх експлуатації розглядаються далі.

Зі згаданих вище організаційно-технічних заходів для студентів-магістрів спеціальності 8.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» особливу увагу слід звернути на ті, які стосуються, насамперед, управління працездатністю машин.

## **Тема 2. ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН**

### **2.1 Поняття «технічна експлуатація машин»**

Будь-яка машина, виконуючи певні функції, знаходиться у взаємодії з середовищем і людиною, що керує цією машиною. Накопичення різних впливів на машину тягне за собою зміни ( погіршення ) її якісних показників та зниження працездатності. Швидкість зміни якісних показників машини в період експлуатації залежить від безлічі факторів і може бути різною. Попередити небажані зміни технічного стану машини призначена система технічної експлуатації машин.

Під **технічною експлуатацією машин** мають на увазі комплексну систему організаційно-технічних заходів, які забезпечують їх роботоздатність (надійність) під час використання за функціональним призначенням.

Метою технічної експлуатації є забезпечення працездатного і справного технічного стану машин.

Технічна експлуатація машин як наука визначає шляхи і методи найбільш ефективного управління технічним станом машин з метою їх високопродуктивної та надійної роботи при оптимальних матеріальних і трудових витратах.

Технічна експлуатація машин як галузь практичної діяльності – це комплекс технічних, економічних, організаційних та інших заходів, які забезпечують підтримку машин у працездатному (справному) стані, попередження їх простоїв через технічні несправності.

При плануванні технічної експлуатації машин виходять з мінімуму експлуатаційних витрат і собівартості машино-години продукції, що досягається шляхом організації оптимального проведення діагностування технічного стану, технічного

обслуговування і режимів навантаження машин в різних умовах експлуатації.

Завданням служб технічної експлуатації підприємств є не тільки використання машинного парку за призначенням, але й забезпечення справного стану з високим рівнем надійності, включаючи планове технічне обслуговування і ремонти, відновлення працездатності після відмов, зберігання, підготовку до роботи та ін.

Для підтримки машини у працездатному стані, перш за все, необхідно враховувати причини та джерела шкідливих впливів на машину, вивчити реакцію машини на різні дії і на підставі цього створити такі системи, які могли б упродовж необхідного періоду часу виконувати задані функції у встановлених межах.

Підвищення експлуатаційної надійності і працездатності може бути реалізовано за рахунок дотримання правил приробки, своєчасної заміни мастильного матеріалу, а також при дотриманні норм і правил експлуатації, технічного обслуговування і ремонту машин.

Експлуатаційна надійність машини може бути забезпечена при вирішенні двох основних завдань:

- забезпечення нормальних режимів роботи окремих деталей (вузлів) і машини в цілому;
- прогнозування ресурсу і призначення раціонального регламенту експлуатації.

Перше завдання передбачає розробку заходів, що забезпечують зниження рівня інтенсивності навантажень, зносу і старіння. Друге вимагає пошуку оптимальної системи обслуговування, контролю, діагностики, підвищення якості відновлення.

Як показники ефективності технічної експлуатації використовують комплексні показники – коефіцієнт готовності, технічного використання.

Саме вміння керувати технічним станом машин і, як наслідок, працездатністю в період її використання за призначенням, і є основним завданням служб технічної експлуатації.

З моменту введення машини в експлуатацію перед фахівцями підприємств постають питання:

- планування та організації технічного обслуговування та ремонту машини;
- вибору форми ТО і Р, що найбільш доцільна для даного типу машини і конкретних умов експлуатації;
- визначення вузлів і систем машини, які вимагають обслуговування, та термінів їх виконання.

## 2.2 Системи технічного обслуговування та ремонту машин

Під час експлуатації машина зношується, збільшується кількість відмов і ремонтів, що зумовлює зростання тривалості простоїв і прогресивне зростання витрат в міру її напрацювання. Шляхом вибору допустимих, граничних витрат на ТО і Р своєчасно припиняють подальшу експлуатацію машини, ремонтують або списують її, запобігаючи тим самим збільшенню числа відмов. Всі названі заходи утворюють певний комплекс – систему технічного обслуговування та ремонту.

**Система технічного обслуговування та ремонту машин** – комплекс організаційно-технічних заходів, що проводяться для забезпечення працездатності машин упродовж усього терміну їх служби при дотриманні заданих умов і режимів експлуатації. Система містить у собі сукупність взаємопов'язаних засобів, документації з ТО і Р та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості машин (рисунок 2).



Рисунок 2 – Складові системи технічного обслуговування і ремонту машин

До технічних засобів належать: технологічне обладнання, прилади, пристосування, інструмент, споруди, запасні частини і

матеріали для проведення операцій технічного обслуговування і ремонту.

Нормативно-технічна документація – це документація, що регламентує періодичність, послідовність, технологію виконання цих операцій, в тому числі технічні вимоги на відновлення параметрів технічного стану із зазначенням їх допустимих значень.

Нарешті, в систему технічного обслуговування і ремонту входять виконавці – майстри-наладчики, діагности, слюсарі та інші фахівці, – що здійснюють операції обслуговування і ремонту.

У практиці експлуатації машин виділяють три основні системи (стратегії) виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту.

**Перша** з них передбачає виконання робіт з ТО і Р за потребою після відмови. Це може бути заміна, ремонт, регулювання.

**Друга** система полягає в тому, що виконання ТО і Р виконують за регламентом залежно від напрацювання (ресурсу, календарного часу роботи) машини. Роботи за цією системою мають планово-попереджувальний характер, проведення відповідних видів ТО і Р відбувається із заданою послідовністю і періодичністю. Їх попереджувальний характер полягає в тому, що основну кількість операцій при плановій постановці машини на ТО і Р виконують попереджувально, тобто до появи відмови (несправності).

Таку систему вважають «жорсткою», тому що всі роботи виконують періодично залежно від напрацювання (терміну служби) незважаючи на стан машини. До таких робіт належать заміна рідин або мастил, окремих вузлів або деталей, періодичне змащення пар тертя.

Основним недоліком другої системи є те, що рекомендації щодо термінів обслуговування і обсягів робіт отримані на підставі загальних статистичних даних. Практика експлуатації автомобілів показала, що при цьому для 10-15% машин рекомендована періодичність профілактичних робіт виявляється завищеною, а для решти 70-80 % – заниженою, що викликає значні втрати ресурсу через його недовикористання [10].



Нарешті, **третя** система передбачає виконання робіт з обслуговування машини, обсяг та періодичність яких залежить від технічного стану машини. Ці роботи теж мають планово-попереджувальний характер, але їх проводять залежно від фактичного технічного стану машини або її складових. Тому така система проведення ТО і Р названа «гнучкою» і є найбільш прогресивною. Згідно з таким порядком виконують, наприклад, заміну циліндро-поршневої групи, регулюють момент запалювання двигунів внутрішнього згорання.

Галузь застосування третьої системи, як найбільш прогресивної, при сучасному розвитку методів і засобів технічного діагностування постійно поширюється.

Розвиток систем технічного обслуговування і ремонту машин відбувається у напрямку збільшення періодичності робіт, зменшення номенклатури і полегшення виконання операцій, застосування універсальних мастильних матеріалів та робочих рідин.

**Технічне обслуговування** машин – це комплекс робіт з підтримки працездатності машин при їх використанні за призначенням, під час зберігання та транспортування, які спрямовані на попередження підвищеного зносу деталей, відмов і пошкоджень машини в цілому.

**Технічний стан** – це сукупність властивостей машини, що змінюються в процесі експлуатації. Ці властивості характеризують придатність машини до використання за призначенням і визначаються значеннями параметрів та якісними ознаками, склад яких встановлений технічною документацією.

Технічний стан машини може бути характеризований такими термінами: справність, працездатність, несправність, непрацездатність, правильне функціонування, неправильне функціонування. Працездатність машини визначається за такими показниками, як помірні витрати палива, відсутність шуму при ввімкненні передачі, рівномірне гальмування механізмів, легкість управління і т. п. Перехід з працездатного стану до непрацездатного відбувається внаслідок відмови. Найбільш ефективним засобом підтримки високого рівня технічного стану машини є технічне діагностування.

Для відновлення номінальних або близьких до них значень параметрів технічного стану машин виконуються певні операції ТО і Р. Комплекс певних операцій, приурочений до певного моменту часу або напрацювання, обумовлює вид ТО і Р.

Під видом ТО і Р розуміють комплекс певних операцій, які виконують із заданою періодичністю. Система планово-попереджувальних ремонтів передбачає проведення технічного обслуговування (ТО), поточних (ТР) і капітальних (К) ремонтів.

Час роботи від початку експлуатації машини до першого капітального ремонту називається **міжремонтним циклом**, а кількість годин роботи машини між однойменними видами – **періодичністю** ТО і Р.

Технічне обслуговування поділяють на щозмінне (ЕО), що проводиться перед початком або після кожної робочої зміни; періодичне (ТО-1, ТО-2, ТО-3), що проводиться після відпрацювання машиною встановленої заводом-виробником кількості годин; сезонне (СО), що виконується два рази на рік під час підготовки машини до використання в період наступного сезону (літнього або зимового). До складу ЕО входять роботи зі змащування машини, контрольний огляд перед пуском у роботу дій робочих органів машини, ходової частини, гальм, освітлення, сигналів, автоматичного управління.

Основними технічними вимогами на ТО і Р машин є міжконтрольне напрацювання, допустима величина ресурсних параметрів, залишковий ресурс агрегатів і якісні ознаки їх стану. Ці величини і ознаки є важливими характеристиками технічного стану машин. При їх неправильному встановленні частота появи відмов і витрати на усунення їх наслідків можуть зрости у кілька разів.

Рекомендаціями щодо організації ТО і Р будівельних машин встановлені норми періодичності і кількість То і Р, їх середня трудомісткість і тривалість. Так, для однокішових екскаваторів четвертої розмірної групи встановлено періодичність міжремонтного циклу до першого капітального ремонту 12000 г [11]. За цей час екскаватори проходять 72 технічних обслуговування і сім поточних ремонтів з певною для кожного з них періодичністю [12]. Склад робіт з кожного виду ТО і Р

вказується у технічній документації, що додається в обов'язковому порядку до кожної машини.

Під час ТО виконуються операції технічного догляду (очищення, мийка), огляд і контроль стану деталей, агрегатів, систем гідропривода, робочого обладнання з метою виявлення несправностей, усунення виявлених дефектів, проведення кріпильних, контрольних-регулювальних і мастильних робіт.

При виконанні ТО-1 проводять всі роботи, передбачені ЕО, при проведенні ТО-2 – всі роботи з ТО-1, а роботи під час ТО-3 поєднують з поточним ремонтом. Високі вимоги висуваються до сезонного обслуговування, а також до технічного обслуговування при зберіганні машин. Сезонне обслуговування містить у собі підготовку машини до експлуатації в осінньо-зимовий або весняно-літній періоди: в системах машини (гальм, охолодження, змащення, гідропривода та ін.) Проводять роботи зі зміни сезонних експлуатаційних мастил та рідин, встановлюють або знімають утеплення, прилади для запуску двигунів. Під час зміни мастильних матеріалів і технічних рідин ретельно промивають відповідні системи.

Склад робіт з ТО при зберіганні машин визначається вимогами експлуатаційної документації та залежить від передбачуваної тривалості зберігання. Перед постановкою машини на зберігання її очищають і миють, фарбують пошкоджені ділянки забарвлення, проводять чергове ТО, промивають системи і заповнюють їх новими експлуатаційними рідинами, на пошкоджені корозією металеві частини наносять антикорозійні мастила, захищають машину від атмосферних опадів. У процесі зберігання машина проходить періодичне обслуговування з консервування.

При виконанні ТО важлива роль надається оцінці поточного технічного стану машини за допомогою діагностичних засобів. Шляхом діагностичних оглядів можливо запобігти відмовам, замінити або відрегулювати положення деталі до виходу її з ладу, отримати інформацію щодо стану різних частин машини, скоротити потребу у деталях шляхом проведення профілактичного ремонту, не допускати раптових відмов.

Збільшення складності машин та їх інтенсивне використання зумовили широке застосування для виконання ТО і

Р спеціалізованих організацій. Такі спеціалізовані служби зосереджені на підприємствах, на яких створені ремонтно-експлуатаційні бази. Вони мають ділянки діагностування вузлів машин, ділянки ТО зі спеціалізованими постами, ділянки, що спеціалізуються в ремонті гідро- пневмоапаратури і найбільш відповідальних вузлів машин: двигунів, коробок передач, редукторів, мостів і т. п. Частину обсягів робіт з ТО виконують за допомогою мобільних засобів. Для них створено пересувні станції технічного обслуговування, оснащені необхідним, у тому числі діагностичним обладнанням. Пересувні ремонтні майстерні спеціалізовані за певними типами машин.

**Поточний ремонт.** Поточний ремонт здійснюють в плановому порядку, а також у разі потреби згідно з даними діагностичних оглядів. При цьому виконуються всі види робіт з ТО машини, заміни або відновлення зношених деталей і агрегатів (крім базових) при частковому розбиранні машини. Ремонтні роботи включають також зварювання, слюсарні та верстатні роботи, нанесення наплавки на зношені деталі і поверхні. Основний метод ТР – агрегатно-вузловий.

Нескладні ТР виконуються на робочих місцях за допомогою мобільних майстерень. Складні види ТР виконують у стаціонарних майстернях, що мають обмінний фонд тих агрегатів, які користуються найбільшим попитом. Агрегати, які потребують капітального ремонту, направляють до спеціалізованих майстерень з капітального ремонту машин. Ремонт гідроапаратури проводять на спеціалізованих ремонтних підприємствах, які застосовують заводську технологію і устаткування з дотриманням відповідних квалітетів точності (5...6 квалітети).

Відремонтвані елементи гідропривода піддають випробуванням на спеціалізованих стендах відповідно до технічних умов. При ПР гідроапаратури проводяться регульовальні, а також роботи з усунення дрібних несправностей. При серйозних несправностях елементи гідропривода замінюють на нові або з обмінного фонду.

**Капітальний ремонт.** Капітальний ремонт в цілому здійснюють у разі потреби. Рішення стосовно такого ремонту приймає комісія, що очолюється головним інженером або

головним механіком організації, на балансі якої знаходиться машина. Підставою для рішення щодо проведення КР або відмови від нього є технічні ознаки і економічні розрахунки. Найбільш поширеними є такі технічні ознаки: пошкодження базової деталі (станини, рами, несучого кузова), які можуть бути усунуті тільки шляхом повного розбирання машини; необхідність заміни двох і більш складних агрегатів – двигуна, редукторів відбору потужності, коробок зміни передач. Такі агрегати направляють у КР, якщо вони не можуть бути відновлені шляхом ТР, а також якщо для ремонту базової і основної деталі потрібно повне їх розбирання.

Розрізняють два основних види організації КР: **незнеособлений і знеособлений**. При незнеособленому виді ремонту відновлення деталей з складальних одиниць проводять з врахуванням їх приналежності до даної машини. Відремонтовані деталі і складальні одиниці встановлюють на ту ж машину, з якої вони були зняті.

При знеособленому виді ремонту зношені деталі і складальні одиниці замінюють новими або відремонтованими з числа знятих раніше з інших машин. Такий вид ремонту називають **агрегатним**. Широке застосування агрегатного методу ремонту дозволяє істотно скоротити термін перебування машини у ремонті при порівняно високому рівні його якості. Ресурс відремонтованих складальних одиниць має становити не менше 80 % від ресурсу нових.

Комісія може дозволити подальшу експлуатацію машини, якщо на основі візуального огляду і даних діагностики встановлено, що машина зберегла певний ресурс працездатності. У цьому випадку складається відповідний акт. КР машин виконується централізовано на спеціалізованих ремонтних заводах.

**Технічне діагностування** є процесом визначення технічного стану агрегатів, вузлів, систем і механізмів машини з певною точністю за допомогою приладів і пристосувань без розбирання об'єкта діагностування.

Предметом діагностування є аналіз інформації, отриманої під час випробувань агрегатів машини з метою виявлення її технічного стану та визначення характеру відмови. Існують два

види діагностування: тестове та функціональне. У ході діагностування використовуються діагностичні ознаки станів, які є результатами зіставлення величин поточних параметрів з межами їх допустимих величин. Тестове діагностування здійснюється за допомогою спеціально обраних впливів на машину, а функціональне – за допомогою експлуатаційних впливів, відповідних тому або іншому технічному стану об'єкта.

