Конспект лекцій

з дисципліни

«Технічна експлуатація автомобілів»

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

Кафедра «Автомобільний транспорт»

Укладачі: Нікульшин С. В., к. т. н., доцент
Савенко В.М., ст.викладач

2014

1 Лекція. Загальні положення та зміст дисципліни

Без транспорту неможливе функціонування господарського комплексу країни. Транспортна галузь не виробляє жодної матеріальної продукції, однак без неї не можуть обходитись інші. Продукція транспорту - перевезення різноманітних вантажів, пасажирів. Транспорт нашої держави поділяється на такі види: автомобільний; залізничний; повітряний; водний (річковий, морський); трубопровідний; космічний.

Згідно з Законом України "Про транспорт" (Стаття 30), **автомобільний транспорт** - це підприємства автомобільного транспорту, які здійснюють перевезення пасажирів і вантажів, автомобільні і шиноремонтні підприємства, автотранспортні засоби, транспортно-експедиційні підприємства, а також автовокзали і автостанції, навчальні заклади відповідного профілю, ремонтно-будівельні організації та соціально-побутові заклади, інші підприємства та установи незалежно від форми власності, котрі забезпечують роботу автомобільного транспорту.

Основні суб'єкти автомобільного транспорту - автотранспортні засоби і мережа автомобільних доріг. При вивченні ТЕА розглядатимемо автотранспортні засоби - АТЗ, інакше дорожні транспортні засоби (ДТЗ), рухомий склад (РС) автомобільного транспорту, автомобілі, автопоїзди (автомобілі з причепами або напівпричепами).

Автотранспортний засіб - це засіб, призначений для експлуатації переважно на автомобільних дорогах загального користування усіх категорій і сконструйований згідно з їхніми нормами.

Автомобільний транспортний засіб розглядають окремо, як і будь-яку іншу машину (техніку, виріб, технічний засіб і таке інше), у процесі його виготовлення та у процесі застосування (експлуатації) у рамках одного **життєвого циклу.**

Стандарт ISO 9000 регламентує життєвий цикл машини з такими етапами: 1) попередні дослідження та маркетинг з метою обґрунтування потреби створення (вдосконалення) її моделі; 2) проектування; 3) виробництво; 4) експлуатація, технічне обслуговування та ремонт; 5) утилізація машини. По-іншому, життєвий цикл поділяють на ідеальний та матеріальний. Перший включає перших два етапи, другий - усі решта. На практиці з життєвого циклу виділяють переважно процеси виготовлення та застосування машин. У цій навчальній дисципліні йдеться про застосування, точніше про 4-й етап життєвого циклу АТЗ - експлуатацію, технічне обслуговуваний та ремонт.

Існує система класифікації АТЗ за різними ознаками з поділом їх на відповідні різновиди. За призначенням - на вантажні, пасажирські і спеціальні. До вантажних відносяться вантажні автомобілі (бортові, самоскиди, автомобілі-тягачі, причепи, напівпричепи). До пасажирських - легкові автомобілі, автобуси. До спеціальних - вантажні чи легкові автомобілі причепи і напівпричепи, оснащені спеціалізованим обладнанням і призначені для виконання транспортної роботи (пожежні, автокрани, санітарні, сміттєвози тощо).

За характером використання АТЗ поділяють на автомобілі загального призначення і спеціалізовані. До спеціалізованих відносять такі, які пристосовані для перевезення тільки певних видів вантажів чи пасажирів (самоскиди, фургони, "Швидка допомога", "Криміналістична" тощо).

За обсягами перевезень вантажів та пасажирів у транспортній системі країни перше місце належить автомобільному транспорту. Пасажирськими АТЗ перевозиться щорічно у 5 разів більше пасажирів, ніж усіма іншими видами транспорту. На автомобільний транспорт припадає приблизно 80% усіх вантажів господарського комплексу держави. Усе це свідчить про надзвичайну важливість розвитку цього виду транспорту і, звичайно ж, як невід'ємного елемента єдиної транспортної системи. Очевидно, що основним призначенням автомобільного транспорту, як і будь якого іншого, є високоякісне задоволення все зростаючого попиту на перевезення вантажів і пасажирів. В результаті реалізації транспортних процесів галузь, надаючи послуги клієнтам на перевезення, отримує відповідні прибутки, на основі яких здійснює просте і розширене відтворення своїх основних виробничих фондів, до яких належать і

АТЗ. Тобто галузь займається комерційною виробничою діяльністю, продуктом якої є послуги. Це основне призначення її і тому використання АТЗ з метою отримання названих доходів прийнято називати **комерційною експлуатацією автомобілів (КЕА).**

Однак, під час реалізації транспортних процесів конструктивні елементи АТЗ з причин проходження в них природних процесів зношування тертям, корозії, втоми матеріалів, старіння втрачають (частково чи повністю) працездатність. В результаті погіршуються експлуатаційні властивості АТЗ (динамічність, керованість, прохідність, надійність тощо), або у гіршому разі АТЗ зупиняється з причин поломок, виходу з ладу його конструктивних елементів. Природно, що колективний чи приватний власник АТЗ намагається експлуатувати їх так, щоб якнайменше було поломок і простоїв, оскільки в результаті цього знижуються показники комерційної діяльності. Відомо також, що заводи-виготівники розробляють такі моделі АТЗ, які призначені служити якнайдовше. Середній нормативний термін служби, наприклад, вантажних АТЗ становить 10 років, хоча фактичний може перевищувати його у 2 рази. Ці терміни можуть бути досягнені, якщо користувачі АТЗ не тільки будуть у нормативних межах використовувати їх безпосередньо на лініях (маршрутах), але й виконувати якісно весь перелік профілактичних ремонтно-обслуговувальних дій (РОД), обумовлених в інструкціях з експлуатації АТЗ, чи відповідним положенням про ТО і ремонт. Отже, крім прямого використання АТЗ за призначенням, у їх життєвому циклі передбачено і виконання комплексу РОД у вигляді технічних обслуговувань, ремонтів, усунення відмов АТЗ на лінії тощо. Власне усе це спрямовано на забезпечення високої ефективності комерційної експлуатації АТЗ, безпеки транспортних процесів й отримало назву **технічна експлуатація автомобілів.** У сучасних умовах, аналогічно як і на інших видах транспорту, ТЕА розглядається як система, яка складається з відповідних елементів, має свою матеріально-технічну базу, виробничників, управлінський персонал тощо.

На скільки важлива ТЕА свідчить те, що в усіх середніх і вищих технічних закладах (факультетах) автомобільного профілю вивчається дисципліна з однойменною назвою. Отож, метою вивчення цієї дисципліни є надання студентам знань і умінь та навиків із забезпечення працездатності АТЗ, високої ефективності їх використання за призначенням шляхом реалізації відповідного комплексу профілактичних РОД чи ремонтно-відновних робіт.

Для досягнення її розглядаються такі **завдання,** які полягають у вивченні:

нормальних і патологічних процесів в конструктивних елементах АТЗ, які приводять до погіршення (або втрати) їх експлуатаційних властивостей;

досягнення показників експлуатаційної надійності АТЗ, методів та способів і засобів їх визначення;

змісту Положення про технічне обслуговування та ремонт АТЗ;

технологій виконання різновидів РОД, різновидів способів та засобів їх реалізації;

особливостей організації технологічних процесів ТО і ремонту АТЗ на різних об'єктах ремонтно-обслуговувальної бази автомобільного транспорту.

Виходячи з мети і завдань дисципліни можна окреслити предмет **та** об'єкти вивчення її. **Предметом** вивчення дисципліни ТЕА є закономірності втрати працездатності автомобілями та їх конструктивними елементами у відповідних умовах і режимах їх використання, методи оцінки їх надійності та методи забезпечення працездатності. У вивченні цих предметів використовуватимуться основи таких фундаментальних наук як трибологія, теорія надійності машин, теорія імовірностей і математична статистика, теорія технічних систем та інші.

Серед **об'єктів** вивчення дисципліни - найперше АТЗ та їх конструктивні елементи; об'єкти РОБ; ремонтно-технологічне та діагностувальне обладнання, виробничники та інший персонал комплексу РОБ.