Застосування об'єктивних інструментальних діагностичних методів контролю технічного стану дозволяє визначити обсяг профілактичних робіт та періодичність їх проведення конкретно для кожної машини і знизити експлуатаційні витрати, пов'язані з поточними та аварійними ремонтами.

При добре налагодженій діагностиці на виробництві зменшуються простой та витрати на утримання машинного парку. Стосовно автомобілів ефективність діагностики характеризується тим, що періодичність ТО-2 становить 1,1-1,2, а трудомісткість – 0,85-0,90 від нормативної величини; витрати на поточний ремонт складають 0,90-0,92; на запасні частини – 0,90-0,88; палива – 0,8-0,9 [10].

За допомогою переносних діагностичних засобів оцінюють параметри двигуна, електричної та гідравлічної систем. За взятими пробами масла з картера двигуна за допомогою спектрофотометра оцінюють ступінь його старіння, наявність у ньому води і антифризу, концентрацію продуктів зносу (заліза, алюмінію і міді). Підвищення концентрації частинок свідчить про інтенсивність зносу і про порушення умов роботи сполучень. На підставі таких аналізів приймають рішення щодо проведення позапланових робіт з ТО, про терміни заміни та відновлення елементів двигуна. Особлива увага приділяється діагностичному обстеженню і технічному обслуговуванню гідропривода. У гідроприводі використовується складне устаткування з парами тертя, виготовленими з високою (прецизійною) точністю. Досвід експлуатації машин з об'ємним гідроприводом показав, що основними факторами, які впливають на довговічність гідропривода, є:

- кліматичні умови;
- експлуатаційні властивості і ступінь чистоти робочої рідини;

- регулярність заміни фільтрів;
- рівень технічного обслуговування.

Визначення несправностей гідравлічних систем проводять у кілька етапів. Спочатку проводять візуальну перевірку, після цього в робочому режимі і на закінчення – на стендах і приладами.

Візуальний огляд проводять при відключеному двигуні. Перш за все, з'ясовують дату останньої заміни рідини і фільтрів, потім оцінюють ступінь засміченості фільтрів і наявність у них часток металу, гуми та ін. Виявляють течі і пошкодження у трубопроводах, з'єднаннях і циліндрах. Перевіряють важільні механізми управління: їх регулюють, проводять перевірку на заїдання, пошкодження і знос.

Перевірку у робочому режимі здійснюють при холостому русі і нормальному навантаженні. При цьому заміряють тривалість робочих рухів і порівнюють її з нормативною. Збільшена тривалість свідчить про зношування насоса, несправності запобіжних клапанів, втрати герметичності у сполученні «поршень – циліндр». Для визначення місць несправностей, виявлення їх причини та характеру застосовують спеціалізовані стаціонарні пости і мобільні установки, оснащені спеціальною діагностичною апаратурою.

Для діагностичного обстеження безпосередньо на машинах застосовують легкі, компактні прилади – гідравлічні тестери (дроселі-витратоміри), які з високою точністю вимірюють продуктивність насосів, температуру масла, робочий тиск у гідравлічній системі. Пропускання потоку рідини здійснюється через вхідний отвір у корпусі приладу. За допомогою навантажувального клапана (дроселя), який регулюються вручну, можна змінювати розмір перетину отвору, змінюючи тим самим у широких межах тиск у системі.

### **2.3 Планування оптимальної періодичності діагностики**

Наведені у рекомендаціях (наприклад [12]) з організації ТО і Р показники періодичності слід розглядати як орієнтовні через те, що вони не можуть наперед врахувати велику кількість факторів впливу на поточний технічний стан машини.

У процесі експлуатації машини багаторазово відновлюються шляхом заміни окремих деталей, складальних одиниць, проведення регулювальних робіт, ремонтів, тому інтенсивність відмов, як правило, не досягає максимальної величини, а носить хвилеподібний характер. Якщо розглядати відмови якої-небудь деталі, то відповідно до правила 3 («трьох сигм») всі відмови деталей першого покоління вкладуться в інтервалі часу

$$t_i = \bar{t} \pm 3\sigma, \quad (1)$$

де  $\bar{t}$  – середній термін служби деталей;  
 $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення.

З (1) випливає, що відмови почнуть з'являтися у момент часу  $\bar{t} - 3\sigma$  і будуть закінчуватися у момент  $\bar{t} + 3\sigma$ , тобто у момент повної заміни деталей першого покоління.

Оскільки елементи першого покоління замінюються не одночасно, то і щільність розподілу відмов елементів другого покоління буде іншою – більш пологою, тобто максимум настане приблизно при  $2\bar{t}$ , але буде меншим за абсолютною величиною; середньоквадратичне відхилення також збільшиться, з моменту  $2\bar{t} - 3\sigma$  почнеться заміна деталей другого покоління, і надалі потік відмов стабілізується. Отже, система ТО і Р має розроблятися на основі закономірностей зміни параметрів потоку відмов.

Процеси ТО і Р можна математично описати за допомогою апарату теорії ймовірностей і знайти кращий варіант проведення ТО за рахунок оптимізації цього процесу. За критерій оптимальності можна вважати максимум коефіцієнта готовності при мінімальних витратах на ТО і Р. Завдання визначення оптимальної періодичності ТО і Р має розглядатися як завдання управління випадковим процесом (недетермінованим).

Найбільший інтерес являє проведення профілактичних робіт на основі прогнозуючого параметра (гранично допустимих зазорів, граничного зносу, витрат палива або енерговитрат на одиницю продукції). У момент часу, коли прогнозуючий параметр сягає критичної величини, розмір питомих витрат на проведення профілактичних робіт буде мінімальним. У цьому випадку ремонт машин будуть проводитися тільки при дійсній



необхідності, будуть виключені передчасні та зайві ремонти, знизиться потреба і витрати запасних частин. Це можливо досягти при проведенні постійного контролю технічного стану машин і складальних одиниць контрольно-діагностичною апаратурою.

## **2.4 Система забезпечення запасними частинами**

Із збільшенням парку машин, зростання їх річного випуску збільшується потреба у запасних частинах. Одночасно з цим зростають збитки від простою машин внаслідок відсутності запасних деталей при ремонті. Нерівномірність споживання і поставок запасних частин зумовлює необхідність створення їх запасів. Величина запасів, їх склад, а також спосіб доставки позначаються на одноразових витратах, витратах на зберігання, транспортування і управління.

Як показує досвід, забезпечення запасними частинами з мінімальними витратами можливо при створенні раціональної системи забезпечення запасними частинами.

Така система будується на декількох рівнях ( 4...5 рівнів – рисунок 3) [11]. Вона базується на обліку замовлень споживачів, вивченні закономірностей попиту на деталі певної машини, поповненні запасів деталей і агрегатів, що надходять із заводів-виготовлювачів і за рахунок відновлених деталей і агрегатів, обліку витрачених деталей, інвентаризації запасів та ін.

Розрізняють деталі, що користуються великим попитом (група А) – до 10% за номенклатурою і 90 % за вартістю; рідкісним попитом (група В) - до 15% за номенклатурою і 6 % за вартістю; малим попитом (група С) – до 75 % за номенклатурою і близько 4 % за вартістю. На складах першого рівня зберігаються всі види частин: А, В, С – 100 % номенклатури; на складах другого рівня – до 30 % номенклатури запасних частин до одної машини (групи А і В), на складах третього рівня – до 10 % групи А; на складах 4-го рівня – до 5 % номенклатури групи А.

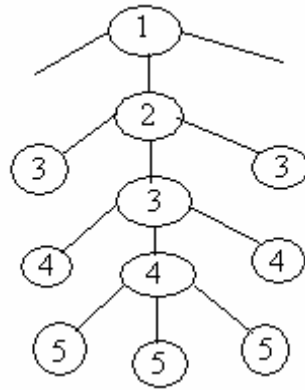


Рисунок 3 – Структурна схема системи забезпечення запчастинами [11]

На складах першого і другого рівнів можуть зберігатися три-, чотиримісячні запаси, на складах третього і четвертого – одно-, двомісячні запаси. Склади третього і четвертого рівнів територіально суміщають із службами ремонтів і технічного обслуговування. Ефективне управління процесами технічної експлуатації машин можливе лише за наявності дієвої системи обліку та звітності. Для комплексного обліку всіх даних, пов'язаних із здійсненням технічної експлуатації машин, застосовують ЕОМ, за допомогою яких аналізують дію служби ППР, контролюють виконання графіків ТО і Р, управляють запасами та ін.

### **Тема 3. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЯК ЗАСІБ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН**

#### **3.1 Загальна характеристика надійності машин**

Характеристики надійності є важливим показником у системі управління якістю експлуатації машин. Згідно з ГОСТ 27.002-89 [13], **надійність** – це властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Недостатній

ступінь надійності машини тягне за собою зниження її напрацювання, продуктивності, підвищення витрат на ТО і Р.

Так, за період експлуатації витрати металу на запчастини тракторного шасі та двигуна складають до 100 % загальної маси трактора. Витрати коштів на ТО і Р автомобілів і тракторів за весь термін служби у 3...6 разів перевищують вартість їх виготовлення [14].

Рівень використання потужностей будівельної техніки не перевищує 60 % від номінальної, близько 40 % парку будівельних машин підлягають негайній заміні, а половина цього парку вимагає модернізації [15]. Парк автотранспортних засобів в Україні за технічним рівнем, рівнем морального та фізичного зносу вимагає відновлення, терміни амортизації майже у 50 % машин значно перевищені (більше 10 років). Ресурс двигуна після ремонту замість задовільного показника не нижче 80 % фактично становить лише 30-50 % від ресурсу нового двигуна. Середнє напрацювання на відмову трактора Т-150К удвічі, а термін служби в 2-3 рази менший, ніж у зарубіжних аналогів [14].

Надійність будь-якої машини є комплексною характеристикою, що складається з показників: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереженості (рисунок 4). Надійність машини залежить від якості виконання її інженерного проекту, від якості виготовлення та від якості експлуатації.

**Безвідмовність** – властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або певного напрацювання. Машина повинна мати певні показники безвідмовності, як у період її експлуатації, так і у періоди зберігання і транспортування. Першорядне значення безвідмовність має для об'єктів, відмова яких викликає перерву в роботі великого комплексу машин, у тому числі для автоматизованого виробництва.

**Довговічність** – це властивість машини зберігати працездатний стан до настання граничного технічного стану при встановленій системі ТО і Р. Поняттю довговічності тотожне поняття ресурсу машини (виробу), тобто загальний час роботи до першого капітального ремонту.

**Ремонтпридатність** полягає в пристосованості машини до попередження і виявлення причин виникнення відмов,

пошкоджень та підтримці і відновленні працездатного стану шляхом проведення ТО і Р.

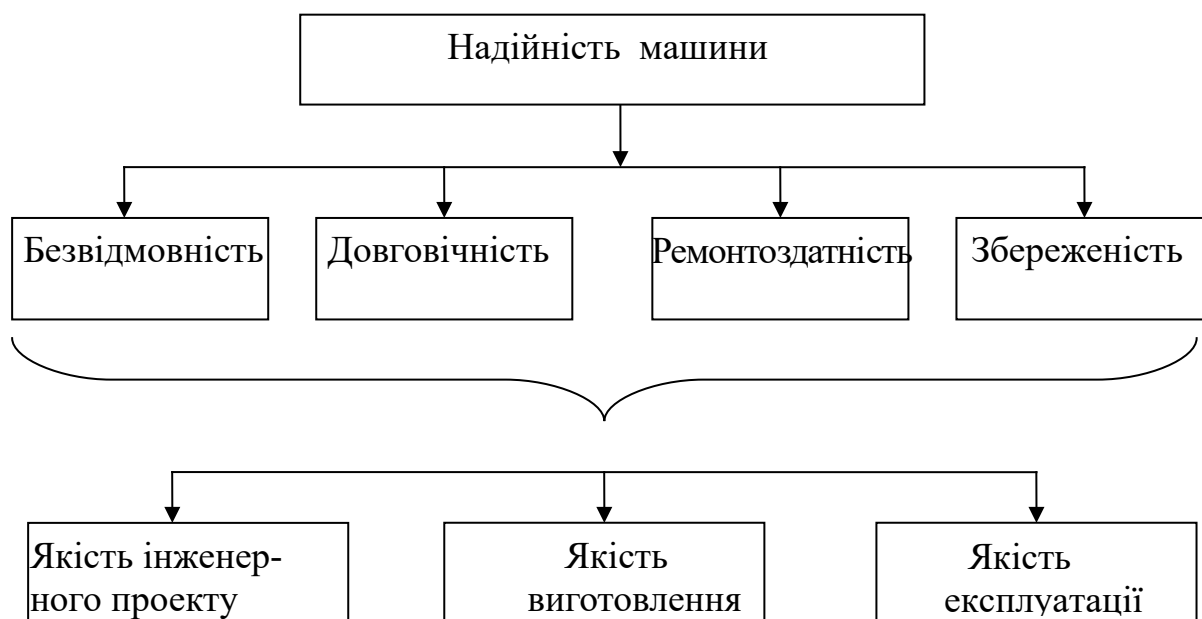


Рисунок 4 – Надійність машини і її показники

**Збереженість** – це властивість машини зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності впродовж та після зберігання та (або) транспортування. Рівень збереженості визначається ймовірністю погіршення працездатності машини. Збереженість – важлива властивість для машин сезонного використання та змінного робочого обладнання (снігоочисників, ущільнюючих машин, грейферів, кущорізів, віброочисних машин).

З погляду надійності машина може перебувати в одному з таких станів: справному, несправному, працездатному, непрацездатному і граничному.

**Справний стан** – стан, при якому машина відповідає вимогам нормативно - технічної і конструкторської документації.

**Несправний стан** – стан, при якому машина не задовольняє хоча б одну з вимог нормативно-технічної і конструкторської документації.

**Працездатний стан** – це стан машини, при якому вона може виконувати задані функції, зберігаючи при цьому значення

заданих параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною та конструкторською документацією.

Ознакою порушення працездатності машини є необхідність проведення ремонтних робіт, у той час як проведення ТО не є ознакою порушення її працездатності.

Машина, що знаходиться в експлуатації, при справному стані повинна відповідати всім вимогам нормативно - технічної і конструкторської документації. На відміну від справності працездатність машини характеризує її здатність задовольняти тільки ті вимоги нормативної документації, які забезпечують її нормальне функціонування при виконанні заданих функцій. При цьому вона може не задовольняти, наприклад, вимоги, які стосуються її зовнішнього вигляду (порушення декоративного покриття, вм'ятини та ін.).

**Непрацездатний стан** – стан машини, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризують здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно - технічної і конструкторської документації.

Розрізняють два види **непрацездатного стану**: той, що може бути усунутим, та той, що не може бути усунутим. У першому випадку працездатність об'єкта може бути відновлена при виконанні ремонтних робіт, у другому – відновлення працездатності технічно неможливо (граничний стан об'єкта) або економічно не вигідно, у зв'язку з чим подальше застосування такого об'єкта за призначенням неприпустимо або недоцільно.

**Граничний стан** – стан машини, при якому її подальше застосування за призначенням неприпустимо (недоцільно) або відновлення його справного або працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Таким чином, перехід машини до граничного стану визначається настанням моменту, коли її подальша експлуатація неможлива або недоцільна за однієї або кількох причин:

- стає неможливим підтримання безпеки, безвідмовності або ефективності об'єкта під час експлуатації на допустимому рівні;
- внаслідок зношування і старіння об'єкт прийшов в такий стан, при якому ремонт вимагає великих витрат або не забезпечує необхідний рівень відновлення працездатності.

Перехід об'єкта ( машини) зі справного стану у несправний або працездатний стан називають пошкодженням. **Пошкодження** – подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні його працездатного стану.

Перехід об'єкта в непрацездатний стан з справного, несправного або працездатного стану називають відмовою. **Відмова** – подія, що полягає у порушенні працездатного стану машини. Зростання частоти відмов призводить до погіршення показників ефективності експлуатації машини.

Розрізняють відмову машини в цілому і відмову агрегату, вузла, деталі та ін. Відмова машини обумовлює її вимушений простій у запланований час її роботи. Відмови поділяються на часткові та повні, характеризують часткову або повну втрату машиною своєї працездатності.

**До часткових відмов**, що знижують експлуатаційні якості машини, відносяться відмови, які погіршують такі показники, як час підготовки до роботи (через необхідність проведення незапланованих кріпильних або регулювальних робіт, усунення течі), але допускають її використання протягом деякого часу.

**До повних відмов** відносяться ті, без усунення яких робота машини неможлива або неприпустима (наприклад, руйнування живильної магістралі пневмопривода гальм).

Відмови і несправності, що виникають в процесі експлуатації машини, за виглядом, характером, причинами виникнення, трудомісткістю і вартістю усунення значно різняться між собою. Тому забезпечення експлуатаційної надійності машини неможливо без аналізу відмов, вивчення їх фізичної сутності, частоти повторюваності, трудомісткості усунення, впливу на тривалість простою в ремонті і зміни технічного стану.

Відмови і несправності різних видів мають різні форми прояву (витікання, перегрів, обрив ланцюга, биття, вібрація, шум, ослаблення кріплення з'єднання та ін.).

У таблиці 1 наведені середні показники безвідмовності деяких марок базових тракторів.

Таблиця 1 – Рекомендовані показники безвідмовності базових тракторів будівельних і дорожніх машин [16]

Трактори	Тяговий клас, кН	Марка трактора	Середнє напрацювання на одну відмову II і III груп складності в умовах експлуатації, год	
			реальної	номінальною
колісні	6	T-25	300...400	650...700
	9	ЛТЗ-55 (Т-40А)	260...300	550...600
	14	МТЗ-80, - 82.1	250...300	450...500
	20	ЛТЗ-155	250...280	430...470
	30	T-150К	200...250	400...450
	50	К-701М	200...250	100...450
гусеничні	20	T-70СМ	150...200	300...350
	30	ДТ-75Н	160...220	320...380
	40	T-4А	120...160	250...280

Всі **причини відмов** і несправностей можуть бути віднесені до однієї з наступних трьох основних груп, а саме: конструкційного, виробнично-технологічного та експлуатаційного характеру. Співвідношення частоти відмов різного характеру стосовно тракторів МТЗ-82.1 і Т-130М наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Розподіл відмов для тракторів МТЗ-82.1 і Т-130М залежно від напрацювання, [16]

Інтервал напрацювання, год	Характер відмови		
	конструктивний	виробничий	експлуатаційний
0...1000	1	63	36
1001...2000	5	50	45
2001...3000	6	41	53
3001...4000	9	31	60
4001...5000	11	25	64

Помилками **конструювання** є: недостатня захищеність вузлів тертя; наявність концентраторів напружень; помилкове уявлення щодо характеру розподілу напружень; неправильний

розрахунок несучої здатності; неадекватність розрахункової моделі; неправильний вибір матеріалів та ін.

Найбільш типовими дефектами, що виникають з причин **виробничого та технологічного характеру**, є: відхилення розмірів деталей від креслень; неоднорідність складу матеріалу (наявності включень, домішок та ін.); дефекти, що виникають при плавці і виготовленні заготовок (пористість, усадочні раковини, розшарування); дефекти внаслідок недостатньої точності механічної обробки деталей (опіки, задири, прорізи); дефекти зварювання (тріщини, залишкові напруження, непровар); дефекти структури матеріалу внаслідок порушення режимів термообробки (перегрів, гартівні тріщини, знеуглецювання та т. п.); дефекти, що виникають при обробці поверхонь (воднева хрупкість); недостатня точність складання (пошкодження поверхонь, задири, неправильне установлення деталей, неправильне регулювання).

Основними причинами відмов і пошкоджень **експлуатаційного характеру** є: порушення правил експлуатації машин (наприклад, у непередбачених умовах; перевантаження і непередбачені навантаження (порушення інструкції з експлуатації, неправильні дії оператора; неправильне технічне обслуговування (порушення періодичності та технології ТО, пошкодження виробу або неправильне його установлення при ТО і Р та ін.). Наприклад, при грубих порушеннях режимів ТО елементів повітряного тракту двигуна КамАЗ-740 час напрацювання до його відмови зменшується більш ніж у 2,5 рази. Після пропуску через систему живлення повітрям 120-150 г абразивного пилу шатунно-поршнева група досягає граничного зносу [16].

Недоліки установки рукавів високого тиску (зниження радіуса вигину, тертя по металевих деталях, скручування, кріплення скобами без еластичних прокладок) призводять до збільшення кількості відмов гідросистем машин.

### **3.2 Основні показники надійності**



Надійність машин залежить від безлічі факторів, що характеризують якість її проектування, виготовлення, організацію і умови експлуатації. Тому надійність машин навіть однієї і тієї ж моделі є різною. Характеристики надійності машин, їх деталей, вузлів і агрегатів мають імовірнісний характер. Тому її можна характеризувати тільки шляхом обробки великої кількості даних, отриманих при експлуатації або випробуваннях машин, за допомогою методів теорії ймовірностей і математичної статистики.

З теорії ймовірностей відомо, що явища, які при неодноразовому відтворенні одного і того ж досліду протікають щоразу дещо по-іншому, називаються випадковими. Відмови деталей машин, що відбуваються при їх експлуатації, відносять до випадкових, оскільки виникнення їх у кожному окремому випадку передбачити неможливо.

Ймовірність події прийнято виражати позитивним числом (від нуля до одиниці). Показники надійності оцінюються теоретичними рівняннями або статистичними методами.

**Показники безвідмовності.** Одним з найважливіших показників безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи, тобто ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта (машини, вузла, агрегату, деталі) не виникне. Ступінь розсіювання оцінюється за допомогою безрозмірної характеристики, що називається **коефіцієнтом варіації** і визначається як відношення середнього квадратичного відхилення випадкової величини до середнього напрацювання.

Як показник безвідмовності використовується також **гамма-відсоткове напрацювання** до відмови, тобто напрацювання, протягом якого відмова об'єкта не виникне з вірогідністю  $\gamma$  (у відсотках). До показників безвідмовності відносяться також інтенсивність відмов і параметр потоку відмов.

**Інтенсивність відмов** – умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкта. Вона визначається для певного моменту часу як відношення щільності розподілу напрацювання до відмови до ймовірності безвідмовної роботи за умови, що до цього моменту відмова не виникла.

При оцінці безвідмовності об'єкта використовують середнє напрацювання на відмову, яке визначається як відношення сумарного напрацювання відновлюваних об'єктів до математичного очікування кількості відмов протягом цього напрацювання.

**Параметр потоку відмов** – відношення середньої кількості відмов об'єкта за довільно мале напрацювання до значення цього напрацювання.

Відмови машин усуваються поточним ремонтом. Тимчасова втрата працездатності після виникнення відмови не є ознакою витрачення ресурсу, поки машина не досягла свого граничного стану.

За складністю усунення відмови об'єктів (машин) розподіляють на три групи.

Відмови першої групи складності усувають заміною або ремонтом деталей, розташованих зовні агрегатів, або ж шляхом позачергового проведення ТО. Ці відмови усувають механіки – водії у польових умовах. Відмови другої групи складності усувають заміною або ремонтом легкодоступних складальних одиниць з розкриттям внутрішніх порожнин основних агрегатів. Ці відмови усувають в польових умовах за участю персоналу пересувних майстерень.

Відмови третьої групи складності усувають, розбираючи основні агрегати в умовах ремонтних підприємств .

Усунення відмов другої і третьої груп складності потребує залучення ремонтного персоналу, стаціонарних засобів ремонту і наявності запасних частин. Так, відмови другої і третьої груп складності відбуваються, наприклад, у тракторів МТЗ-82.1 і Т-130М 6 ... 8 разів на рік. Середня тривалість усунення однієї відмови з урахуванням очікування ремонту і запасних частин складає 3 ... 3,5 дні для трактора МТЗ- 82.1 та 5 ... 6 днів – Т-130М [16]. Відмови цих груп найбільшою мірою позначаються на ефективності використання машин.

Приклади класифікації за групами складності відмов будівельних, дорожніх машин та їх агрегатів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Приклади класифікації за групами складності відмов будівельних і дорожніх машин [16]

Група складності	Відмова
1	2
Перша	<p>Спадання, роз'єднання, послаблення натягу ременів, ланцюгів, тросів.</p> <p>Ослаблення кріплення болтів, шплінтів, шпильок, гайок, пружин, тяг, пальців, хомутів, кронштейнів, стійок, підшипників, втулок. Усунення підтікання паливно-мастильних матеріалів, води.</p> <p>Порушення регулювань муфт зчеплення, запобіжних муфт і т.д. Перегрів двигуна, підшипників, муфт, редукторів і т.д. Підгоряння контактів, замикання або пробій електропроводки, порушення регулювань приладів.</p> <p>Заклинювання (заїдання, стопоріння) втулок, роликів, зірочок, шківів, підшипників і т.д.</p> <p>Втрата працездатності метизів.</p>
Друга	<p>Деформація деталей (валів, осей, шнеків, стійок, кожухів, штанг, підвісок та ін.), розташованого у легкодоступних місцях. Тріщини. Злам або знос деталей (валів, ременів, зірочок, шківів, карданів, шестерень, ножів відвалів і зубів ковшів, стійок, кронштейнів, кожухів, маслопроводів і шлангів гідросистем, тяг, трубок, планок і т.д.), розташованих у легкодоступних місцях, для відновлення яких потрібна заміна або зварювання (наплавлення).</p> <p>Порушення регулювань вузлів і механізмів, розташованих у важкодоступних місцях (вимагається розкриття внутрішніх порожнин основних агрегатів, але без їх розбирання). Тріщини рами машини (без необхідності розбирання).</p>

Продовження таблиці 3

1	2
Третя	<p>Тріщини або злам рами або рам агрегатів (з розбиранням). Злам, знос деталей, для відновлення яких потрібна розборка основних агрегатів із заміною деталей (диски муфти зчеплення, шестерні коробок передач і редукторів, вали двигунів, насоси, вентилятори і т.д.).</p> <p>Втрата працездатності машини, що вимагає заміни агрегатів, вузлів, механізмів і базисних деталей (двигуна, насоса, вентилятора, коробки передач, редуктора, муфти зчеплення, рами, ведучих і ведених валів коліс і т.д.).</p>

**Показники довговічності.** До основних показників довговічності машини відносяться ресурс і термін служби. **Ресурс** – це сумарне напрацювання вузлів устаткування від початку їх експлуатації чи поновлення їх працездатного стану після ремонту до переходу їх до граничного стану. Ресурс характеризує ступінь відновлення роботоздатності машини або її складових внаслідок ремонту. **Термін служби** – календарна тривалість експлуатації технічного пристрою (обладнання) до настання граничного стану, при досягненні якого експлуатація обладнання повинна бути припинена незалежно від його технічного стану.

Серед показників ресурсу розрізняють **середній ресурс**, який являє собою математичне сподівання ресурсу, і **гамма – відсотковий ресурс**, який визначається як напрацювання, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану із заданою ймовірністю « $\gamma$ », визначеною у відсотках. У нормативних конструкторських документах, як правило, вказується 90-відсотковий ресурс, а для систем, вузлів і деталей, що впливають на безпеку роботи машини, – 95 відсотковий.

Найбільш часто оцінка довговічності машини проводиться за середніми показниками надійності (для визначення обсягу виробництва запасних деталей; планування ремонтів; поповнення парку; розрахунків, пов'язаних з оцінкою техніко-економічної ефективності робіт з підвищення довговічності, та ін.).

Встановлено, що вироблення ресурсу (досягнення граничного стану) вантажного автомобіля настає при досягненні граничного стану його рами; витрати на запасні частини для автомобіля при виконанні поточного ремонту становлять більш ніж 25 % від його загальної вартості (без врахування вартості зношених шин, акумуляторних батарей, ламп, електропроводки та додаткового спорядження) [17].

Граничний стан основних агрегатів визначається необхідністю повного розбирання та ремонту базових і основних деталей або за нормативними діагностичними параметрами агрегатів машин.

**Показники ремонтпридатності.** До показників ремонтпридатності відносять контролепридатність, відновлюваність, взаємозамінність, блочність, легке знімання і доступність. Ці показники визначають ступінь пристосованості конструкції машини або вузла до виконання з найменшою трудомісткістю необхідних операцій щодо попередження (технічне обслуговування) та усунення (ремонт) несправностей і відмов.

Одним з показників технічного прогресу в машинобудуванні є збільшення періодичності ТО обслуговувань машин. Періодичність ТО є показником, який визначає досконалість конструкції машини і відповідність її вимогам експлуатаційної технологічності. Наприклад, періодичність технічного обслуговування великовантажних автомобілів МАЗ за останні роки зросла в середньому в 1,5 рази [17]. Для створення машин з більш високою періодичністю ТО необхідно розширити виробництво нових зносостійких матеріалів, удосконалити конструкцію ущільнень вузлів, різьбових з'єднань, самозмащувальних деталей, а також застосовувати високоякісні мастильні матеріали.

Питома оперативна трудомісткість ТО і Р визначається конструкцією машин та їх технічним станом. Наприклад, показники трудомісткості ТО і Р в залежності від класу та виду автомобіля наводяться у ГОСТ 21624-81 [18], будівельних машин – у рекомендаціях МДС 12.8.2007 [12]. Так, для легкових автомобілів з робочим об'ємом двигуна 1,2...1,8 л питома трудомісткість ТО повинна бути не більше 8 люд.год/тис. км, а

поточного ремонту – не більше 2,3 люд.год/тис. км [17]. Для одноковшевих екскаваторів залежно від розмірної групи та ємності ковша рекомендована питома трудомісткість ТО становить 2,4...9,6 люд.год на кожні 100 годин роботи [12].

При розробці конструкцій машин прагнуть до того, щоб полегшити виконання найбільш трудомістких операцій ТО і Р. Так, у загальному обсязі робіт з ТО вантажних автомобілів питома вага мастильних робіт становить 20 ... 30 %, кріпильних – близько 20 %, контрольних – 25 %, електротехнічних – 15 % [17]. Тому зниження трудомісткості цих робіт є найбільш актуальним завданням .

Точне обґрунтування періодичності та обсягу робіт з проведення ТО машин для різних умов експлуатації є практично неможливим, тому у нормативній документації такі рекомендації вказуються за статистичними результатами досліджень. У зв'язку з цим значення, наведені у нормативній документації за періодичністю та обсягом робіт, слід розглядати як орієнтовні і в тому випадку, якщо є можливість засобами діагностування перевіряти дійсну необхідність таких робіт, то це є можливістю виявлення значних резервів для зниження їх трудомісткості.

Діагностування розподіляють на загальне і поелементне (поглиблене). При загальному діагностуванні виявляють технічний стан систем, які забезпечують безпечність виконання робіт і придатність машини до експлуатації. При поелементному діагностуванні машини визначається технічний стан усіх агрегатів і систем, уточнюється перелік та обсяг робіт з її ТО і Р.

Тому пристосованість до проведення діагностичних робіт також є важливою вимогою до конструкції машини. У ній повинні бути передбачені певні місця для підключення датчиків (у паливній магістралі, системі охолодження, у пневматичній системі гальмівного приводу і т. п.). Загальне число діагностичних параметрів і об'єктів відповідного підключення стосовно автомобіля МАЗ, наприклад, становить 55...65 [17].

Пристосованість машин до проведення діагностування сприяє зменшенню приблизно на 30 % потреби у кваліфікованих механіках при одночасному підвищенні ефективності та точності перевірок. Вартість робіт з перевірки основних систем, наприклад, автомобіля у порівнянні із звичайними методами

знижується на 70...75 %, майже удвічі зменшується кількість виконуваних операцій [17].

Важливе значення має і компоновка автомобіля. Так, наприклад, при однаковій конструкції двигуна компоновка вантажного автомобіля за схемою «кабіна над двигуном» сприяє зниженню приблизно на 25% трудомісткості ТО двигуна [17].

### **3.3 Методи оцінки показників надійності**

Числові показники надійності машин визначають за результатами спостережень в умовах експлуатації. При дослідженні експлуатаційної надійності визначають безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність машин, їх окремих агрегатів, вузлів і деталей, а також техніко-експлуатаційні та економічні показники.

Особливе значення має виявлення деталей, які обмежують загальну надійність машин. Цей пошук проводиться в такій послідовності:

а) виявляються деталі, які обмежують безвідмовну роботу вузла, системи або агрегату. Такими є деталі і вузли, 7-відсотковий ресурс яких за певний період роботи машини виявляється нижчим, ніж 90 % (для відповідальних деталей - нижчим 95 %) [17];

б) визначаються деталі і вузли, що лімітують довговічність агрегатів машини, тобто такі, ресурс яких є меншим за ресурс агрегату або машини до капітального ремонту;

в) за виявленими у пп. 1,2 деталями і вузлами, проводять розрахунки трудових та матеріальних витрат на усунення відповідних відмов.