2 Лекція. Тенденції розвитку конструкцій автомобілів та їх технічної експлуатації

Сучасні автомобілі вітчизняного та закордонного виробництва мають все більшу конструктивну складність, широке використання електроніки, характеризуються порівняно високою надійністю і відмінністю у системах технічного обслуговування та ремонту.

Зазвичай чим конструктивно складніша машина, тим, тим нижчою надійністю вона характеризуватиметься. Але застосування високоміцних матеріалів, резервування окремих малонадійних елементів, електронних пристроїв для контролю технічного стану деталей, мастильних матеріалів тощо, забезпечує все більшу надійність. Ці тенденції мають, очевидно, безпосередній вплив як на використання автомобілів у транспортних процесах, так і на організацію виробничого та технологічного процесів ТО і ремонту АТЗ.

Перспективи розвитку конструкцій автомобілів з позицій їх ТЕА. Основні напрями розвитку конструкцій вантажних автомобілів це: підвищення паливної ощадливості; широке використання електроніки; зменшення забруднення навколишнього середовища; підвищення конструктивної безпеки (активної і пасивної); підвищення надійності за рахунок використання нових матеріалів, технологій та інших заходів.

Проблема зниження витрат палива - це серйозна проблема як у нас, так і за кордоном. У ФРН транспорт витрачає 1/5 всієї енергії, яка споживається. У Великобританії, Франції автомобільним транспортом витрачається 30-40% нафтопродуктів, а у США ця частка сягає 50%.

Закордонні конструктори вантажних автомобілів зараз намагаються розв'язати проблему зменшення витрат не за рахунок докорінних змін конструкції, а шляхом вдосконалення окремих вузлів і використання прогресивних технологічних рішень. Основні напрямки: зменшення маси автомобіля; зменшення аеродинамічного опору повітря; вдосконалення трансмісії (в т.ч. коробки передач); підвищення к. к. д. двигунів тощо.

За рахунок використання спойлерів вдається добитися економії палива на 4-9 %. Зменшення маси автомобіля або автобуса економить паливо у гірських умовах до 3 %. Зниження маси досягається використанням пластмас і легких сплавів на основі алюмінію та магнію, однак воно пов'язано з підвищенням вартості АТЗ. Наприклад, на вантажних автомобілях "Форд" перехід від традиційних матеріалів до нових (пластики, леговані сталі) дало зниження маси на 700-800 кг (капот, двері, передня панель автомобіля тощо).

Досвід показує, що під час руху АТЗ за межами міста в рівнинних умовах основний чинник підвищення паливної ощадності - це зниження втрат у шинах, а також підшипниках ходової частини і трансмісії. Такі заходи, як перехід до використання радіальних шин знизили витрати палива на 5-10%. Ще 3% економи дає асиметричний рисунок протектору. Він знижує і шумність.

Тепер про принципи розвитку конструкції основних агрегатів закордонних вантажних автомобілів і автобусів.

Двигуни. Тут основний напрямок - продовження дизелізації. На 90% автомобілів середнього і малого класу 90-х років в США використовувались дизелі. На важких автомобілях тепер - повсюдно.

Головні напрямки розвитку конструкції дизельних двигунів такі:

1. Використання електронної системи впорскування палива.

2. Використання комбінованої паливної системи, що поєднує карбюраторний і дизельний принципи: на низьких обертах працюють свічки запалювання, а при високих реалізується дизельний принцип.

3. Резонансна система впорскування палива. Для її реалізації у впускних магістралях підбираються ємності та довжини трубопроводів, що забезпечують подачу палива у режимі резонансу.

4. Використання наддуву в комбінації з додатковим охолодженням повітря. Це дає можливість підвищити густину паливної суміші.

5. Капсулювання двигунів. Цим досягається, передовсім, значне зменшення рівня шуму.

6. Зменшення розмірів форсунок. Це уможливлює обладнання додаткових каналів охолодження в головці блоку. Ефективне охолодження дає змогу підвищити питому потужність двигуна.

Трансмісія. Тут помітна тенденція до використання гідродинамічних передач (ГМП) та напівавтоматичних коробок передач (КП). Найбільш проявляється вона у конструкціях спеціального призначення - пожежних, будівельних, самоскидах. Хоча введення ГМП дещо підвищує витрату палива (за закордонними джерелами - на 8%). Але цей недолік намагаються компенсувати використанням електронних систем керування системою живлення. Широко використовуються ГМП на автобусах середнього та великого класу, які експлуатуються на міських маршрутах.

Передній міст. Тут найбільший інтерес представляє використання самоцентрувальних шворнів та підшипників ковзання з бронзи.

Ведучі мости. Новинками вважаються примусове змащування під тиском та використання подвійного очищення оливи. Останнє означає, що в картері створюються допоміжні екрани та магнітні уловлювачі, які затримують металічні продукти зносу в оливі.

Підвіска. Використовуються не тільки традиційні листові еліптичного типу ресори, але й комбіновані. У конструкціях останніх - лист з металу і декілька (наприклад, три) - з склопластику. Маса таких ресор на 30 кг менша, що зменшує загальну масу АТЗ, а також покращує показники їх матеріаломісткості. Є напрямки використання на вантажних автомобілях підвісок з поперечними листовими ресорами, пневматичних підвісок. Найбільше використовуються пневматичні підвіски на автобусах великого та середнього класів. Перспективними напрямками є використання:

а) підвищеного тиску, що дає змогу застосовувати пружні елементи малих розмірів;

б) напрямних пристроїв з протиклювною дією (хоча це підвищує, як правило, металомісткість конструкції);

в) електронних систем регулювання тиску в балонах підвіски та стабілізації кузова.

Кермове керування. Широко використовують кермові механізми з вмонтованими підсилювачами. На автомобілях середнього та важкого класу підсилювач є обов'язковим. Поряд з гідравлічним, використовуються також пневматичні підсилювачі. Вони показали достатню ефективність.

Гальми. Особливий інтерес являє собою використання на вантажних автомобілях дискових гальмових механізмів. Це зменшує масу і скорочує обсяг робіт з ТО і ПР. Барабанні гальмові механізми все більше виконують з автоматичними регуляторами зазору. Широкого застосування набуло використання замість кулачкових розтискачів клиновидних пристроїв. Все більше країн у законодавчому порядку виготовляють АТЗ з антиблокувальними системами (АБС).

На вантажних автомобілях і автобусах малого класу використовується гідравлічний привід. При цьому з підсилювачами навіть на легких вантажних автомобілях і мікроавтобусах. На важкого і середнього класу автомобілях та автобусах переважає пневмопривід.

Серед поширених напрямків розвитку конструкції гальмового механізму - використання сповільнювачів. Набули поширення сповільнювачі електродинамічного типу і гідросповільнювачі. Сповільнювачі використовуються переважно на важких вантажних автомобілях і автобусах, а також в умовах гір, дають ефект і в міському циклі.

Робоче місце водія. Тут зросло значення інформаційного забезпечення водія. Для цього широко використовується цифрова і звукова сигналізації. Крім цього, набули поширення анатомічні крісла та інші засоби підвищення комфорту водія. Зростає площа оглядовості за рахунок використання скла великих розмірів та раціоналізації виконання елементів кузова, кабіни (ті, що заважають оглядовості, виносяться за його межі). На зовнішніх дзеркалах використовують системи очищення і омивання. Бокове скло може мати обдування, що здійснюється за допомогою вентилятора або від повітря, що скеровується ззовні.

Велике значення має забезпечення пасивної безпеки водія. Для цього розробляються і впроваджуються нові бамперні системи, вдоконалюється конструкція кузова, засоби безпеки в кабіні (травмобезпечне кермо, подушки з нагнітанням повітря в момент удару тощо).

Тенденції розвитку закордонних легкових автомобілів.

Найбільш характерними є:

- підвищення паливної ощадливості та зменшення інших витрат;
- зменшення шкідливого впливу на природне довкілля;
- підвищення конструктивної безпеки;
- покращення комфортних умов.

Двигуни. Розширюється використання газорозподільчих систем з трьома та чотирма клапанами на циліндр. Все ширше використовуються системи електронного керування впорскуванням палива.

Поширюється використання наддуву. Застосовуються ротори з нових легких матеріалів і сплавів, ротори з керованим кутом атаки, спеціальні регулюючі клапанні системи в магістралі подачі робочої суміші, додаткове охолодження повітря (інтеркулери), що підвищує наповнення циліндрів і підвищує потужність. Провадяться роботи по створенню двигунів з високим та надвисоким коефіцієнтом стиску.

Для збільшення надійності системи живлення та зниження вартості застосовують карбюратори з електронним керуванням. В ньому, наприклад, головний дозуючий пристрій — звичайний, а системи холостого ходу, пуску і прогріву двигуна виконані з електронним керуванням. Тобто застосовується гібрид традиційної та електронної систем.

У європейських країнах, де дизельне паливо істотно дешевше від бензину (воно і екологічно чистіше), є великий попит на дизельні моделі легкових автомобілів. їх частка становить приблизно 50-60%. Використовуються, в основному, швидкохідні дизелі з безпосереднім впорскуванням. На них встановлюють паливні системи високого тиску.

Трансмісія. Тут потрібно відзначити різницю концепцій залежно від класу автомобіля. На автомобілях особливо малого класу напрям покращення конструкції - перехід на п'ятиступінчасту коробку передач. Там, де використовуються ГМП (автомобілі середнього класу і вище) чотириступінчасті передачі поступово витісняють триступінчасті. У керуванні трансмісією широко використовується електроніка. Ведуться роботи щодо впровадження безступінчастих трансмісій. На легкових автомобілях продовжує розширюватись частка таких, що мають привід коліс з формулою 4х4. Набувають переважного поширення передньопривідні автомобілі, причому для всіх класів.

Гальмівна система. Практично завершений перехід до дискових гальмових механізмів. Все ширше застосовуються електронні системи керування гальмівною системою, в тому числі і комбіновані системи електронного керування. Вони виконують функції АБС та перерозподілу крутного моменту між окремими колесами та осями під час розгону.

Підвіска. Поширюється застосування електронних систем керування параметрами жорсткості підвіски на окремих колесах, демпфуючої сили, рівня кузова (стабілізації його у поздовжній та поперечній площинах).

Кузов. Велика увага приділяється двом напрямкам - аеродинаміці та використанню нових матеріалів, застосуванню додаткового обладнання (електропривід склопіднімачів, обігрівання вітрового скла, обігрівання та дистанційне керування положенням дзеркала заднього виду, системи кондиціювання повітря, дистанційне керування замками дверей).

Найближчі перспективи розвитку конструкцій вітчизняних АТЗ. Вони наступні:

1. Очікується ширше використання дизельних двигунів на вантажних автомобілях і автобусах середньої та великої місткості. їх в найближчий час повинно бути не менше 40-50% від загальної кількості. Вантажообіг на них буде становити не менше 60%.

2. Використання стисненого та скрапленого газів не тільки на карбюраторних, але і на дизельних двигунах.

3. Застосування в конструкції автомобілів додаткових пристроїв для економії палива (електронне керування подачею палива з використовуванням інжекторного упорскування бензину, примусове відключення окремих циліндрів, пристрої безперервного контролю витрат палива), використання тепла охолоджувальної рідини і відпрацьованих газів, використання автоматичних коробок передач, установка редукторів задніх мостів з декількома передатними відношеннями, пристрої для контролю роботи АТЗ і фіксації його завантаження.

4. Використання агрегатів, механізмів, які підвищують комфортабельність перевезень, збереження вантажу, механізацію навантажувально-розванажувальних робіт (кондиціонери для південних умов, пневматичне підресорювання тощо). Покращити умови на міських автобусах можуть такі пристрої, як ліфти-площадки для інвалідів. Зауважимо, що поява додаткового обладнання на автомобілях та автобусах частково ускладнить проведення ТО та збільшить обсяги ПР. Для виконання цих робіт треба використовувати нове технологічне обладнання, додаткові пристрої.

5. Захист водія, пасажирів, пішоходів і персоналу, який обслуговує АТЗ. В цьому напрямку будуть вдосконалюватись конструкції окремих вузлів і агрегатів, підвищуватись показники їх ремонтопридатності. Повинні стати досконалішими системи автомобіля, які формують його активну та пасивну безпеки. Наприклад, слід очікувати встановлення бамперних систем, що відповідають європейським нормам з пасивної безпеки. Повинен бути дієвішим контроль за хімічним складом відпрацьованих газів автомобіля. Будуть здійснені заходи з покращення шумоізоляції.

6. Ширше використання автомобілів, розроблених з урахуванням особливостей категорій умов їх експлуатації. Це автомобілі у гірському виконанні, підвищеної прохідності, спеціалізовані автомобілі, в тому числі і для сільського господарства та сільської місцевості.

7. Для легкових автомобілів основним новим конструктивним впровадженням вважається перехід до передньопривідного виконання трансмісії. Крім цього, планується використання для них дизельних двигунів.

Зміни, які чекають вітчизняні автомобільні парки. Прогнозується істотне підвищення питомої частки автомобілів особливо малого та малого класів і зниження частки автомобілів середнього класу. Вони будуть, як правило, передньопривідними. Робота на таких невеличких автомобілях буде організована за принципом суміщення професій водія, експедитора і оператора із завантаження-розвантаження.

Повинна зрости частка причіпного складу. Передбачається, що значно збільшиться кількість спеціалізованих автомобілів - головним чином фургонів, в тому числі і рефрижераторів, цистерн і автомобілів, що обладнані перевантажувальними пристроями. В автобусних парках повинна зрости частка автобусів особливо малого та малого класів.

3 Лекція. Основні проблеми технічної експлуатації автомобілів та методи їх розв'язання

Підтримання працездатного стану АТЗ та відновлення їх ресурсу - непроста виробнича задача господарського комплексу країни. З цього приводу існує **шість основних проблем,** пов'язаних з технічною експлуатацією АТЗ.

Першою і, фактично, найважливішою є **підвищення експлуатаційної надійності АТЗ** до нормативних рівнів. Очевидно, що головним шляхом розв'язання цієї проблеми повинна бути відповідна державна технічна політика, спрямування автомобілебудування на випуск високонадійних Важливим також вважається застосування методів, способів та засобів технічної експлуатації АТЗ, створення оптимальної мережі об'єктів РОБ автомобільного транспорту (майстерень, цехів, заводів, станцій та пунктів ТО і ремонту АТЗ). До розв'язання цієї проблеми має відношення радикальне підвищення якості і мережі автомобільних доріг у державі.

Другою за важливістю проблемою ТЕА є **зниження затрат праці на утримання АТЗ** впродовж їх терміну служби. Відомо, що надійність колишніх вітчизняних АТЗ була і залишається такою, що затрати праці на збереження працездатності їх впродовж усього терміну служби у декілька (7-8 разів) перевищують затрати праці на їх виготовлення. Такий стан зумовлює потребу утримання одного слюсаря-ремонтника на 3-5 вантажних АТЗ та 1-2 автобуси. Очевидно, що проблему потрібно розв'язувати шляхом зниження затрат ручної праці, її механізацією, автоматизацією, збільшенням пробігів АТЗ між ТО і ремонтами через підвищення їх надійності та рівня експлуатації.

Третя проблема - це **скорочення споживання АТЗ паливно-енергетичних ресурсів.** Відомо, що на споживання АТЗ країни припадає приблизно 50% загального обсягу споживання господарським комплексом світлих нафтопродуктів. Зокрема щодо бензину, то його частка становить 65%, дизельного палива - 35%. Економії палива на автомобільному транспорті можна досягнути як своєчасним і правильним регулюванням чинної паливної апаратури АТЗ, так і застосуванням у їх конструкціях принципово нової, керованої електронікою, а також використанням нетрадиційних палив, в тому числі газів (стиснених та зріджених).