На основі проведеного дослідження визначаються деталі і вузли, які обмежують надійність агрегатів машини. Стосовно автомобілів до таких відносять деталі і вузли, відмови яких становлять не менше 50% від загальної кількості відмов, а витрати на усунення цих відмов, тобто на запасні частини та роботу із заміни деталей, – не менше 70 % від загальної суми витрат.

Показникам надійності різних агрегатів машин характерні певні закономірності, які описуються математичними моделями - **законами розподілу.**

**Нормальний розподіл** (рисунок 5, в) відмов має місце у випадках, коли відмова обумовлена великою кількістю факторів, які мало залежать один від одного, причому жоден з них не є переважним, а частка раптових відмов дуже мала. До таких відмов відносяться, наприклад, відмови, пов'язані з явищами зношування (накладок гальмівних механізмів, підшипників тощо) і старіння матеріалів. Цьому закону також підпорядковуються помилки під час вимірювань.

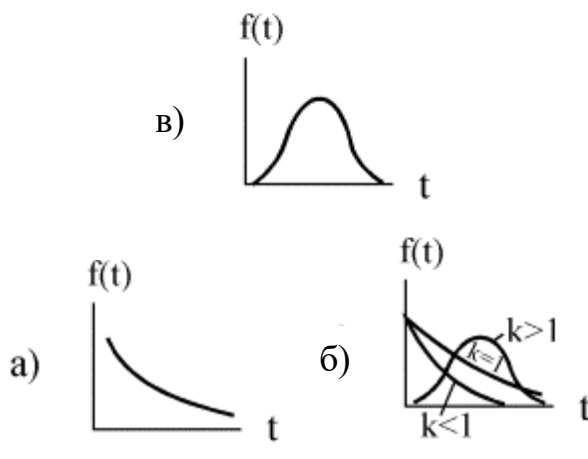


Рисунок 5 – Криві розподілу випадкової величини:  
 а) експоненціального; б) Вейбулла в) нормального закону

**Експонентний закон** (рисунок 5, а) розподілу відмов характерний для невідновлювальних виробів (кріпильні деталі, ущільнення), а також складних систем, що складаються з великої кількості деталей.

Середня тривалість безвідмовної роботи елемента дорівнює повній площі, обмеженій кривою надійності і осями координат.

Розподіл Вейбулла (рисунок 5, б) характеризує явища, пов'язані з порушенням працездатності конструктивних елементів машин внаслідок поєднання зносу і втомних пошкоджень.

Згідно з дослідженнями [17], для 60 % деталей автомобіля розподілення відмов підпорядковується закону Вейбулла, для 35 % – нормальному закону, для 3 % – експоненціальному і для 2 % – логарифмічно нормальному.

Закони розподілу ресурсів виробів залежать від їх навантаженості та методів випробувань (стендових, полігонних,



експлуатаційних). Знання закономірностей виникнення відмов дозволяє вирішувати практичні завдання у сферах виробництва і експлуатації машин. Так, симетричні розподіли напрацювань на відмову, як правило, свідчать про певну досконалість конструкції, і подальше підвищення напрацювання такої машини може бути досягнуто на шляху вдосконалення режимів та технології ТО і Р. Крім того, ця інформація може бути використана для визначення обсягу ремонтних робіт.

Асиметричні закони розподілу напрацювань вказують на:

- конструктивні недоліки відповідних деталей і вузлів машин;
- некваліфіковане управління машиною;
- порушення правил технічної експлуатації.

Таким чином, вивчення законів розподілу напрацювань на відмову має велике практичне значення, оскільки воно дозволяє:

- вивчити природу відмов та їх фізичну сутність;
- узагальнити відмови із загальними закономірностями розподілу напрацювань та виробити стратегію їх попередження;
- підвищити точність розрахунків з надійності і обсягу ремонтних робіт, моделювати і прогнозувати відмови, а також удосконалювати існуючу систему ТО і Р.

### **3.4 Нормування показників надійності машин**

Одним з напрямків підвищення надійності машин є визначення норм надійності за основними показниками і розробка відповідної нормативно-технічної документації. Під нормами надійності розуміють перелік показників та їх чисельне значення для оцінки надійності машин при виконанні робіт у заданих умовах і режимах експлуатації.

Норми надійності розраховують таким чином, щоб забезпечити працездатність машини на період до першого капітального ремонту. Показники надійності нормують на стадії розробки технічного завдання та проектування машин. В основу розрахунків показників надійності закладають умову забезпечення максимальної ефективності використання машин в експлуатації.

Під максимальною **ефективністю використання машини** мають на увазі виконання нею за заданий період найбільшого

обсягу робіт з мінімальними матеріальними витратами. Це можливо тільки за умови високої довговічності, безвідмовності і ремонтпридатності техніки.

Нормування показників надійності дозволяє:

- координувати зусилля різних підприємств, що спрямовані на підвищення надійності комплектуючих вузлів машин;
- науково обґрунтувати витрати, необхідні для підвищення надійності елементів машин.

При нормуванні показників надійності вирішуються два завдання – визначення номенклатури показників і встановлення їх нормативних числових значень. Порядок вибору номенклатури показників і визначення норм надійності машин та устаткування встановлюється в основному в залежності від умов їх використання, можливих наслідків появи відмови і граничного стану, а також можливості відновлення виробу після відмови. При цьому задаються тільки ті показники, забезпечення яких істотно впливає на експлуатаційні характеристики машини і значення яких можна проконтролювати.

Для визначення стратегії нормування надійності підйомно - транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання класифікуються за характером використання на три типи [19].

Рекомендована номенклатура нормованих показників надійності техніки наведена в таблиці 4.

Таблиця 4 – Перелік нормованих показників надійності [19]

Найменування машин	Визначальний фактор щодо оцінки наслідків відмови	Показники, що нормуються
1	2	3
Перша група		
Будівельний механізований інструмент	Наявність відмови незалежно від тривалості простою	$T_{\gamma\gamma}$ – гамма-відсотковий ресурс; $T_{\text{ср}}$ – середній ресурс; $T_{\text{сл}}$ – середній строк служби

Продовження таблиці 4

1	2	3
Друга група		
<p>Машини (крани, екскаватори, землерийно-транспортні машини, машини для приготування і вкладання покриття, обладнання для бетонних робіт, палубійне обладнання, вібромашини, оздоблювальні машини), машини і обладнання для прибирання, санітарного очищення міст, обладнання для промисловості будівельних матеріалів та ін.</p>	<p>Вимушений простій</p> <p>Наявність відмови та вимушений простій</p>	<p><math>T_{py}; T_{pcp}; T_{cl}; K_z</math> – коефіцієнт готовності;  <math>K_{mi}</math> – коефіцієнт технічного використання</p> <p><math>T_{py}; T_{pcp}; T_{cl}; K_z</math>  ;<math>K_{mi}</math></p>
Третя група		
<p>Прилади безпеки, ліфти, будь-які машини спеціального призначення</p>	<p>Невиконання виробом заданих функцій у повному обсязі</p> <p>Невиконання виробом заданих функцій у певний період часу</p>	<p><math>T_{py}; T_{pcp}; T_{cl}; p(t)</math> - ймовірність безвідмовної роботи</p> <p><math>T_{py}; T_{pcp}; T_{cl}; K_{oz}</math> – коефіцієнт організаційної готовності</p>

До **першого типу** відносяться машини, ефективність яких оцінюється економічними критеріями (верстати, дорожньо-будівельна техніка, внутрішньоцеховий транспорт та ін.). При

відмові машин цього типу виникають збитки, пов'язані з витратами на ремонт і відсутністю доходу внаслідок простою (недоотриманий прибуток) .

При нормуванні показників надійності для машин **другого типу**, від функціонування яких залежить безпека людей і навколишнього середовища, необхідно виявити всі варіанти небезпечних відмов і на підставі цього сформулювати показники надійності для машини в цілому і окремих, найбільш відповідальних її елементів.

До **третього типу** відносяться машини, що мають широку сферу застосування (мобільні стрілові крани, універсальні агрегати тощо) .

### **3.5 Заходи для підвищення надійності машин**

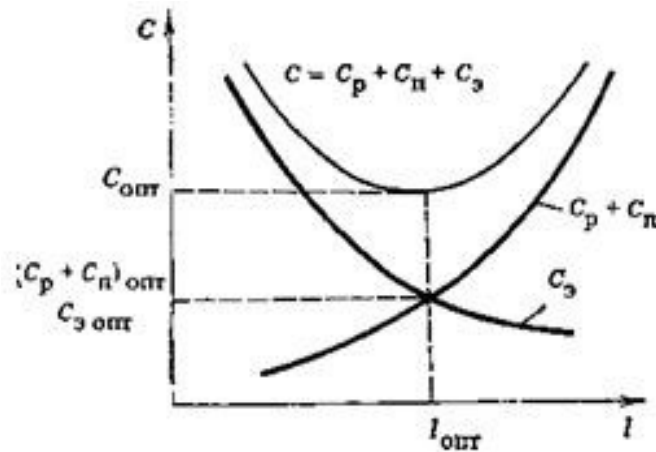
Вирішення завдання підвищення ефективності експлуатації машин вимагає постійної роботи з поліпшення їх надійності. Створення машин з високою надійністю може бути забезпечено при комплексному підході до вирішення цього завдання на всіх етапах «життєвого циклу»: при її конструюванні, виготовленні та експлуатації.

При сучасному розвитку науки і техніки можливе створення машин практично з будь-якою надійністю. Але підвищення надійності не є самоціллю. По мірі підвищення надійності витрати на конструювання і особливо на виробництво зростають, а на експлуатацію – знижуються. Тому бажаним є створення машин з оптимальним поєднанням витрат у виробництві та у експлуатації, а в кінцевому підсумку – з мінімальними сумарними питомими витратами на придбання і підтримку у працездатному стані за весь період експлуатації (рисунок 6).

Необхідний рівень надійності машини закладається на **етапі проектування**. Це досягається такими заходами:

а) використанням найбільш раціональних принципів і конструкторських схем, які забезпечують сприятливі умови для роботи окремих вузлів, агрегатів і систем машини; пристосованістю машини до усунення відмов і несправностей шляхом проведення ТО і Р;

б) застосуванням методу агрегування, при якому утворюється єдиний типовий ряд машин різного призначення, складених з уніфікованих вузлів. Висока надійність вузлів досягається також при широкому використанні стандартизованих, нормалізованих, уніфікованих елементів.



$C_p$  – витрати на розробку;  $C_n$  – на виробництво;  
 $C_o$  – на експлуатацію;  $C$  – сумарні витрати

Рисунок 6 – Залежність витрат на розробку, виготовлення і експлуатацію машини від її ресурсу

в) спрощенням конструкції машини, застосуванням мінімальної кількості деталей і конструктивних елементів. Важливо також використання у машині відпрацьованих заздалегідь вузлів, висока надійність яких практично доведена на попередніх серійних моделях конструкцій деталей;

г) забезпеченням безвідмовності окремих систем машини за рахунок резервування елементів. Найчастіше це застосовується до найбільш відповідальних вузлів. Прикладом такого резервування є здійснення роздільного привода гальмових механізмів передніх і задніх коліс, що виключає аварійну відмову системи у разі відмови одного з приводів;

д) забезпеченням високої міцності деталей без збільшення їх маси (наданням їм раціональної форми, застосуванням матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями);

е) підвищенням зносостійкості деталей шляхом правильного вибору розмірів сполучених деталей, підбору їх матеріалів,

використанням ефективних технологічних методів зміцнення та підвищення зносостійкості поверхонь тертя;

ж) виключенням або максимальним зменшенням концентрації напружень у найбільш навантажених і відповідальних деталях машини (за рахунок плавного переходу від одного елемента деталі до іншого; забезпеченням відповідної шорсткості і термообробки та ін.);

к) забезпеченням можливості сприйняття високих циклічних і динамічних навантажень для деталей основних вузлів машини (наприклад, за рахунок їх виготовлення з матеріалів, що мають високим опором до втоми і ударною в'язкістю);

л) виключенням можливості різкого зростання навантажень у конструкції машини їх пом'якшенням за рахунок застосування гідромеханічних передач, демпферних пристроїв, еластичних підвісок та ін.;

м) забезпеченням необхідної жорсткості деталей за рахунок доцільних форм і раціонального розташування опор, що особливо важливо, наприклад, для надійної роботи зубчастих коліс і підшипників;

н) зниженням напружень у несучих деталях машин за рахунок раціонального вибору їх розмірів і форм, які забезпечують достатню жорсткість у поєднанні з необхідною податливістю елементів;

п) вибором конструкції, що забезпечує складання деталей тільки у певному положенні, якщо інше положення може призвести до їх поломки або зниження надійності;

р) забезпеченням надійного затягування різьбових з'єднань, у відповідальних з'єднаннях – усуненням можливості самовідвертування, для сполучень, які не потребують частого розбирання - застосуванням само стопорних кріпильних деталей;

с) попередженням корозії деталей за рахунок ефективного антикорозійного захисту;

т) створенням умов для оптимальних температурних режимів роботи трибосполучень (наприклад, підбором рівня мастила у агрегаті, ефективним підведенням мастильного матеріалу і надійним ущільненням, що виключає його втрати). Застосуванням ущільнювальних манжет і кілець з матеріалів, що не втрачають еластичність при зміні температури навколишнього

середовища, для ущільнення фланцевих та різьбових з'єднань – відповідних герметиків ;

у) забезпеченням ефективного очищення повітря, палива і мастил;

ф) створенням умов для того, щоб наслідки відмови були б мінімальними;

х) вдосконаленням експлуатаційної технологічності; поліпшенням пристосованості конструкцій машини до виконання з найменшою трудомісткістю необхідних операцій щодо попередження та усунення несправностей і відмов.

Проведення вищенаведених заходів на етапі проектування машин сприяє зниженню швидкості зношування їх елементів, параметрів стану і скороченню кількості відмов. Це приводить до зростання напрацювання між відмовами, а також до скорочення кількості ТО і Р, їх трудомісткості, тривалості та собівартості.

Важливу роль для вирішення завдання створення машин з бажаним рівнем надійності відіграють заходи, що проводяться **на стадії виробництва**. Багато в чому ці заходи пов'язані з використанням прогресивних технологічних процесів. За рахунок таких заходів на стадії виробництва машин створюються умови для бездефектного виготовлення деталей і складальних одиниць відповідно до вимог конструкторської документації.

**Технологічність конструкції виробу** – це сукупність її властивостей, які забезпечують мінімальні витрати праці, засобів, матеріалів і часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті. Підвищення точності виготовлення сприяє підвищенню надійності і довговічності виробів. Встановлено, що підвищення точності виготовлення деталей підшипника і скорочення зазора між тілами кочення і біговими доріжками з 20 до 10 мкм сприяє збільшенню терміну служби підшипника майже удвічі (з 740 до 1210 годин).

Виготовлення деталей по розширених допусках є простішим, але обумовлює зниження їх гарантованої точності і, отже, довговічності машини. Однак, виготовлення деталей з більш високим квалітетом точності пов'язано з великими трудомісткістю та витратами на обладнання, що збільшує собівартість виробу. Тому підхід «чим точніше, тим краще»

взагалі вважається помилковим, який свідчить про відсутність знань дійсних умов експлуатації виробу.

Отже, при проектуванні необхідно встановлювати відповідні функціональному призначенню деталі або складальної одиниці раціональні квалітети (класи) точності і чистоту обробки, граничні відхилення форми і розташування поверхонь. Наприклад, зубчасті колеса, виготовлені з невеликою точністю, не можуть працювати при високих швидкостях обертання, оскільки при цьому у передачі виникають додаткові ударні навантаження.

Забезпечення заданих точності виготовлення, геометричної форми і шорсткості поверхонь сполучених деталей сприяє підвищенню надійності підшипникових вузлів і зносостійкості опорних поверхонь. Граничний стан деталей в більшості випадків викликається недостатньою зносостійкістю, яка багато в чому залежить від прийнятої технології їх виготовлення. До основних технологічних факторів, що найбільш впливають на зносостійкість, відносяться:

- якість матеріалу деталі, особливо її поверхневого шару;
- шорсткість поверхонь тертя;
- точність розмірів і геометричної форми;
- якість складання.

Крім того, підвищення зносостійкості може бути досягнуто за рахунок поверхневого зміцнення деталей машин. Методи зміцнення є різними:

- поверхневе пластичне деформування (дрібоструменева і піскоструменева обробка, накатування, волочіння, калібрування, відцентрово-кулькова обробка, зміцнення вибухом та ін.);
- поверхневе загартування, наприклад струмами високої частоти;
- комбіновані методи – термічна обробка та пластичне деформування;
- хіміко-термічна обробка (цементация, азотування, борирування та ін.);
- дифузійне насичення поверхневих шарів деталей;
- зміцнення поверхневих шарів деталей нанесенням твердих зносостійких покриттів;
- методами лазерної або електронно-променевої обробки.