Четверта проблема ТЕА - **скорочення обсягів споживання інших видів матеріальних ресурсів,** зокрема запасних частин, ремонтно-технологічних матеріалів (електроди, зварний дріт, карбід кальцію, технологічні рідини - мийні розчини, електроліти тощо). Для прикладу, якщо легковий автомобіль-таксі на пробігу 100-150 тис. км споживає умовно 100% запчастин, то при збільшенні пробігу у 2 рази витрати запчастин збільшуються у майже 7 разів. Звідси можна зробити висновок про можливі шляхи вирішення - своєчасна заміна зношених та конструктивно недосконалих АТЗ; недопущення в експлуатації недосконалих конструкцій АТЗ; впровадження раціональних методів обліку та розподілу запасних частин, підвищення якості їх виготовлення.

П'ята проблема пов'язана із **забрудненням природного довкілля під час експлуатації АТЗ** (комерційної та технічної). Відомо, що середньостатистичний автомобіль, проходячи за рік в середньому 10 тис. км, викидає в атмосферу 370 кг оксиду вуглецю, 110 кг вуглеводнів, 20 кг оксидів азоту та сірки і 2 кг сажі навіть при справних системах живлення і випуску. Крім таких забруднень, автомобілі є джерелом викидів у природне довкілля (атмосферу, грунт, водний басейн) особливо канцерогенних сполук від зношування протекторів шин, а також відпрацьованих мийних розчинів, інших відходів ТЕА. У цьому зв'язку стають очевидними шляхи подолання цієї непростої проблеми. Це, і застосування нетрадиційних паливно-мастильних матеріалів, вдосконалення системи приготування і регулювання паливної суміші, уведення у конструкцію випускної системи допалювачів-каталізаторів, посилення екологічного контролю тощо.

Шоста, остання, проблема - пов'язана з ТЕА АТЗ - **підвищення безпеки використання** останніх з позицій як неушкодження їх, так і не травмування пішоходів, пасажирів.

Визначальну роль при цьому відіграє технічний стан АТЗ. Відомо, що майже 10% дорожніх транспортних пригод в Україні стається з причин несправності транспортних засобів. Виходячи з наведеного, завданням ТЕА є недопущення випуску на лінію технічно несправних АТЗ, посилення контролю за технічним станом їх не лише з боку технічної служби автотранспортних підприємств, але й самих водіїв.

На найближче майбутнє очікується розширення номенклатури об'єктів ремонтно-обслуговувальної бази, пов'язане з ускладненням конструкції АТЗ, використанням додаткового устаткування і його спеціалізацією. Це вимагає спеціалізації і кооперації виробничо-технічної бази, використання принципово нового обладнання. Поряд із спеціалізованими автомобільними центрами технічного обслуговування і ремонту провідних автомобільних заводів розвиватиметься мережа приватних невеликих майстерень і СТО як для автомобілів приватного сектора, так і державного. Розвиватиметься і конкуренція у наданні послуг різними об'єктами РОБ різних форм власності.

Зараз виконуються науково-прикладні дослідження та широко дискутуються питання з проблеми запровадження системи технічного обслуговування і ремонту АТЗ за потребою на основі результатів загального та поелементного діагностування. Власне підлягатиме регламентуванню та плануванню періодичностей та обсягів робіт не з ТО, а з технічного діагностування автомобілів. У таку систему покладено принцип запобігання відмов АТЗ та втрат ними працездатності. Передумовою запровадження її є розроблення та використання попереджувальних допусків по усіх конструктивних елементах автомобіля. **Попереджувальні допуски** - це сукупність значень діагностичних параметрів, яка розміщена між граничними та перед-відмовними їх рівнями. Якщо діагностуванням будь-якого агрегату чи вузла автомобіля встановлено вихід параметра за його передвід-мовні межі - це вказуватиме на потребу обов'язкового виконання відповідних профілактичних (регулювальних чи замінних) робіт. Очевидно, що не менш важливою передумовою є формування необхідного парку діагностичного обладнання (стендів), приладів та пристроїв з урахуванням їх сучасних та перспективних вітчизняних . (закордонних) конструкцій. Вважається, що цей напрям системи ТО і ремонту повинен розвиватися за двома варіантами:

• з контролем рівня надійності конструктивних елементів АТЗ;

• з контролем діагностичних параметрів, які визначають рівень технічного стану конструктивних елементів.

Щодо першого, то тут важливою буде потреба у розробленні методик і документації збору та опрацювання відповідної інформації про експлуатаційну надійність АТЗ і прийняття на цій основі адекватних інженерних рішень. Основними показниками надійності, які у повній мірі характеризують властивість безвідмовності є імовірність безвідмовної роботи АТЗ та параметр потоку відмов. Очевидно, фактичні значення їх будуть прийняті за визначальні для першого варіанту системи.

Другий варіант стосується ідентифікації технічного стану агрегатів АТЗ після відпрацювання ними заданого ресурсу. За результатами періодичного контролю (діагностування) повинні прийматися рішення про продовження їх експлуатації до наступної перевірки, або припинення та заміни їх новими чи відремонтованими.

Відомо, що такі системи почали розроблятися в Україні раніше (60-ті роки минулого століття). Ідеться на початку розділу, зокрема про так звану систему ОР-Д-УН (ОР - обов'язкові роботи; Д - діагностування; УН - усунення несправностей), у якій планові розподіли відповідних робіт повинні бути у межах: обов'язкові роботи -15-25% від загальної трудомісткості усіх робіт; діагностування - 8-12%; усунення несправностей - 65-75%. Система розроблена харківськими ученими під керівництвом професора Говорущенка М.Я. і була покладена в основу Положення-94, яке, як виявилося, для умов перехідного періоду в автомобільній галузі нашої держави, було передчасним й тому замінене простішим Положенням-98. Однак, у перспективі ми наближатимемося до такого принципу функціонування системи забезпечення працездатності автомобілів.

На це вказують досягнення автомобільно розвинених країн світу. У системі технічного обслуговування, наприклад, японських АТЗ не передбачено жорсткої періодичності та нумерації ТО для повнокомплектного автомобіля. Даються періодичності виконання відповідних операцій ТО окремих агрегатів (двигун, зчеплення, коробка передач, кермове керування, підвіска, гальмова система, карданні передачі) нового автомобіля - після 20 тис. км пробігу, а після цього ТО - через кожні 40 тис. км, але не рідше, ніж 1 раз на 2 роки; електрообладнання - через кожні 40 тис. км, але не рідше одного разу на 4 роки. При цьому чітко регламентовані переліки контрольно-діагностичних, регулювальних та замінних операцій (8-10 операцій).

Закордонні системи технічного сервісу АТЗ за весь термін їх служби поділені на 3 періоди: 1 - передпродажне ТО; 2 - ТО у період гарантійного терміну; 3 - ТО після гарантійного терміну. Гарантійні терміни для АТЗ різних фірм коливаються від 10-20 тис. км (0,5-1 рік) до 80-100 тис. км (5 років). Крім цього, продуценти працюють за окремими програмами щодо зниження витрат на експлуатацію своїх АТЗ за такими напрямами: вдосконалення конструкцій АТЗ з використанням високоякісних та зносостійких матеріалів; вдосконалення процесів ТО із застосуванням обов'язкового діагностування.

Бурхливий розвиток мікропроцесорної техніки на основі інтегральних технологій забезпечують побудову необхідних систем контролю, діагностування, опрацювання інформації та керування надійністю АТЗ через виконання відповідних ремонтно-обслуговувальних дій. Усі ці функції покладаються на сучасні ЕОМ, до яких під'єднується так звана периферія від мікропроцесорів, давачів, перетворювачів та засобів технічного діагностування. Весь процес ідентифікації технічного стану конструктивних елементів АТЗ, опрацювання діагностичної інформації й вироблення та прийняття відповідних рішень здійснюється через експертні комп'ютеризовані системи керування працездатністю автомобілів. Звісно, що такі системи виконують лише допоміжну важливу функцію, а реалізація безпосередньо технологічних процесів діагностування, ТО та ремонту автомобілів - за кваліфікованими виконавцями.

4 Лекція. Загальна характеристика нормативів ТЕА то методів їх визначення

Види нормативів та їх характеристика.

Будь-яке державне, муніципальне або приватне підприємство може ефективно працювати, маючи відповідні плани і програми виробництва і його розвитку. Для складання і реалізації цих планів і програм підприємство повинне мати в своєму розпорядженні обгрунтовані нормативи.

Під нормативом розуміється кількісний або якісний показник, який використовується для впорядкування процесу ухвалення і реалізації рішень.

За призначенням розрізняють нормативи, що регламентують

властивості виробів (надійність, безпека, продуктивність, вантажопідйомність, маса, габаритні розміри та ін.);

стан виробів (номінальні, допустимі і граничні значення параметрів технічного стану) і матеріалів (щільність, в'язкість, зміст компонентів, домішок та ін.);

ресурсне забезпечення (капіталовкладення, витрата матеріалів, запасних частин, трудові витрати);

технологічні вимоги, які визначають зміст і порядок проведення певних операцій і робіт ТО, ремонту та ін.

За рівнем нормативи поділяються на

державні (закони, стандарти, вимоги по дорожній, екологічній і пожежній безпеці та ін.);

регіональні, міжгалузеві (положення про технічне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту, правила технічної експлуатації);

галузеві і групові (група підприємств, об'єднання, холдінг);

внутрігалузеві і господарські (використовуються на підприємстві або групі підприємств, стандарти якості таін.).

Нормативи використовуються під час визначення рівня роботоздатності автомобілів і парку, плануванні обсягів робіт, визначенні необхідної кількості виконавців, потреби у виробничій базі, у технологічних розрахунках.

До найважливіших нормативів технічної експлуатації відносяться періодичність ТО, ресурс виробу до ремонту, трудомісткість ТО і ремонту, витрата запасних частин і експлуатаційних матеріалів.

Визначення нормативів проводиться на основі теоретичних передумов, аналітичних розрахунків і даних про надійність виробів, витратах матеріалів, тривалості і вартості проведення робіт ТО і ремонту.

Періодичності виконання профілактичних ТО.

Основний сучасний робочий документ системи технічного обслуговування та ремонту АТЗ - "Положення про технічне обслуговування та ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту" (Положення-98) - регламентує для різних видів АТЗ наступні періодичності виконання профілактичних ТО: ЩО -один раз на робочу добу незалежно від кількості робочих змін; для легкових автомобілів та автобусів – ТО-1 через 5 тис.км, ТО-2 через 20 тис.км.; для вантажних автомобілів, автобусів на базі вантажних автомобілів або з використанням їх базових агрегатів, автомобілів повнопривідних, причіпів, напівпричіпів - ТО-1 через 4 тис.км, ТО-2 через 16 тис.км.

Якщо у документації заводу-виготівника АТЗ вказані інші періодичності, ніж зазначені у Положенні-98, необхідно керуватися інструкціями заводу-виготівника.

Передбачається, що значення періодичності ТО можуть бути зменшені власниками АТЗ до 20% залежно від категорії умов їх експлуатації.

Альтернативою щодо періодичності ТО за пробігом АТЗ є періодичність у літрах (кг, т) спаленого палива. Процеси втрати працездатності автомобіля прискорюються або сповільнюються, залежно від кількості транспортної роботи, яку вони виконують. Ця робота може виконуватись лише за рахунок витраченого відповідного обсягу палива. З наближенням мо-

жна вважати, що автомобіль, витративши певну кількість палива, здійснить еквівалентну роботу A, тобто:

$$1000 \cdot l\,км \cdot H\,\frac{\text{літрів}}{100\,\text{км}} = Q\,\text{літрів} \equiv A\ \text{ткм},$$

де l - пробіг, км; H — лінійна норма витрати палива, л/100 км; Q -сумарна витрата палива на пробігу l, яка еквівалентна виконаній роботі A, т-км.

Можна також припустити, що ТО і ремонт АТЗ виконують після здійснення ним відповідної роботи, що рівнозначно витраті палива. Тобто, $A = Q$, л:

$$A = Q_n = l_1 H_1 + l_2 H_2 + l_3 H_3 + \ldots + l_n H_n = const\,,$$

де l_1, l_2, l_3 ... l_n - періодичність ТО автомобілів, яка зменшується (скоректована) у зв'язку із зростаючою скрутністю умов їх експлуатації, км; H_1, H_2, H_3,..., H_n - норми витрати палива (лінійна + додаткова), які збільшуються у зв'язку із зростаючою скрутністю умов експлуатації АТЗ, л/100 км.

Оскільки регламентовані періодичності пробігів АТЗ до відповідних РОД $l_{РОД}$ задаються для першої категорії умов експлуатації, а норми витрати палива H - для опосередкованих умов, то, очевидно, їх потрібно звести до однієї категорії - опосередкованої. В такому разі сумарну витрату палива Qc між окремими РОД можна визначити за формулою

$$Q_c = 0{,}01\ 0{,}77\ l_{РОД}\ H = 0{,}0077\ l_{РОД}\ H,\ \text{л},$$

де 0,77 - коефіцієнт коректування періодичності РОД для опосередкованих умов експлуатації АТЗ.

З урахуванням цього, періодичності пробігів за витратою палива вантажних АТЗ до капітального ремонту та ТО-1, ТО-2 становитимуть

$$Q_{c\,КР} = 0{,}0077\ l^{н}_{КР}\ (H_0 + H_д\ q\ \gamma\beta),\ \text{л};$$
$$Q_{c\,ТО\text{-}2} = 0{,}0077\ l^{н}_{ТО\text{-}2}\ (H_0 + H_д\ q\ \gamma\beta),\ \text{л};$$
$$Q_{c\,ТО\text{-}1} = 0{,}0077\ l^{н}_{ТО\text{-}1}\ (H_0 + H_д\ q\ \gamma\beta),\ \text{л};$$

для легкових автомобілів та автобусів

$$Q_{cРОД} = 0{,}0077\ \ l^{н}_{РОД}\ \ H_o.\ \text{л},$$

де $l^{н}_{КР}$, $l^{н}_{ТО\text{-}2}$, $l^{н}_{ТО\text{-}1}$ - нормативи пробігів АТЗ до відповідних РОД, км; H_o, $H_д$ - відповідно основна та додаткова норми витрати палива, л/100 км; q - номінальна вантажність АТЗ, т; γ, β - коефіцієнти використання відповідно вантажності та пробігу АТЗ.

Відомо, що заводи-виготівники та Положення вказують на періодичність профілактичних ремонтно-обслуговувальних дій для першої категорії умов експлуатації з коефіцієнтом використання пробігу АТЗ $\beta = 0{,}5$ і статичним коефіцієнтом використання вантажності $\gamma = 0{,}75$. Положення-84 передбачало, наприклад, що усі нормативи щодо РОД, потрібно прив'язувати до еталонних умов експлуатації АТЗ, які дещо уточнюють поняття першої категорії.

За еталонні умови прийнято роботу базових моделей автомобілів, які мають пробіг від початку експлуатації у межах 50-75% від норми пробігу до капітального ремонту, в умовах експлуатації 1-ї категорії у помірному кліматичному районі з помірною агресивністю довкілля. Технічні обслуговування і ПР повинні виконуватися при цьому у виробничій зоні АТП розміром 200-300 одиниць автомобілів, які становлять три технологічно сумісні групи.

Отже, якщо для певної моделі автомобіля розрахована сумарна витрата палива Q_c для пробігу $l_{РОД}$, рівному між профілактичними ТО для еталонних умов експлуатації, то інший, довільний автомобіль такої ж моделі, який експлуатується у будь-яких інших, важчих умовах, повинен бути зупинений для виконання ТО до витрати Q_c. Скоректовану періодичність в умовах, відмінних від еталонних, можна визначити із співвідношення:

$$L^k_n = \frac{L_n \cdot q_n}{q^k_n};\ \text{якщо}\ q^k_n / q_n = K_{kn},\ \text{тоді}\ L^k_n = L_n / K$$

тут L^k_n - відкоректована періодичність профілактичних ТО, км; L_n - періодичність, рекомендована заводом-виготівником для еталонних умов експлуатації; q_n - норма витрати па-

лива для цих же умов експлуатації $(q_{лін}+q_{доб})$ для $\beta = 0{,}5$; $\gamma = 0{,}75$, л/100 км; q^k_n - норма втрати палива для відкоректованих умов експлуатації, л/100 км; K_{kn} - коефіцієнт коректування пробігу за витратою палива.