Таким чином, завдання конструктора і технолога – раціонально на основі техніко-економічного аналізу вирішувати протиріччя між експлуатаційними вимогами та технологічними можливостями, виходячи, насамперед, з виконання експлуатаційних вимог. При такому аналізі повинні враховуватися всі елементи витрат, включаючи витрати на розробку, на виробництво і пов'язані з експлуатацією машини.

Для підвищення надійності деталей машин використовують, наприклад, такі **технологічні методи обробки**.

а) для зубчастих коліс і валів, коробок передач і роздавальних коробок застосовують хіміко-термічну обробку – цементацію (високотемпературне насичення низьковуглецевих сталей вуглецем) і загартування. Такий обробці піддаються деталі з високолегованих сталей. Цей метод хіміко-термічної обробки забезпечує високу зносостійкість і згинальну і контактну міцність зубів циліндричних шестерень.

Шевінгування зубів сприяє підвищенню чистоти їх поверхні, усуненню похибок профілю і розмірів. Однак більш істотним резервом підвищення довговічності зубчастих коліс є застосування зубошліфування. Крім того, для зменшення концентрації навантаження зубам циліндричних коліс надають бочкоподібної форми, при якій товщина зуба зменшується від середини до торців (наприклад, у зубчастих коліс головної передачі автомобілів КрАЗ – на 0,08 мм). Бочкоподібна форма зуба дає можливість стабілізувати площу плями контакту в середній частині зубів і тим самим збільшити довговічність передачі за рахунок зменшення контактних напружень і напружень при згині зубів, поліпшити їх припрацювання, зменшити шум під час роботи.

Застосовують також зміцнення шестерень за допомогою поверхневого наклепу методом дрібоструменевої обробки (міцність зубів шестерень на згин підвищується на 10 ... 15 %, а контактна міцність – на 15 ... 25 %) [17]. Довговічність зубчастих коліс також залежить від методів отримання заготовок. Так, при виготовленні зубчастих коліс методом гарячої накатки міцність зубів підвищується на 15...40 % за рахунок розташування волокон металу по контуру зуба і виникнення корисних напружень тиску в його поверхневих шарах [17];

б) для шліцьових з'єднань валів трансмісії машин вимагається висока точність виготовлення, особливо розмірів діаметра шліців, оскільки збільшення зазора в цьому з'єднанні призводить до зростання швидкості їх зношування;

в) прогресивним технологічним процесом чистової обробки є метод поверхневого пластичного деформування. Він забезпечує отримання заданої шорсткості поверхонь і одночасно – ефекту зміцнення. Утворені при цьому мікронерівності сприяють збільшенню площі несучої поверхні і, відповідно, зменшенню тиску в зоні контакту пари тертя, а утворення рельєфу з великими радіусами виступів і западин сприяє утримуванню мастильного матеріалу на поверхні тертя. Зміцнення деталей цими методами відбувається за рахунок наклепу, при якому в поверхневому шарі деталі утворюються залишкові напруження тиску і підвищується його твердість.

Обробці пластичним деформуванням піддаються сталеві деталі з твердістю до 40...45 HRC, деталі з чавуну, алюмінієвих сплавів і кольорових металів. Накочування забезпечує можливість отримання поверхонь з параметром шорсткості  $R_a = 0,4 \dots 0,05$  мкм при початковій шорсткості 6,3 ... 1,6 мкм і зміцнення поверхневого шару на 15...20 % [17]. Цей метод застосовується для обробки посадочних поверхонь під підшипники маточин коліс, гальмівних барабанів, деталей карданної передачі, рульового управління, підвіски, гідравлічних і пневматичних пристроїв;

г) усе більше застосування для деталей машин знаходить лазерне та електронно-променеве термозміцнення. В автомобілебудуванні ці технології використовуються для зміцнення поршневих кілець і канавок для них, кульових шарнірів, клапанів, штовхачів та інших деталей. Твердість зміцненого шару деталей становить 61...64 HRC;

д) дрібноструменева обробка листів ресори з одного або двох боків забезпечує підвищення довговічності ресори за рахунок створення залишкових стискаючих напружень. Однак для реального підвищення довговічності ресор необхідно також збільшити зносостійкість вкладишів опори ресори, які працюють у парі з корінними листами. Зазвичай для їх зміцнення застосовують індукційне загартування, СВЧ або цементацію.

Більш ефективним способом є застосування плазмового і газополум'яного напилення різних матеріалів з наступним їх оплавленням. Пальці вушка задньої ресори, зміцнені нанесенням зносостійкого матеріалу, мають підвищену майже в чотири рази зносостійкість у порівнянні з пальцями, поверхня яких загартована СВЧ. Одночасно з цим твердість втулки має бути збільшеною до 57...61 HRC [17];

е) ефективним методом підвищення зносостійкості деталей машин є високотемпературне напилення на поверхні сплавів, які мають здатність самофлюсування. Дослідження показали, що зносостійкість напиленого і оплавленого покриття з сплавів, що самофлюсуються, в умовах абразивного зношування в 2...3 рази вища, ніж у сталі 45, загартованої до твердості 47...49 HRC. Цей метод використовується, зокрема, для напилення поверхні зів буксирного гака автомобілів МАЗ, що забезпечило не менше ніж чотирикратне збільшення довговічності гака у порівнянні з попередньою технологією (об'ємне загартування та відпуск) [17].

Таким чином, заходи, що проводяться на етапах проектування та виготовлення, утворюють собою **перший напрямок** з управління технічним станом і надійністю машин.

**Інший напрямок управління технічним станом і надійністю машин** полягає у впливі на швидкість процесів змін структурних параметрів стану їх елементів. Шляхом вибору оптимальних допустимих відхилень структурних параметрів технічного стану, зміни міжконтрольного напруження, підвищення ступеня відновлення вихідних характеристик при ТО і Р, попереджувальної заміни недовговічних складових частин, що мають більш високі швидкості зношування, можна збільшити напруження між відмовами, зменшити середню швидкість зміни параметрів стану машини. Ці заходи проводять під час експлуатації.

Таким чином, тільки спільна робота конструкторів та фахівців у галузі виробництва і експлуатації, а також правильна організація цієї роботи на усіх стадіях дозволяє знайти оптимальні шляхи забезпечення необхідної надійності машин.

Заходи з покращення надійності машин на етапі експлуатації подаються далі.

### 3.6 Підвищення надійності машин на етапі експлуатації

Упродовж періоду експлуатації управління надійністю і технічним станом машини здійснюється шляхом контролю стану, призначення та проведення ремонтно-обслуговуючих робіт, які попереджають відмови або усувають їх наслідки. Завдяки проведенню відповідних технічних заходів ресурсні та функціональні параметри машин відновлюють до рівня номінальних або близьких до них значень. При цьому відновлюється технічний ресурс та забезпечується висока ймовірність безвідмовної роботи складових частин машин.

Для підтримки і відновлення заданого або оптимального рівня працездатності машин в період експлуатації застосовується комплекс керуючих показників, які характеризують технічний стан і надійність об'єкта, а саме:

- граничні і допустимі відхилення параметрів;
- час між контрольного напрацювання;
- середнє напрацювання на відмову;
- залишковий ресурс до ремонту;
- термін служби машини до списання;
- сумарні витрати на ТО і Р.

Крім того, у період експлуатації для забезпечення мінімальної трудомісткості ТО і Р в конструкції машин слід передбачати:

- мінімальну кількість деталей і точок, які вимагають ТО (змащування, кріплення, регулювання, догляду);
- доступність до обслуговуваних вузлів і простоту виконання кожної операції ТО і Р ;
- можливість усунення несправності або відмови без розбирання вузла і з мінімальним розбиранням інших вузлів;
- максимальну уніфікацію вузлів, деталей, кріпильних з'єднань, інструменту, пристосувань, приладів, необхідних для ТО і Р, мінімальну потребу у спеціальному інструменті;

- обмежену номенклатуру палив, мастильних матеріалів і рідин; легких у зніманні агрегатів і деталей, які піддаються частому демонтажу;

- забезпечення вільного доступу механізованим інструментом до кріпильних з'єднань;

- застосування в конструкціях складальних одиниць спеціальних пристосувань для швидкого і зручного під'єднання стандартної діагностичної апаратури.

До основних напрямів підвищення надійності відремонтованих машин відносяться такі:

а) проведення передремонтного діагностування для визначення необхідного ремонтного впливу і розбирання відповідних агрегатів машин. Виконання робіт з прогнозування технічного стану та показників надійності;

б) організація, розвиток і збереження ремонтного фонду підприємства;

в) виконання розбірних робіт без пошкодження деталей і розукомплектування відповідних пар. Для виключення пошкодження деталей при розбиранні слід використовувати знімачі (гвинтові, гідравлічні), преси, стенди та інші засоби механізації.

При демонтажі підшипників кочення не можна передавати зусилля на кільця через тіла кочення. Застосування контейнерів для збереження комплектів деталей. Виключити випадки розукомплектування вузлів (блоку циліндрів і кришки підшипників колінчастого вала, шатунів і їх кришок, пари зубчастих коліс);

г) якісне очищення машин, агрегатів і деталей від накипу, нагару, асфальтосмолистих та інших забруднень. При цьому, наприклад, ресурс двигуна ЯМЗ-240 можна збільшити на 25...30 % [19];

д) контроль і дефектація деталей. Поряд з універсальними вимірювальними інструментами (мікрометрами, індикаторами) використовувати граничні інструменти (пробки, калібри, скоби) і засоби пневматичного контролю, що забезпечують підвищення точності вимірювань до 0,01...0,001 мм. Для виявлення прихованих дефектів застосовувати методи магнітної,

люмінесцентної, ультразвукової дефектоскопії та гідравлічного опресування;

е) виконання на ремонтних підприємствах вхідного контролю запасних частин (за розмірами, геометричною формою, твердістю, відповідністю технічним вимогам);

ж) підбір деталей циліндро-поршневої групи (поршнів, шатунів, поршневих пальців) за масою;

к) динамічне балансування колінчастих та карданних валів, вузла зчеплення, коліс автомобілів та інших деталей і складальних одиниць;

л) дотримання регламентованих зазорів і натягів у з'єднаннях, зусиль затягування різьбових з'єднань. Так, зазор між шийкою і вкладишем колінчастого вала двигуна ЯМЗ-240 має бути 0,056...0,114 мм. Перевищення цього зазора при складанні призводить до зниження ресурсу двигуна, а зменшення – до задиру вкладишів під час обкатки двигуна;

м) забезпечення необхідної герметизації агрегатів і складальних одиниць;

н) стендова обкатка і випробування агрегатів і машин;

п) підвищення якості фарбування відремонтованих машин за рахунок кращої підготовки поверхонь, застосування ефективних грунтів і емалей, фарбування окремо агрегатів і машин в зборі, впровадження прогресивних методів фарбування гідродинамічним розпиленням, в електростатичному полі та ін.

Проведення вищезгаданих та інших заходів на етапах проектування, виготовлення та експлуатації має на меті, врешті-решт, підвищення якості машини. В період використання машини за призначенням одною з найважливіших складових якості машини постає її експлуатаційна надійність.

Високий рівень надійності машини в період експлуатації визначається насамперед якістю обраної на підприємстві стратегії щодо її технічного обслуговування та ремонту. Отже, за допомогою тієї або іншої стратегії утримання машини можна досягнути певного рівня ефективності використання окремої машини або машинного парку підприємства, тобто інструментом управління ефективністю використання машини на підприємстві є система певних заходів з технічної експлуатації, а якість

процесу такого управління визначається якістю застосовуваної системи.

Таким чином, далі слід розглянути технічну експлуатацію машини як певну систему управління.

## **Тема 4. ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ МАШИН**

### **4.1 Управління експлуатаційною надійністю машин**

Управління експлуатацією машин здійснюється з метою поліпшення їх працездатності, яка, у свою чергу, оцінюється певним рівнем показників експлуатаційної надійності.

Під **експлуатаційною надійністю** машини розуміється її здатність зберігати свою працездатність при використанні за певний проміжок часу.

Характеристики експлуатаційної надійності у порівнянні з іншими характеристиками машини мають найбільший вплив на економічний успіх застосування цієї машини споживачем. Зокрема, підвищення рівня експлуатаційної надійності машини дозволяє:

- підвищити продуктивність праці та рентабельність виробництва;
- знизити собівартість виконання робіт;
- забезпечити виконання запланованих обсягів робіт;
- зменшити кількість машин, що виконують запланований обсяг робіт;
- поліпшити ліквідність машин;
- знизити психологічні навантаження персоналу.

Експлуатаційна надійність машин безпосередньо впливає на їх моральну довговічність: властивість виробу вважатися «досконалим», бути конкурентоспроможним і успішно експлуатуватися протягом максимально тривалого терміну. Прикладом високої моральної довговічності є розроблений в 1947 р. конструкторським бюро О. Антонова універсальний транспортно-пасажирський літак АН-2, що й донині експлуатується в країнах СНД та у багатьох країнах світу.

Формування фактичних показників технічного стану машин відбувається, з одного боку, під впливом процесів експлуатації, а з іншого – процесів ТО і Р.

Тому **управління експлуатаційною надійністю** машин може здійснюватися двома шляхами (рисунок 7). **Перший шлях** (група А) полягає у впливі на параметри процесів експлуатації з метою зниження швидкості погіршення параметрів технічного стану (зношування, зміни заданих параметрів регулювань та ін.). **Другий шлях** (група Б) передбачає підтримку і відновлення певного рівня технічного стану машин за допомогою проведення ТО і Р.

Найбільш впливовими на першому шляху управління (група А, рисунок 7) є заходи, які проводяться на етапах проектування та виробництва машин. Саме на цих етапах у конструкцію машини закладається певний рівень надійності на етапі її експлуатації за умови дотримання вимог нормативно-технічної експлуатації.

Однак незалежно від первинного рівня надійності в процесі використання машини структурні параметри окремих елементів, а також машини в цілому поступово погіршуються. Наслідками такого процесу є незадовільний рівень структурних параметрів машини, який в певних межах може бути усунутим на другому шляху управління (група Б, рисунок 7) заходами ТО і Р. **Інструментом управління є технічні впливи: діагностування, технічне обслуговування і ремонт.** Такі заходи передбачають комплексне вирішення завдань управління технічним станом, планування і оперативне управління процесами ТО і Р, забезпечення запасними частинами, матеріалами та ін.



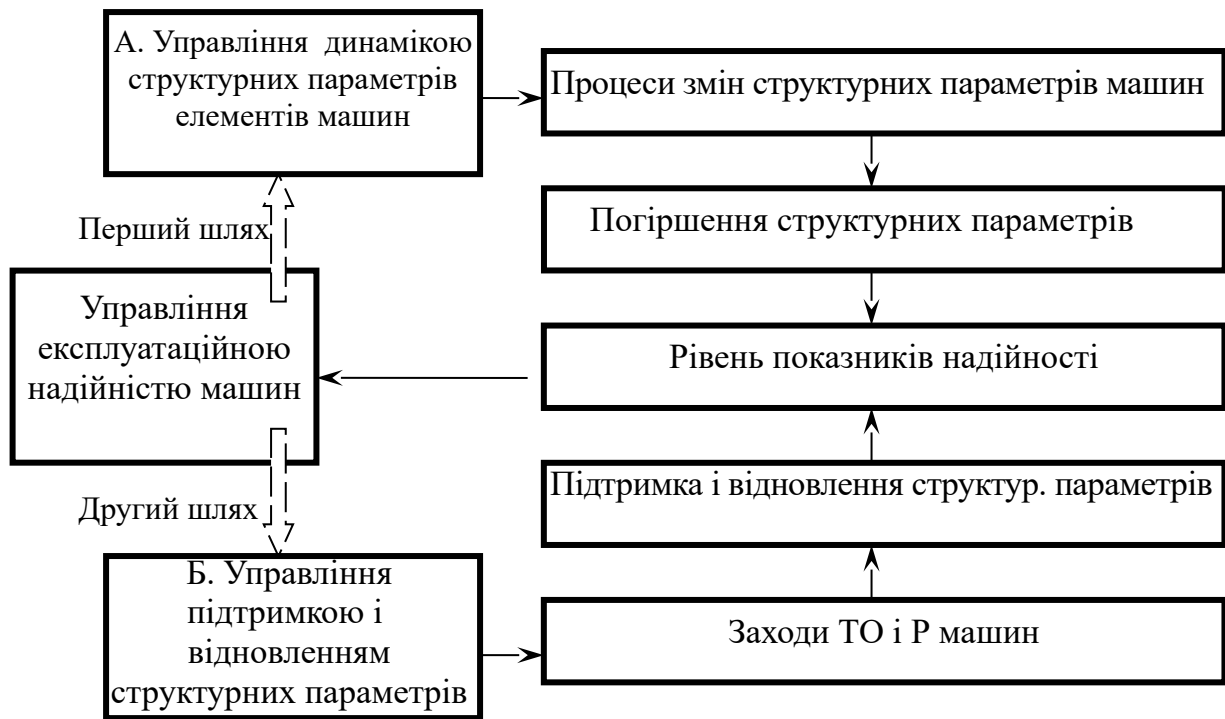


Рисунок 7 – Схема управління експлуатаційною надійністю машини

Вибір тих або інших технічних впливів здійснюється за кінцевим результатом функціонування системи управління – рівнем технічної готовності, значення якого визначається з урахуванням підсумкового часу перебування машин у непрацездатному стані (часу простою машин у період проведення технічних впливів).