Застосування цього методу дає змогу оминути громіздкі розрахунки кількості ТО через інші спеціальні коефіцієнти коректування умов експлуатації. Вважається також, що зміни у витратах автомобілем палива є параметром діагностування, який другорядним чином вказує на фактичний технічний стан АТЗ.

З іншого боку, якщо періодичність виконання профілактичних ТО регламентується лише витратою палива, то все ж, не враховується безпосередньо технічний стан автомобіля та його агрегатів. Крім категорій умов експлуатації АТЗ, на періодичність РОД, їх трудомісткість впливають й інші чинники, наприклад, природно-кліматична зона, у якій експлуатуються АТЗ, спосіб їх використання (поодинокий чи у складі автопоїзда тощо). Усі ці особливості відображаються відповідним коефіцієнтами коректування періодичностей РОД їх трудомісткостей і тривалостей виконання.

5 Лекція. Оптимізація періодичностей профілактичних впливів

Зрозуміло, що скільки б і яких коефіцієнтів не існувало, відобразити адекватно технічний стан АТЗ, його потребу в РОД - неможливо, оскільки вони емпіричні і незмінні. Існують методи, які враховують особливість експлуатації АТЗ, їх технічний стан. Це, перш за все, метод визначення періодичності РОД за **допустимим рівнем безвідмовності автомобілів (імовірнісний метод).** Вона враховує вибір такої періодичності, за якої імовірність відмов $P_b = F$ АТЗ не перевищить заданої допустимої величини, яку називають ризиком, або допустимою імовірністю його відмов - R_∂ (рис.5.1). Якщо брати до уваги протилежну величину, тобто імовірність безвідмовної роботи АТЗ, то:

$$P_{бр}\,(l_i \geq l_0) = 1 - P_б = 1\text{-}F \geq R\partial = \gamma,\ \text{тобто}\ l_0 = l_\gamma\ ,$$

тут l_i - пробіг автомобіля на відмови; l_o - оптимальна періодичність РОД; R_d - задана допустима імовірність його безвідмовної роботи; $F = 1\text{-}\gamma$ - ризик відмов АТЗ з імовірністю γ-відсотків; l_γ - γ -відсотковий пробіг АТЗ на відмови (тут γ-відсотковий пробіг АТЗ - це його пробіг, протягом якого він не досягне граничного стану із заданою імовірністю y, вираженою у відсотках).

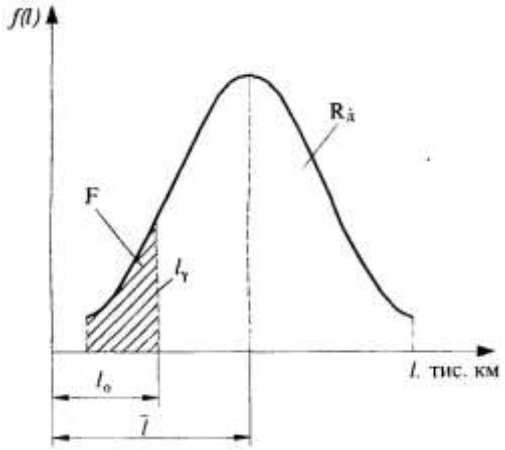

Рис. 5.1. До визначення періодичності РОД автомобілів за критерієм безвідмовності

Показником R задаються залежно від типу агрегатів та механізмів автомобіля: для тих, які безпосередньо впливають на безпеку руху, R_∂ =0,9-0,98; для усіх решти - R_∂= 0,85-0,90. Для різних гама-відсоткових ресурсів різних агрегатів автомобілів визначено за цією методикою періодичності, які значно менші від середніх значень $\underline{l}$.

Оптимальна періодичність l_o пов'язана з середнім пробігом $\underline{l}$ через коефіцієнт раціональної періодичності β :

$$l_0 = \beta \cdot \underline{l}\ .$$

Цей коефіцієнт враховує значення та характер варіації пробігів АТЗ на відмови, а також прийняті допустимі імовірності безвідмовної роботи R_∂ (табл. 5.1).

Очевидно, що, чим менша варіація пробігів АТЗ на відмови, тим більша періодичність РОД. Жорсткіші вимоги до безвідмовності АТЗ зменшують раціональну періодичність РОД. Встановлено, що виконанню окремо лише кріпильних робіт під час ТО відповідають значення β у межах 0,4-0,6, й цим забезпечується імовірність безвідмовної роботи АТЗ на рівні 0,85.

Таблиця 5.1 . Коефіцієнти раціональної періодичності виконання РОД, β

Задана імовірність безвідмовної роботи, R_∂	Коефіцієнт варіації пробігів, γ			
	0,2	0,4	0,6	0,8
0,85	0,80	0.55	0,40	0,25
0,90	0,67	0,37	0,20	0,10
0,98	0,52	0,28	0,13	0,06

Відомий також і **техніко-економічний метод** визначення оптимальної періодичності ТО, який ґрунтується на мінімізації питомих витрат на ремонт C_p та таких же витрат на ТО C_{m0} . Чим з більшою періодичністю / виконуються операції ТО (менше витрачається коштів), тим частіше вони відмовляють, потребуючи виконання більших обсягів ремонтних робіт. Графічно цей підхід ілюструється таким чином (рис. 5.2).

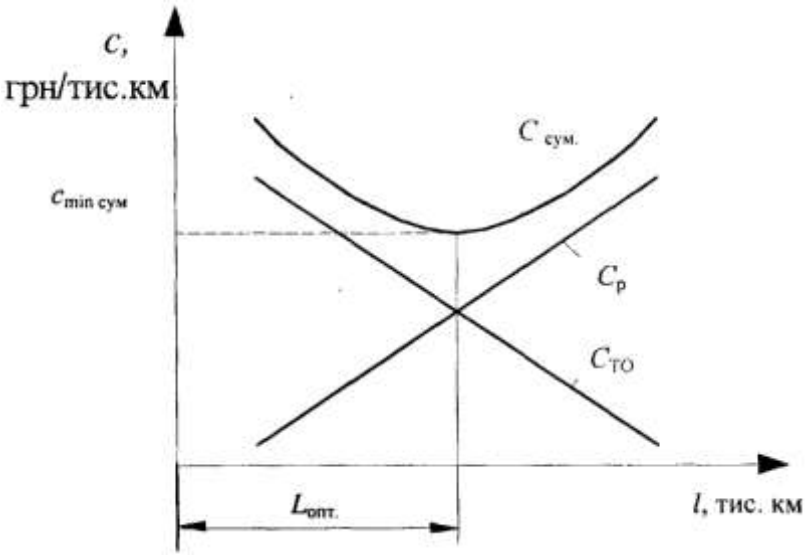

Рис.5.2. Графічна ілюстрація техніко-економічного методу визначення оптимальної періодичності виконання РОД

Оптимальна періодичність виконання профілактичних робіт буде, очевидно, при досягненні мінімуму сумарних витрат на ТО і ПР. Аналітично у загальному вигляді відшукання цього мінімуму записується так:

$$C_{min\ сум} = C_p + C_{TO} = \frac{c}{L} + \frac{d}{l} \rightarrow min,$$

тут c, d - відповідно, зведені витрати на ремонт і виконання операцій ТО, грн./тис. км, L,l - відповідно, ресурс автомобіля до ремонту і періодичність ТО.

Застосовують також **економіко-імовірнісний метод.** Він охоплює попередні і враховує економічні та імовірнісні чинники, дає змогу порівнювати різні стратегії підтримання та відновлення працездатності автомобілів. Першою стратегією виконання РОД є усунення несправностей АТЗ у міру їх виникнення (визначення періодичності ТО за критерієм безвідмовності) (рис.5.3). При цьому питомі витрати становитимуть:

$$C_{пит_1} = \frac{c}{F(\bar{l})} = \frac{c}{\sum_{l_{min}}^{l_{max}} l_i f(l) dl}, \text{ грн. /тис. км,}$$

де $\underline{l}$, l_{min}, $\underline{l_{max}}$ - відповідно, середній, мінімальний і максимальний пробіги на відмови АТЗ, км; c - разові витрати на усунення відмов (ремонт), грн.

Переваги цієї стратегії - простота, а недолік - невизначеність технічного стану автомобіля, який може відмовити у будь-який момент, а також утруднене планування та організація РОД.

Друга стратегія, альтернативна до першої, передбачає попередження відмов і пошкоджень, відновлення початкового або близького до нього стану автомобіля перед тим, як він досягне граничного стану. Вона реалізується за умови проведення ТО і попереджувальних замін деталей вузлів і механізмів автомобіля.

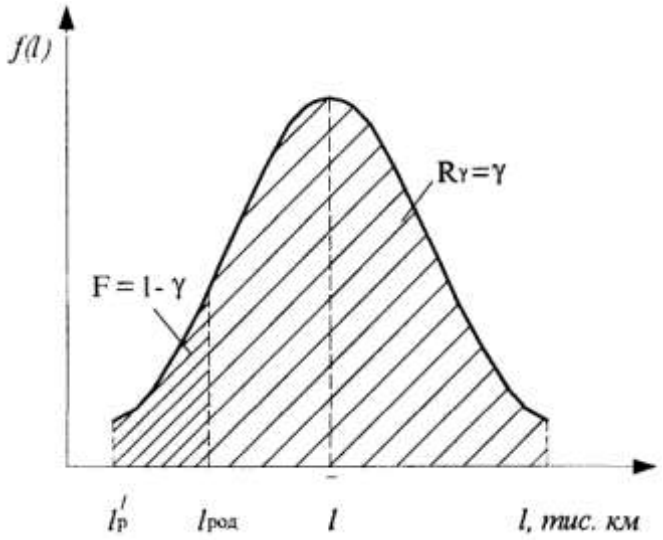

Рис. 5.3. Графічна інтерпретація реалізації РОД у міру виникнення відмов АТЗ

Механізм реалізації цієї стратегії РОД наступний. У зв'язку з тим, що теоретично відмова може виникнути у будь-який, скільки завгодно, малий період напрацювання АТЗ, то стратегія не може реалізуватись у чистому вигляді, а у змішаному. Тобто, допускають незначну імовірність відмов, а раціональну періодичність виконання попереджувальних РОД призначають в інтервалі $l_{min} < l_{РОД} < \underline{l}$. При цьому, ті відмови, які виникли раніше $l_{РОД}$ (тобто $l < l_{РОД}$) усувають у міру їх виникнення, тобто - за першою стратегією. Вартість виконання РОД і усунення відмов практично однакові для обох стратегій і рівні С. Для розв'язання задачі задаються, як правило, або допустимою імовірністю відмов *F,* чи необхідною імовірністю безвідмовної роботи R_o автомобілів на лінії. Тоді середня періодичність, за якою реалізуватиметься ця непопереджувальна частина стратегії, дорівнюватиме

$$l'_p = \frac{\sum_{l_{min}}^{l_{POД}} l_i \, f(l_i) dl}{\sum_{l_{min}}^{l_{POД}} f(l) dl}.$$

Попереджувальні роботи будуть виконуватися з періодичністю $l_{РОД}$, вартістю *d* та імовірністю *f(l)* (рис. 5.4). Переваги цієї стратегії полягають в наступному. По-перше, можна гарантувати відповідний рівень надійності АТЗ. По-друге, затрати на підтримання працездатного стану проведенням профілактичних РОД, як правило нижчі, ніж при відмовах АТЗ ($d < c$), які можуть супроводжуватися додатковими витратами на лінії (втрати від простоїв АТЗ, втрати, пов'язані з викликом технічної допомоги, буксируванням). По-третє, попереджувальний характер цієї стратегії створює умови для планування виконання профілактичних РОД. Недоліком цієї стратегії є те, що попереджувальні роботи зумовлюють недовикористання ресурсу автомобіля у зв'язку з тим, що середнє значення періодичності профілактичних РОД є меншим, ніж середнє напрацювання АТЗ на відмови ($l_{РОД} < l_P$).

Питомі витрати у цій стратегії визначаються як відношення середньозваженої вартості однієї операції РОД до середньозваженого пробігу з урахуванням виникнення відмов частини автомобілів:

$$C_{num_2} = \frac{cF + dR}{l_p R + l'_p F}, \text{ грн. /тис. км}$$

Продиференціювавши цей вираз по *l* і прирівнявши першу похідну до нуля, визначають оптимальну періодичність l_o, яка відповідатиме мінімуму C_{num2} . Після цього порівнюють питомі витрати за 1-ю та 2-ю стратегіями. Якщо виявиться, що $C_{num2} < C_{num1}$, то перевагу надають другій попереджувальній стратегії, тобто профілактичному ТО.

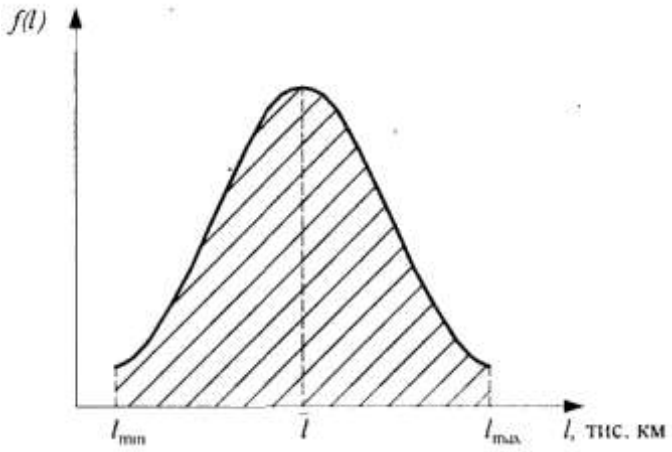

Рис. 5.4. Графічна інтерпретація реалізації РОД за напрацюванням

У цьому економіко-ймовірносному методі, подібно як і методі, основаному на безвідмовності, використовують поняття коефіцієнта раціональної періодичності β_o. Його визначають за формулою:

$$\beta_o = \frac{l_o}{\bar{l}} = \left[\frac{2K_n \upsilon}{(1+\upsilon^3)(1-\upsilon)} \right]^{\upsilon}, \text{ для } \upsilon < 1,$$

де $K_n = d / c$; υ - коефіцієнт варіації пробігів АТЗ на відмови для 1-ї стратегії.

Якщо ставиться мета розрахувати раціональну періодичність ТО з метою зниження інтенсивності потоку відмов автомобілів між двома послідовними ТО, то коефіцієнт раціональної періодичності (β'_o визначають за виразом:

$$\beta'_o \le \left[\frac{K_\omega}{0{,}5(\upsilon^2+1)} \right]^{\frac{\upsilon}{1-\upsilon}}, \text{ для } \upsilon < 1,$$

де $K_\omega = \omega_1 / \omega_2$ - коефіцієнт скорочення параметра потоку відмов автомобілів; ω_1 , ω_2 параметри потоків відмов при застосуванні відповідно попереджувальної стратегії та стратегії, за якою усуваються відмови за потребою (за черговістю їх виникнення).

6 Лекція. Визначення трудомісткостей і запасів запчастин

Нормування трудомісткості робіт

Поняття про трудовитрати і трудомісткість

Під час виконання операцій технічного обслуговування або ремонту мало знати, коли (періодичність ТО, ресурс) і що (операція змащення, регулювання, заміни та ін.) необхідно зробити. Важливо також знати потребу в трудовитратах і її варіацію, щоб правильно визначити чисельність і кваліфікацію персоналу, внесок трудовитрат в собівартість операцій і послуг, який на автомобільному транспорті досягає 30-45%.