Розрізняють плановані і фактичні значення показників експлуатаційної надійності. Рівень експлуатаційної надійності кожної машини у порівнянні з кращими світовими зразками-аналогами можна розрізнити на «високий», «середній» і «низький». Наприклад, високими показниками експлуатаційної надійності для автомобілів на світовому ринку вважаються  $T_{op} = 120...200$  год;  $T_{рем} = 3...6$  год. Фактично ж ці показники для вітчизняних автомобілів становлять  $T_{op} = 40...100$  год і  $T_{рем} = 5...20$  діб [20].

Показники експлуатаційної надійності безпосередньо впливають на такі показники роботи машини:

- експлуатаційну продуктивність;
- економічно доцільний термін служби;
- ціну при продажу машини після певного терміну застосування;

- експлуатаційну економічність.

Сума втрат від простоїв машин через технічні причини [19]

$$P_{\text{ТП}} = T_{\text{рем}} \cdot A_{\text{ч}} = \frac{T_{\text{роб}} \cdot A_{\text{ч}} \cdot T_{\text{рем1}}}{T_{\text{ор}}}, \quad (2)$$

де  $T_{\text{рем}}$  – тривалість ремонту машини, що припадає на плановий час її використання;

$A_{\text{ч}}$  – орендна ставка однієї години роботи машини;

$T_{\text{рем1}}$  – середній час одного ремонту;

$T_{\text{ор}}$  – середній час між зупинками машини через проведення ремонтів.

Значимість показника може бути проілюстрована наступними даними. Наприклад, напрацювання автомобіля за три місяці склало  $T_{\text{роб}} = 530$  год, середній час між зупинками машини через проведення ремонтів  $T_{\text{ор}} = 84$  год, середній час одного ремонту  $T_{\text{рем1}} = 40$  год; орендна ставка однієї години роботи машини  $A_{\text{ч}} = 260$  грн. Втрати від простоїв автомобіля через ремонти складатимуть

$$P_{\text{ТП}} = \frac{530 \cdot 260 \cdot 40}{84} = 65619 \text{ грн.}$$

## 4.2 Методологія та принципи управління експлуатацією машин

**Експлуатація машин** – складний процес, який складається з різних періодів, під час яких технічний стан машин погіршується або відновлюється. Управління експлуатацією машин полягає в управлінні їх працездатністю за допомогою комплексу заходів з технічної експлуатації.

**Технічна експлуатація як наука** визначає шляхи і методи найбільш ефективного управління технічним станом машин з метою їх високопродуктивної та надійної роботи при оптимальних матеріальних і трудових витратах. Вона спирається на знання процесів змін технічного стану і закономірностей появи відмов у машинах. Це дозволяє прогнозувати ймовірні відмови, а тим самим звести до мінімуму витрати на підтримку

працездатності , в тому числі за рахунок оптимізації простою машини в ТО і Р і запасів матеріальних ресурсів.

Чим раніше та точніше буде передбачена відмова, тим більше буде часу підготуватися до неї, буде зменшено простій машини в очікуванні ремонту, менше потрібно мати і запасних деталей на складі. Крім того, знання процесів протікання поступових відмов у машинах дозволяє передбачати їх, а тим самим і керувати процесом їх експлуатації.

Таким чином, основою науки про управління процесом експлуатації машин є:

- закономірності зміни технічного стану в процесі експлуатації машин;
- практичні методи визначення технічного стану машин та рекомендації з підтримання їх працездатності при мінімальному рівні питомих витрат за рахунок внутрішніх резервів виробництва;
- закономірності зміни витрат на підтримку працездатності машин і елементи методики інженерного прогнозування цих витрат в заданих експлуатаційних умовах.

**Технічна експлуатація як галузь практичної діяльності** – це комплекс технічних, економічних, організаційних та інших заходів, які забезпечують підтримку машин у працездатному (справному) стані, попередження їх простоїв через технічні несправності.

При плануванні технічної експлуатації машин виходять з мінімуму експлуатаційних витрат і собівартості машино-години продукції, що досягається шляхом організації оптимального проведення діагностування технічного стану, технічного обслуговування і режимів навантаження машин в різних умовах експлуатації.

**Мета управління експлуатацією** – забезпечення заданого рівня працездатності і справності машини при виготовленні, відновленні, ремонті і технічному обслуговуванні, а також створення умов, що дозволяють зменшити частоту відмов при скороченні матеріальних та грошових витрат .

У загальному випадку управління експлуатацією здійснюється шляхом поліпшення параметрів розподілу ресурсів і потоку відмови машини або її елементів.

**Управління експлуатацією машин** – це безперервний і цілеспрямований процес змін технічного стану машин за допомогою керуючих дій, що ведуть до досягнення поставленої мети. Механізмом, що забезпечує цей процес, є система управління (рисунок 8). Вона складається з трьох підсистем: **керуючої, інформаційної та керованої**.

Як і у кожному процесі управління, в управлінні експлуатацією машини виділяють мету, керуючі показники (впливи), керовану систему, динамічний характер і зв'язок елементів системи, зворотний зв'язок.

Схема утворення рішень системою управління експлуатацією машин показана на рисунку 9. Спочатку кожна проблема, яка стосується управління експлуатацією, аналізується з метою виявлення можливості її вирішення стандартними або вже відомими кроками.



Рисунок 8 – Склад системи управління експлуатацією машин методами і засобами ТО і Р [21]

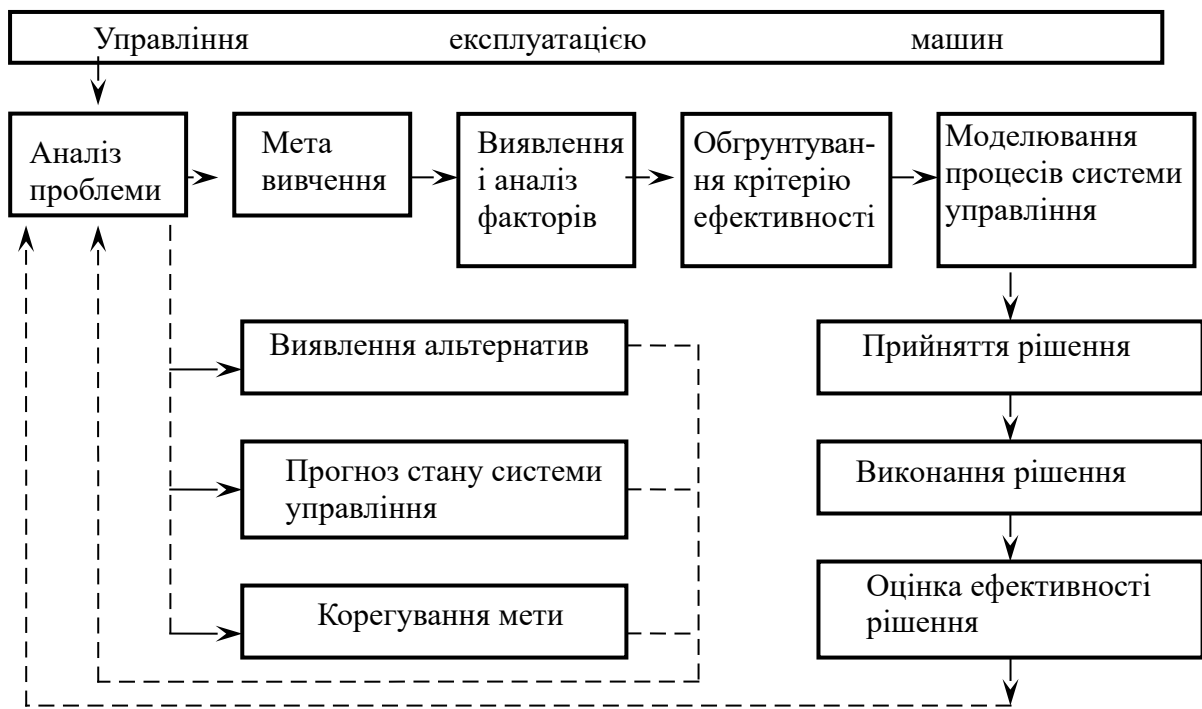


Рисунок 9 – Схема утворення рішень в процесі управління експлуатацією машин [21]

Потім визначається **мета вивчення**, в результаті чого визначається напрямок (один або декілька), у якому системі слід знайти рішення даної проблеми. По кожному з напрямків проводиться **аналіз факторів**, що характеризують сутність проблеми, і визначаються **критерії ефективності** її вирішення.

Остаточна **оцінка ефективності** пропонованого рішення виноситься після перевірки його на практиці. Залежно від отриманих результатів система може провести новий «цикл» пошуку за даною схемою, проводячи виявлення **альтернативних рішень**, формуючи **прогноз стану системи** і, при необхідності, коригуючи цілі пошуку.

Таким чином, схема вироблення рішень являє собою аналіз інформації від моменту постановки проблеми до її вирішення через аналіз і синтез системи управління. Кінцевим результатом управління є обраний параметр ефективності.

Одним з варіантів поданої на рисунку 9 схеми є схема управління надійністю в період експлуатації машини – рисунок 10.

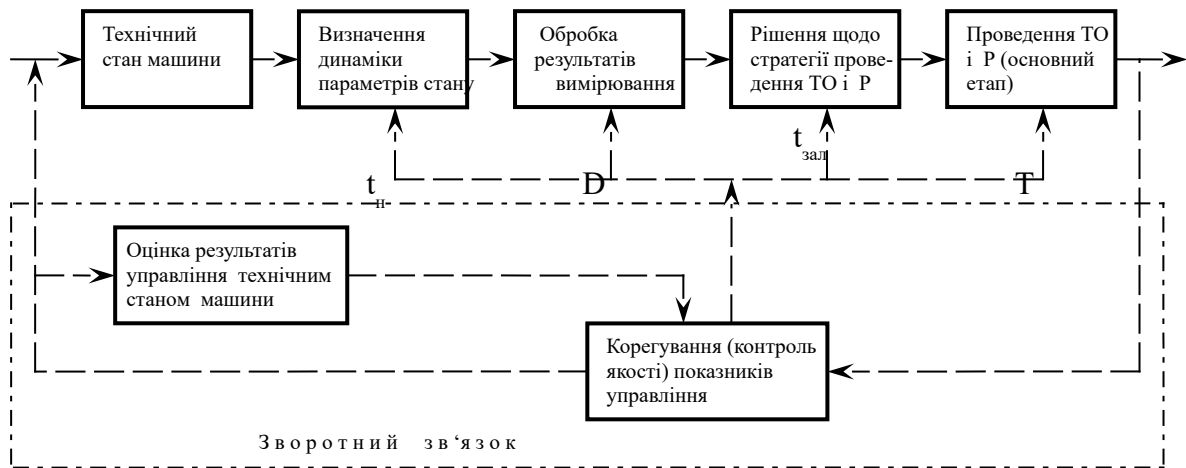


Рисунок 10 – Схема управління надійністю під час експлуатації машини, де показниками управління є:

$t_H$  – міжконтрольне напрацювання;  $D$  – допустиме відхилення параметра;  $t_{зал}$  – залишковий ресурс;  $T$  – середній ресурс

### 4.3 Фактори, що визначають рівень експлуатаційної надійності машини

У досягненні високого рівня експлуатаційної надійності машин беруть участь підприємства, які здійснюють проектування та виготовлення машини (виробник), реалізацію (дилер) і експлуатацію (споживач).

Схеми заходів щодо управління експлуатацією машин за участю виробника, дилера і споживача наводяться на рисунках 11 і 12.

**Безвідмовність і довговічність** машини (A1, рисунок 11) забезпечується шляхом (етапи):

- розробки вимог до довговічності і безвідмовності машини в цілому, її систем і елементів;
- розробки конструкторської та технологічної документації, що забезпечує виконання вимог щодо довговічності та безвідмовності;

- визначення параметрів довговічності і безвідмовності експериментальних зразків на стендах і випробувань дослідних зразків машин в експлуатаційних умовах;

- внесення коректив у документацію за результатами випробувань;

моніторингу параметрів безвідмовності і довговічності елементів машини в експлуатації у споживачів і заходів щодо поліпшення цих параметрів. Заходи, що забезпечують **ремонтпридатність (А2)** машини:

- згрупування точок обслуговування та візуальних показників в єдиних вузлах;

- застосування автоматизованої системи змащення;

- зручність для обслуговування агрегатів;

- зменшення періодичності заміни фільтрів і мастильних матеріалів;

- наявність ефективного набору інструментів і приладів;

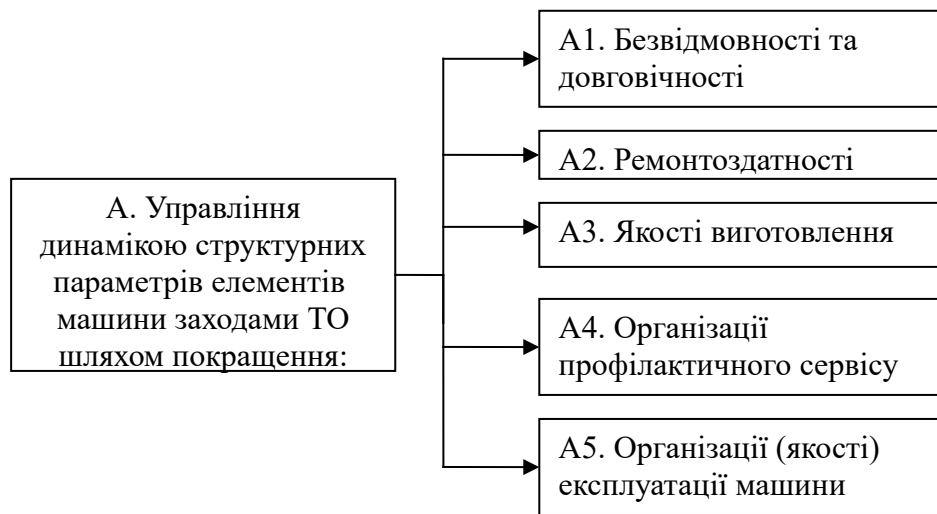


Рисунок 11 – Заходи групи А з управління експлуатаційною надійністю машин

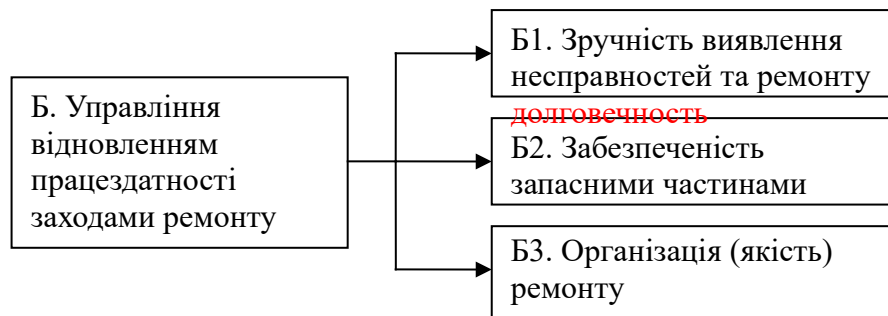


Рисунок 12 – Заходи групи Б, що впливають на здатність машини до відновлення працездатності

- наявність інформації на пульті управління про стан елементів машини (індикатори, покажчики, звукові сигнали та ін.);
- застосування бортового комп'ютера для оцінки стану систем машини;
- наявність пристроїв для підключення переносних діагностичних засобів;
- застосування пристроїв для передачі інформації про напруження машини і її технічний стан за допомогою супутника.

Заходи, спрямовані на забезпечення заданого рівня **якості виготовлення** машини (А3):

- організація виробництва (обладнання, що застосовується, кваліфікація персоналу, технологія виконання робіт);
- контроль якості, що включає:
  - а) вхідний і вихідний контроль якості;
  - б) статистичний контроль якості процесів і виконання заходів за результатами контролю;
  - в) поліпшення якості виготовлення за результатами експлуатації машини.

Передова практика доводить, що роботи з **організації профілактичного сервісу** (А4) машин мають виконувати висококваліфіковані сертифіковані фахівці з використанням сучасних технологій та високоякісного обладнання.

Провідні виробники машин проводять роботи з підготовки або підвищення кваліфікації сервісного персоналу і беруть участь в оснащенні його приладами, пристроями та інструментом.

Заходи з організації профілактичного сервісу включають:



- забезпеченість експлуатаційною документацією (керівництвом для оператора, каталогом запасних частин і керівництвом з сервісу (складом робіт з ТО та діагностування), схемою пошуку причин несправностей та ін.);

- наявність рекомендацій та інструкцій для роботи сервісного персоналу;

- забезпеченість програмним забезпеченням для дилера (з планування ТО, аналізу результатів діагностування та ін.);

- наявність спеціальних рекомендацій та інструкцій, наприклад, щодо виконання робіт в умовах підвищеної температури, щодо зберігання та ін.

До складу заходів з профілактичного технічного сервісу також входить забезпечення мастильними матеріалами та охолоджувальними рідинами, що включає:

- придбання мастильних матеріалів (для двигуна і гідравліки), мастильних та охолоджувальних рідин;

- організацію зберігання і підтримки запасів експлуатаційних рідин;

- застосування закритої заправки машин;

- періодичне очищення робочих рідин, у т.ч. з використанням мобільних засобів.

Висока якість профілактичних заходів характеризується такими показниками: відхилення від графіка ТО  $\pm 10\%$ , ступінь плановості ремонтів 80 - 90 % [20].

До групи заходів з організації експлуатації машини (А5) відносять:

- транспортування;

- монтаж і демонтаж;

- зберігання;

- умови роботи машини:

- а) природно-кліматичні умови;

- б) режим роботи машини (впродовж дня, тижня тощо);

- в) склад комплексу техніки і функції машини у ньому;

- г) параметри робочого майданчика і особливості виконання робіт;

- використання машини за призначенням:

- а) заправку паливом, що включає періодичну оцінку якості палива, у т.ч. на сірку;

- б) наявність та якість проекту виконання робіт;
- в) підбір операторів, їх навчання та підвищення кваліфікації;
- г) обсяг змінних завдань операторові і форми оплати праці;
- д) організацію взаємодії машин у складі комплексу;
- е) організацію обліку роботи машин.

Найбільш прогресивною вважається стратегія обслуговування машин, заснована на даних про поточні значення параметрів їх технічного стану, відповідно до якої:

- особлива увага приділяється заходам профілактичного характеру, спрямованим на максимально можливе зменшення відмов машин;

- своєчасно виявляється необхідність проведення технічного впливу, а обслуговування техніки виконується у терміни, коли воно є найменш трудомістким, ще не ускладнене і не вимагає великих витрат і тривалого простою машини.

У межах такої стратегії найбільш важливими є такі заходи з підтримки працездатності машини, як ТО та діагностування. Різниця у витратах на ремонт при прогресивній стратегії та поширеній нині (робота до відмови) може досягти 3 разів [20].

Розглянемо групу заходів, від яких залежить здатність машини до відновлення.

**Зручність виявлення несправностей і ремонту** (Б1, рисунок 12) відображає простоту виявлення причин відмов у вузлах машини та їх усунення. Ця характеристика передбачає:

- пристосованість конструкції машини до знаходження несправностей (відмов);

- конструктивні рішення, що забезпечують зручність ремонту:

- а) можливість легкого доступу до ушкоджених елементів машини;

- б) можливість швидкого зняття непрацездатних елементів, що не мають складних зв'язків із суміжними вузлами (модульність конструкції);

- в) можливість використання високоефективних інструментів і приладів;

- г) зручність обслуговування та ремонту машини.

У передовій практиці ремонт машин в польових умовах виконують агрегатним методом спеціальними мобільними

бригадами, оснащеними малогабаритним краном, генератором, зварювальною установкою, компресором, комплексом інструментів, запасних частин та ін. При необхідності тривалого ремонту машина, що вийшла з ладу, може замінюватися на резервну. Сервісні служби працюють щодня і цілодобово. Частка виконання замовлень на ремонт на місці роботи машини становить: упродовж дня – 85 %, упродовж доби – 95 % [20].

**Забезпечення запасними частинами (Б2)** сервісних служб здійснюється з власних або зовнішніх складів. Серед постачальників розрізняють зовнішніх (у т.ч. виробники машини) і внутрішніх (підрозділи, які здійснюють відновлення працездатності агрегатів і деталей машини). Постачальники повинні використовувати документацію, розроблену підприємством-виробником машини.

Забезпечення споживачів запасними частинами з боку дилерів має ґрунтуватися на принципі дотримання мінімального терміну доставки необхідних вузлів при їх мінімальних запасах. Для цього на складах дилерів доцільно зберігати запасні частини, що користуються найбільшим попитом. Їх поставка здійснюється регулярно шляхом замовлень мережею Інтернет. Запасні частини, які користуються середнім та малим попитом, поставляються за замовленням дилера через Інтернет екстреним порядком (у передовій практиці – за 24 години).

У передовій практиці відсоток задоволення попиту на запасні частини зі складів дилера упродовж доби становить 90 – 95 %. Коефіцієнт оборотності запасів упродовж року досягає 2... 3 [20].

**Організація (якість) ремонту (Б3)** машин ґрунтується на базі експлуатаційної та сервісної документації, розробленої виробником. Ця документація має містити методичні матеріали:

- з пошуку несправностей (відмов) та їх причин;
- з швидкого і якісного відновлення працездатності машин, у т.ч. схему розбирання та складання;
- склад робіт; нормативи трудових витрат; керівництво із застосування інструментів, приладів та ін.

#### **4.4 Управління фондівіддачею машинного парку**

Основою збільшення часу роботи і відповідно вироблення парку машин (фондовіддачі) з позиції технічної експлуатації є управління технічним станом і простоями техніки в ТО і Р. Вибір тих чи інших технічних заходів здійснюється за кінцевим результатом функціонування системи управління – рівнем показників експлуатаційної готовності машин.

Одним з найпоширеніших показників є **коефіцієнт готовності**  $K_G$ , який визначається як відношення сумарного часу роботи  $T_{роб}$  машини до тривалості її експлуатації

$$K_G = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{НР}}, \quad (3)$$

де  $T_{НР}$  – нормативна тривалість ремонтів.

Крім  $K_G$ , як показник готовності машини застосовується **коефіцієнт технічного використання**  $K_{Твик}$

$$K_{Твик} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{НТН} + T_{ТОн}}, \quad (4)$$

де  $T_{НТН}$  – нормативна тривалість позапланових ремонтів;

$T_{ТОн}$  – нормативна тривалість планових технічних заходів.

Однак коефіцієнти  $K_G$  і  $K_{Твик}$  не враховують втрати часу на наднормативні простоя, а також організаційні втрати часу через процеси підготовчого виробництва (тривалість підготовки машини до ТО і Р, час мийки, приймання, транспортування між об'єктами) [21].

Для цього використовується **коефіцієнт технічної готовності**

$$K_{ТГ} = \frac{K_B}{1 - K_{НД}} = \frac{T_{роб}}{D_K(1 - K_{НД})}, \quad (5)$$

де  $K_B$  – коефіцієнт використання машини;

$K_{НД}$  – коефіцієнт неробочих днів;

$D_K$  – календарна тривалість експлуатації.

У формулі (5) коефіцієнт неробочих днів визначається як частина календарного часу, протягом якого машина, що знаходиться в працездатному стані, не використовується за призначенням

$$K_{нд} = \frac{D_K - D_{нв}}{D_K} = 1 - \frac{D_{нв}}{D_K} \quad (6)$$

Показник технічної готовності  $K_{ТГ}$  характеризує, з одного боку, ефективність технічної експлуатації, а з іншого - надійність машин. З боку надійності  $K_{ТГ}$  оцінює показники безвідмовності і ремонтпридатності

$$K_{ТГ} = \frac{1}{1 + \frac{(\omega_{ом} \cdot t_в + \lambda_{ТО} \cdot t_{ТО}) \cdot K_{ТВ}}{K_{ОР}}} \quad (7)$$

де  $\omega_{ом}$  – параметр потоку відмов;

$t_в$  – нормативний (середній) час відновлення;

$\lambda_{ТО}$  – інтенсивність планових ТО і Р за видами машин;

$t_{ТО}$  – нормативний час планових ТО і Р за видами машин;

$K_{ТВ}$  – коефіцієнт, який враховує частину часу технічних впливів з ТО і Р, що виконуються у період робочої зміни;

$K_{ОР}$  – коефіцієнтом використання організаційних резервів.

Фондовіддача машини в першу чергу може бути збільшена за рахунок часу організаційного резерву  $t_{ОР}$ , тобто наднормативного часу виконання ТО і Р, яке досягає 50 % від загального часу перебування машини у непрацездатному стані [21]. Наднормативні втрати часу  $t_{ОР}$  виникають внаслідок недостатнього числа постів ТО і Р, відсутності запасних частин, відмов обладнання, несвочасної видачі завдань та ін.

$$t_{ОРi} = (t_{оч} + t_{\phi}) - t_H \quad (8)$$

де  $t_{оч}$ ,  $t_H$ ,  $t_{\phi}$  – відповідно час очікування, нормативний час виконання робіт і фактична тривалість  $i$ -го технічного впливу.

Облік часу організаційного резерву  $t_{ОР}$  здійснюється коефіцієнтом використання організаційних резервів  $K_{ОР}$ , який

визначається як ймовірність того, що підсумковий фактичний час перебування машини в ТО і Р не перевищить нормативний  $T_H$ ,

$$K_{OP} = \frac{T_H}{T_H + T_{OP}}, \quad (9)$$

де  $T_{OP}$  – сумарний час організаційного резерву.

Сумарний час організаційного резерву

$$T_{OP} = \sum_{i=1}^N t_{OPi}. \quad (10)$$

Зв'язок між коефіцієнтами  $K_{ТГ}$  і  $K_{OP}$  характеризується [21] залежністю

$$K_{ТГ} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + \frac{T_H \cdot K_{ТВ}}{K_{OP}}}. \quad (11)$$

Таким чином, на основі залежностей (9) і (11) можливо управляти тривалістю перебування машини у ТО і Р і оцінювати ефективність роботи виробничих підрозділів як в цілому, так і в окремих процесах і операціях. Залежність  $K_{ТГ} = f(K_{OP})$  подано рисунку 13.

При підвищенні коефіцієнта  $K_{OP}$  готовність машини (або парку машин) зростає, а величина  $K_{ТГ}$  обмежується нормативним часом ТО і Р. Подальше збільшення  $K_{ТГ}$  можливе за рахунок зменшення  $K_{ТВ}$ , тобто при виконанні ТО і Р у період між змінами або у неробочий час.

У процесі роботи відбувається деградація параметрів технічного стану вузлів. Результатом цього є збільшення числа і трудомісткості усунення відмов, а також зниження рівня готовності машин, який характеризується параметром  $K_{Твук}$  (рисунок 14). При цьому відбувається скорочення часу роботи  $T_{роб}$  і напрацювання машин.

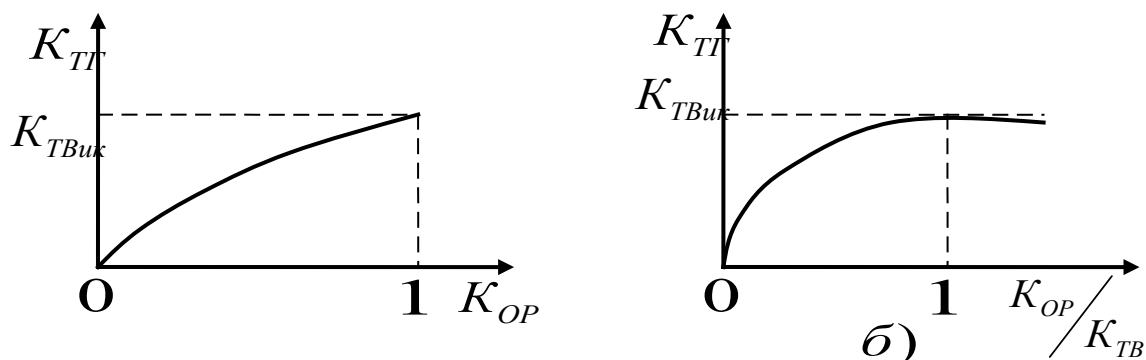


Рисунок 13 – Залежність технічної готовності машин від коефіцієнта використання організаційних резервів [21]: а) при  $K_{ТВ} = 1$ ; б) при  $K_{ТВ} < 1$

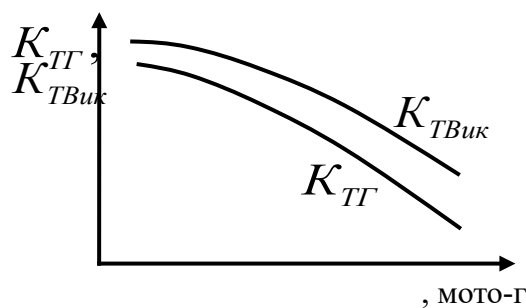


Рисунок 14 – Залежність показників експлуатації від віку (напрацювання) машин [21]

З (7) випливає, що основним напрямком підвищення  $K_{ТГ}$  з позицій технічної експлуатації є:

- оптимізація параметрів системи управління, спрямована на збільшення  $K_{OP}$  з урахуванням  $K_{ТВ}$ ;
- координування режимів технічних впливів зі збільшенням терміну служби машин;
- підвищення якості виконання ТО і Р.

#### 4.5 Зв'язок між технічною готовністю та ефективністю виробничої експлуатації машин

Основний результат функціонування системи управління експлуатацією полягає у формуванні певного рівня готовності виробничого машинного парку. Останній прямо пов'язаний з підвищенням продуктивності та напрацюванням машин.

Час напрацювання машин за календарний період експлуатації

$$T_{роб} = D_K \cdot (1 - K_{HD}) \cdot K_{TT} \cdot n_C \cdot t_C, \quad (12)$$

де  $D_K$  – календарна кількість днів за період експлуатації;  
 $n_C$ ,  $t_C$  – кількість і тривалість робочої зміни за добу роботи.

Дохід від експлуатації техніки прямо пропорційний напрацюванню. Наприклад, величина напрацювання (у м<sup>3</sup>) для землерійно-транспортних машин визначається за формулою

$$Q = \frac{3600 \cdot q}{T_{ц}} \cdot K_{ур} \cdot K_{чр} \cdot T_{роб}, \quad (13)$$

де  $q$  – об'єм ковша, м<sup>3</sup>;

$T_{ц}$  – тривалість циклу, с;

$K_{ур}$  – коефіцієнт умов роботи (включаючи коефіцієнти наповнення ковша і розпушення робочого середовища);

$K_{чр}$  – коефіцієнт, що враховує той час від сумарного часу роботи, коли машина виконує землерійно-транспортну функцію.

Після підстановки (12) в (13) отримаємо [21]

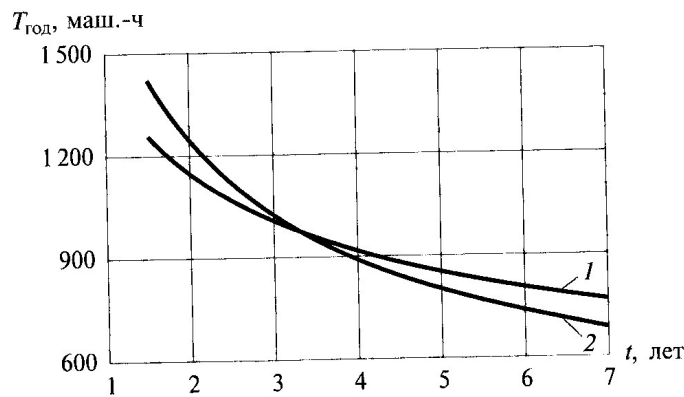
$$Q = D_K \cdot (1 - K_{HD}) \cdot K_{TT} \cdot \frac{3600 \cdot q}{T_{ц}} \cdot K_{ур} \cdot K_{чр} \cdot n_C \cdot t_C. \quad (14)$$

Вираз (14) відображає залежність між напрацюванням землерійних машин циклічної дії, показниками їх експлуатаційних властивостей і ефективністю системи управління працездатністю, тобто він найбільш повно характеризує процеси експлуатації техніки.

Використаємо вираз (14) для визначення впливу якості процесів забезпечення працездатності (коефіцієнтів  $K_{TT}$ ,  $K_{OP}$ ,  $K_{TB}$ ) на величину напрацювання екскаватора. Зі збільшенням терміну служби річне напрацювання машин зменшується. На рисунку 15 наведена залежність річного напрацювання від терміну служби екскаватора на гусеничному ході. З урахуванням даних рисунка 15 побудовані графіки залежності коефіцієнта



технічної готовності  $K_{ТГ}$  від напрацювання екскаватора за різними величинами організаційних резервів – рисунок 16.



1 – на пневмоколісному ходу; 2 – на гусеничному ходу

Рисунок 15 – Залежність річного напрацювання від терміну служби екскаваторів [21]:

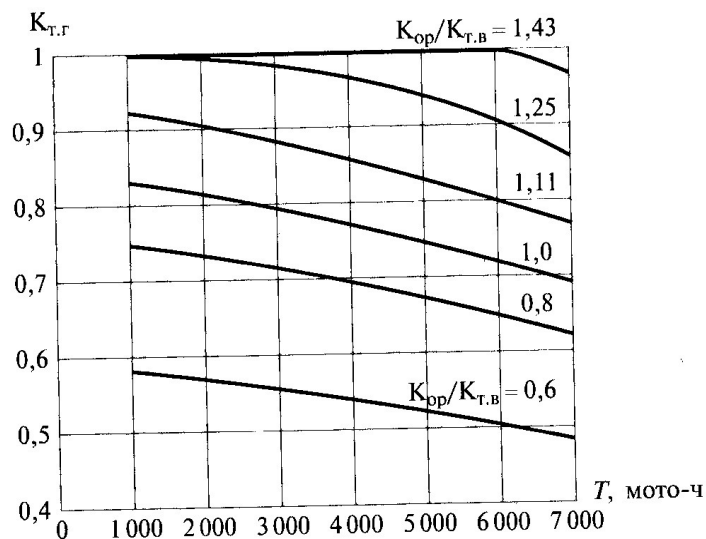


Рисунок 16 – Залежність  $K_{ТГ}$  від напрацювання машин від початку експлуатації і використання організаційних резервів [21]

Далі з використанням виразу (14) і даних рисунків 13-14 розраховані [21] залежності напрацювання від технічної готовності і віку екскаватора – рисунок 17.

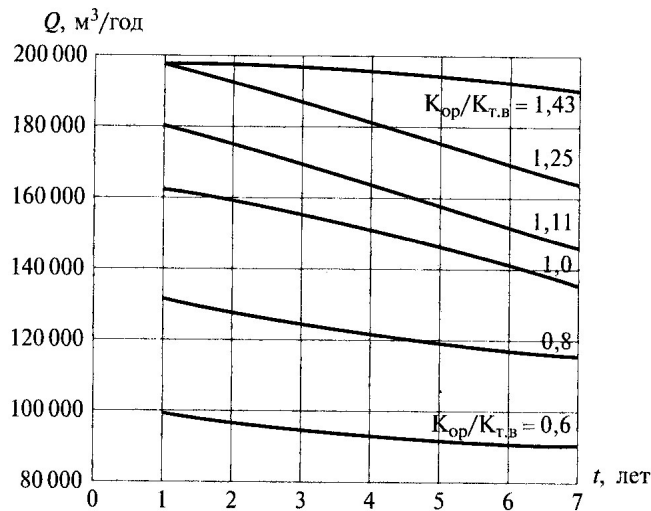


Рисунок 17 – Залежність вироблення від рівня технічної готовності з урахуванням віку екскаватора [21]

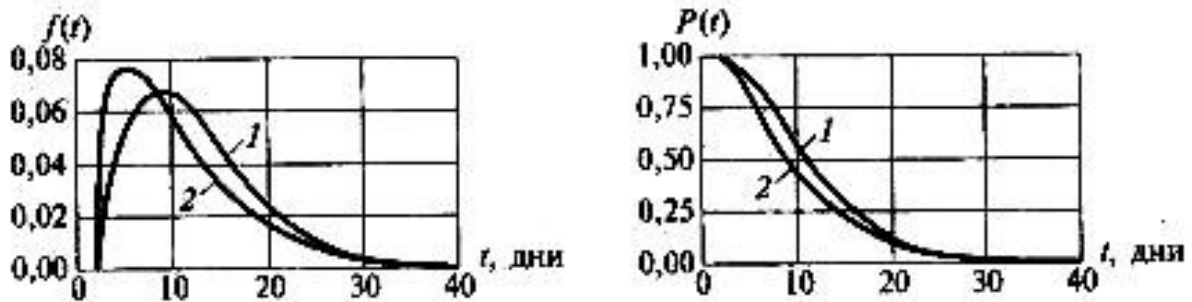
З рисунка 17 випливає, що підвищення ефективності технічної експлуатації шляхом скорочення простоїв машини у непрацюючому стані дозволяє істотно збільшити її напрацювання. Наприклад, на п'ятому році експлуатації річне напрацювання екскаватора при виконанні ТО і Р тільки у період робочої зміни при  $K_{ор} = 0,8$  становить 120 тис. м<sup>3</sup>/р. Проведення заходів з виконання частини (28 %) обсягу ТО і Р у період між робочими змінами і збільшення  $K_{ор}$  до 0,9 за інших рівних умов дозволить підвищити напрацювання до 175 тис. м<sup>3</sup>/р.

#### 4.6 Аналіз системи управління працездатністю

Працездатність парку машин є в певній мірі узагальнюючим показником, пов'язаним з продуктивністю праці і, відповідно, з ефективністю виробництва. Для пошуку можливостей управління працездатністю необхідно, в першу чергу, провести аналіз наднормативних простоїв машин в технічних впливах.

Наднормативні простої машин в ТО і Р складають в середньому для екскаваторів на пневмоколісному ході 54 % нормативного часу, екскаваторів на гусеничному ході і скреперів – 40 % , бульдозерів – 44 % [21]. Між тим, повне скорочення наднормативних простоїв залежно від типу машин дозволяє на

6...11 % підвищити коефіцієнт технічної готовності, а зменшення на 50 % обсягів позапланових ремонтів – додатково збільшує той же показник на 2...3 % [21]. На рисунку 18 показані характеристики наднормативних простоїв машин у планових ремонтах.



а) – щільність ймовірностей  $f(t)$ ; б) – ймовірність наднормативних простоїв  $P(t)$ ; 1 – пневмоколісні екскаватори; 2 – екскаватори на гусеничному ході

Рисунок 18 – Характеристики наднормативних річних простоїв машин [21]

Величина коефіцієнтів варіації наднормативних простоїв для екскаваторів на пневмоколісному і гусеничному ході становить відповідно 0,77 і 0,61 [21]. Таке розсіювання вказує на те, що час перебування машин під технічними впливами залежить від великої кількості внутрішніх і зовнішніх факторів, а ступінь їх впливу на перебування техніки у непрацездатному стані змінюється з плином часу для кожної з машин.

Складові часу перебування парку машин у непрацездатному стані подано на рисунку 19.

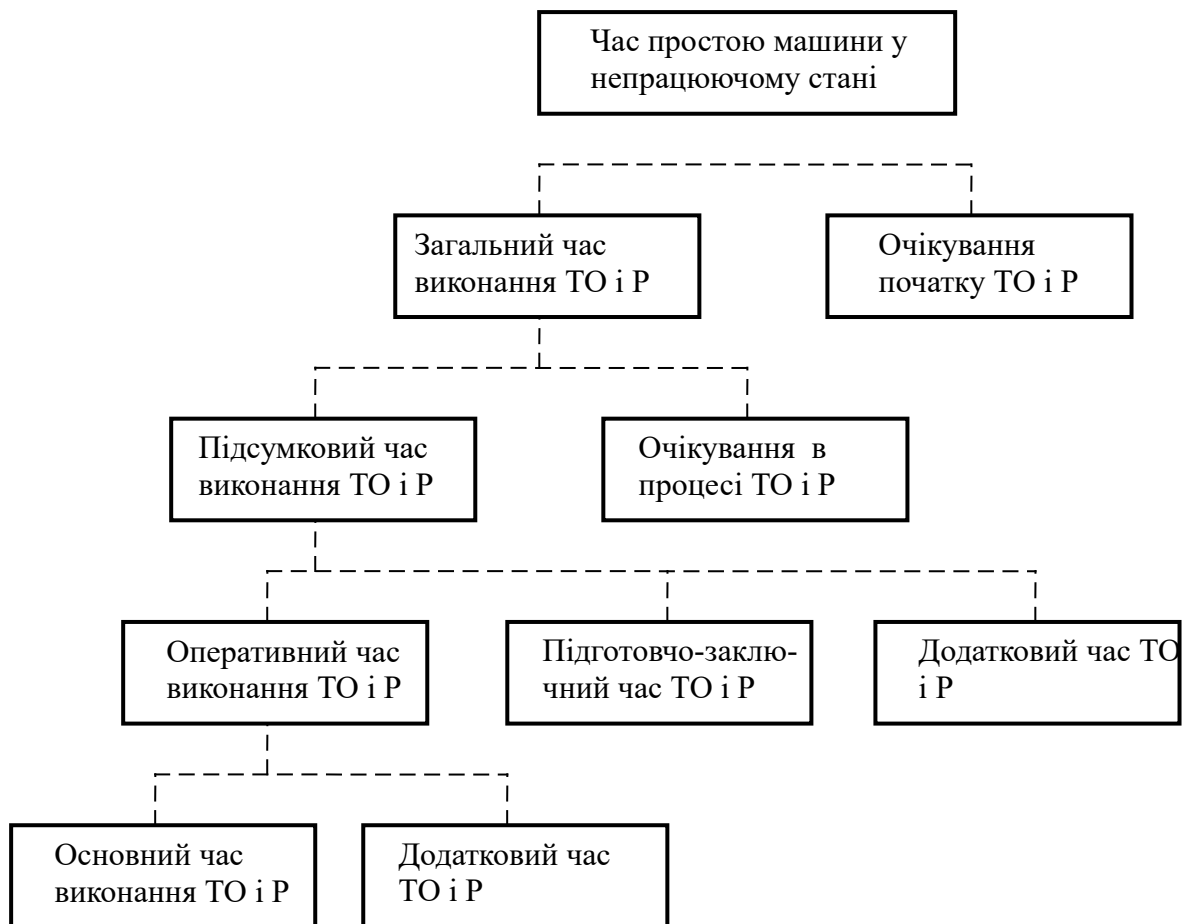


Рисунок 19 – Складові часу перебування парку машин у непрацездатному стані [21]

Між складовими часу перебування машин у непрацездатному стані і рухом машин, складальних одиниць, деталей та інших матеріальних потоків підприємства виникає безліч взаємозв'язків. Тому управління виробничим процесом ТО і Р, а також рухом матеріальних потоків повинно здійснюватися єдиною інтегрованою системою, а кожен вид діяльності з ТО і Р машин і переміщення матеріальних потоків необхідно розглядати як її окрему частину цієї системи.

Пошук резервів скорочення підсумкового часу перебування машин в ТО і Р, а також витрат на забезпечення працездатності машинного парку є кінцевою і основною метою процесу управління експлуатацією .

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Надежность технических систем [Текст]: учеб. пособие / Е.В. Сугак, Н.В. Василенко, Г.Г. Назаров [и др.]; под ред. Е.В. Сугака и Н.В. Василенко. – Красноярск: НИИ СУВПТ, 2001. – 601 с.

2 Кутузов, В.В. Повышение эффективности эксплуатации строительных и дорожных машин с учетом изменения их технического состояния [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Виктор Владимирович Кутузов. – М.; 2012. – Режим доступа: [http://delist.ru/article/23072012\\_kutuzov](http://delist.ru/article/23072012_kutuzov).

3 МДС 12-12.2002. Методические указания по разработке и внедрению системы управления качеством эксплуатации строительных машин [Электронный ресурс] // Госстрой России. – М., 2003. – Режим доступа: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/MDS\\_12122002\\_Metodicheskie\\_uka.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/MDS_12122002_Metodicheskie_uka.html).

4 ГОСТ 12.3.033-84. ССБТ. Строительные машины. Общие требования безопасности при эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_12303384\\_SSBT\\_Stroitelnye.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_12303384_SSBT_Stroitelnye.html).

5 ГОСТ 25646-95. Эксплуатация строительных машин. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/gost/25646-95/>.

6 ГОСТ 25044-81. Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/22/22609.shtml>.

7 ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/29/29593.shtml>.

8 Правила технічної експлуатації тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів [Електронний ресурс]: затв. Мін. аграрн. політики України 13.07.2010. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0509-10>.

9 ДБН В.2\_8\_3\_95. Технічна експлуатація будівельних машин [Електронний ресурс]: затв. Держкоммістобудування

України 7.07.1995. – Режим доступу: [http://innovation-group.com.ua/sprav/cd5/print/10\\_3\\_print.php](http://innovation-group.com.ua/sprav/cd5/print/10_3_print.php).

10 Авдонькин, Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей [Текст]: учебн. пособие / Ф.Н. Авдонькин. – Изд-во Саратовского ун-та, 1981. – 288 с.

11 Дьяков, И.Ф. Строительные и дорожные машины и основы автоматизации [Текст]: учебн. пособие / И.Ф. Дьяков. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 516 с.

12 МДС 12.8.2007. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroyplan.ru/docs.php?showitem=49337>.

13 ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://declight.ru/statii/gost27\\_002-89.pdf](http://declight.ru/statii/gost27_002-89.pdf).

14 Лузан, Сергей Алексеевич. Концепция восстановительного ремонта средств транспорта и их элементов интегрированными газопламенными технологиями [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Сергей Алексеевич Лузан. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – 40 с.

15 Управление ТО и Р строительных, дорожных и коммунальных машин – задачи и решение TRIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trim.ru/content/view/269/104/>.

16 Кравченко И.Н. Основы надежности машин [Текст]: учеб. пособие / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин, Г.И. Бондарева. – М.: Изд-во, 2007. – Ч. I. – 224 с.

17 Надежность автомобиля и пути ее повышения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ehnoinfo.ru/obzory/avto/362-nadejnost-avto.html](http://ehnoinfo.ru/obzory/avto/362-nadejnost-avto.html).

18 ГОСТ 21624-81. Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники. Требования к эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://standartgost.ru/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%2021624-81#page-1>.

19 Кравченко, И.Н. Основы надежности машин [Текст]: учеб. пособие / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, Е.А. Пучин, Г.И. Бондарева. – М.: Изд-во, 2007. – ч. II. – 260 с.

20 Николаев, С.Н. Эксплуатационная надежность – главная характеристика работы любой строительной машины [Электронный ресурс] / С.Н. Николаев, М.С. Щепкина, А.Л. Филатов // Механизация строительства. – М., 2009. – № 2. – С. 7-10. – Режим доступа: <http://ms.enjournal.net/article/429/>.

21 Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин [Текст]: учебн. для вузов / А.В. Рубайлов, Ф.Ю. Керимов, В.Я. Дворковой [и др.]; под ред. Е.С. Локшина. – М.: Академия, 2007. – 512 с.

22 Технологічне проектування автотранспортних підприємств [Електронний ресурс]: за ред. С.І. Андрусенка. – К.: Каравела, 2009. – 256 с. – Режим доступу: <http://www.ranock.com/shop/detail/1505/>.

23 Канарчук, В.Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів [Текст] ]. У 2 кн. Кн.1: Теоретичні основи: Технологія: підручник / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. – К.: Вища шк., 1994. – 342 с.

24 Кравченко, О.П. Організація і управління технічного обслуговування і ремонту автомобілів [Електронний ресурс]: навч. посібник / О.П. Кравченко. – Луганськ, вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 90 с. – Режим доступу: [archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/.../1-14.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/.../1-14.pdf).

25 Лукина, А.В. Управление работоспособностью парков строительных машин [Электронный ресурс] / А.В. Лукина, М.В. Лукин. – Режим доступа: [sntk.vlsu.ru/index.php/component/cck/?file=tezis&id=870...](http://sntk.vlsu.ru/index.php/component/cck/?file=tezis&id=870...)