Трудомісткість (t) це витрати праці на виконання в заданих умовах операції або групи операцій ТО або ремонту. Трудомісткість вимірюється в нормо-одиницях (людино-годинах, людино-хвилинах).

Розрізняють нормативну і фактичну трудомісткість.

Нормативна трудомісткість є офіційною юридичною нормою, прийнятою на даному підприємстві, фірмі і так далі, використовується для визначення чисельності виконавців; оплати праці виконавців (тарифна ставка, грн./год.); розрахунків з клієнтурою.

Фактична трудомісткість – витрати праці на виконання конкретної операції конкретним виконавцем. Є випадковою величиною і може відрізнятися від нормативної.

Види і структура норм трудовитрат ТЕА

На автомобільному транспорті діють наступні види норм:

диференційовані (пооперaційні), встановлюються на окремі операції або їх частини - переходи (зміна оливи; регулювання клапанного механізму; заміна свічки та ін.);

укрупнені – на групу операцій, вид ТО і ремонту (миття, кріпильні роботи під час ТО-1 або ТО-2, заміна веденого диска зчеплення та ін.);

питомі – ті, що відносяться до пробігу автомобіля, чол.-год/1000км (нормування поточного ремонту).

Норма трудомісткості $t_Н$ складається з наступних складових:

$$t_Н = (t_{оп} + t_{пз} + t_{обс} + t_{отд}) \cdot K.$$

Оперативний час $t_{оп}$ – час необхідний для виконання виробничої операції, поділяється на основний $t_{ос}$ і допоміжний $t_{всп}$. Протягом основного (або технологічного) часу здійснюється власне операція, наприклад регулювання гальм, заміна оливи в агрегаті, зняття агрегату з автомобіля і так далі. Допоміжний час необхідний для забезпечення можливості виконання операції, наприклад час установки автомобіля на пост ТО або ремонту, забезпечення доступу до об'єкту обслуговування або ремонту і так далі.

Підготовчо-завершальний час $t_{пз}$ – час необхідний для ознайомлення виконавця з дорученою роботою, підготовки робочого місця і інструменту, матеріалів, здачі наряду тощо.

Час обслуговування робочого місця $t_{обс}$ – час необхідний для догляду за робочим місцем та інструментом або устаткуванням, що використовується, (прибирання, зміна інструменту, розміщення устаткування і пристосувань тощо).

У нормі трудомісткості враховується також необхідність перерви на відпочинок і особисті потреби $t_{отд}$.

Час на обслуговування робочого місця, перерви на відпочинок і особисті потреби називається *додатковим.*

Коефіцієнт повторюваності *К* враховує вірогідність виконання, крім контрольної, і виконавської частини операції.

Методи нормування трудовитрат

Фактичний час (або трудомісткість) виконання операцій ТО і ремонту є випадковою величиною, що має значну варіацію, залежну від технічного стану і терміну служби автомобіля, умов виконання роботи, устаткування, що використовується, кваліфікації персоналу і інших чинників. Наприклад, умовна тривалість виконання однотипних операцій ТО і ремонту у робочих 1-, 2-, 3-, 4- і 5-го розрядів змінюється відповідно наступним чином: 1; 0,79; 0,71; 0,64; 0,61. Тому норма відноситься до певних обумовлених умов, наприклад типовим (типова

норма), конкретним умовам групи підприємств (внутрівідомча норма) або даного підприємства (внутрішньогосподарча або місцева норма). Типові післяопераційні норми наводяться у відповідних довідниках.

Нормативи трудомісткості обмежують трудомісткість зверху, тобто фактична трудомісткість повинна бути не більше нормативної за умови якісного виконання робіт.

При визначенні або зміні норм використовують

– так звану фотографію робочого часу;

– хронометражні спостереження;

– метод мікроелементних нормативів часу.

Норма оперативного часу визначається як середня величина ряду хронометражних спостережень за виконанням даної операції в конкретних умовах (кваліфікація персоналу, устаткування, що використовується, технологія ТО і ремонту). Решта елементів норми, як правило, визначається розрахунком як частка оперативного часу.

Наприклад, для слюсаря-ремонтника по відношенню до оперативного часу частка інших елементів норми (a_i) складає

підготовчо-завершальний	3,5%
обслуговування робочого місця	2,5%
перерва на відпочинок і природні потреби	6%
разом	12%.

Під час визначення умов проведення спостережень орієнтуються на передові методи і прогресивну технологію, проводять атестацію робочого місця, що сприяє підвищенню продуктивності праці ремонтних робочих. При виконанні загальної норми враховується коефіцієнт повторюваності *К*.

Для визначення технологічного часу може використовуватися *метод мікроелементних нормативів,* який полягає в застосуванні нормативів часу на прості рухи виконавця, наприклад корпусу, ніг, рук, які необхідні для виконання операції ТО або ремонту. Кожен з цих рухів оцінюється в абсолютних одиницях, що містяться в базовій системі мікроелементних нормативів (БСМ), або у відносних одиницях. Наприклад, ходьба (один крок) в певних умовах оцінюється в 60 відносних одиниць, рух руки, який точно контролюється в діапазоні 0,14-0,2 м, – у 55 од. тощо. Підсумовуючи всі відносні одиниці, що характеризують дії виконавця, отримують тривалість виконання операції у відносних одиницях. Перехід відносних одиниць до абсолютного часу проводиться за допомогою спеціальних коефіцієнтів.

Метод мікроелементних нормативів дозволяє також порівнювати різні варіанти організації робіт без проведення безпосередніх спостережень. Використання мікроелементних нормативів дозволяє також ефективно застосовувати ЕОМ при нормуванні трудомісткості.

Визначення нормативів трудомісткості.

Нормативи трудомісткості розраховані на повне або часткове поєднання таких умов: перша категорія умов експлуатації; базові моделі автомобілів; на автотранспортному підприємстві виконується ТО і ремонт 200...300 од. рухомого складу, об'єднаних у три технологічно сумісні групи; пробіг від початку експлуатації становить 50...75 % пробігу до КР; рухомий склад працює в помірному кліматичному районі; оснащення АТП засобами механізації — згідно з Табелем технологічного устаткування. У наведених нормативах трудомісткості ЩО охоплює трудомісткість ручних прибиральних і мийних робіт.

До нормативів ТО-1 і ТО-2 не входить трудомісткість ЩО. Трудомісткість додаткових робіт СО до трудомісткості ТО-2 становить 50 % – для дуже холодного і дуже жаркого сухого кліматичних районів, 30 % – для холодного і жаркого сухого районів, 20 % – для інших районів.

Визначення потреби в запасних частинах

Призначення і види норм витрати запасних частин

Потреба в запасних частинах для ТО і ремонту виявляється в процесі експлуатації і визначається надійністю виробу; рівнем технічної експлуатації; умовами експлуатації.

Потреба в запасних частинах диктує попит на них; визначає розмір запасів на підприємствах, об'єм і періодичність замовлень; визначає фінансові витрати на придбання і зміст запасних частин, які, наприклад, під час ПР досягають 40%.

Потреба в запасних частинах оформляється у вигляді норм витрати. Види норм:

фінансові – середні питомі витрати на запасні частини, що витрачаються на експлуатацію, зокрема по видах ТО і ремонту (ТО-1, ТО-2, ТР), грн./1000 км. Застосовуються для парку автомобілів під час планування витрат. Визначаються узагальненням досвіду, даними по фактичних витратах, аналітичними розрахунками;

номенклатурні – встановлюють середню витрату конкретної деталі в штуках на *n* автомобілів за рік (у Росії *n* = 100). Містяться в каталогах заводів-виробників, номенклатурних зошитах, у дистриб'юторів. Включають від 400 до 800 найменувань деталей;

індивідуальні – розробляються для конкретного АТП, фірми, маршруту. Зважають на специфіку експлуатації.

Методи визначення норм витрати запасних частин

У основі розрахунку всіх норм – дані про надійність і умови експлуатації автомобілів.

Аналітичний (точний) – використання даних за провідною функцією потоку відмов або замін *Ω(t)*.

$$I = \frac{\Omega(t)}{t} \cdot 100,$$

де *t* – тривалість періода (у роках) для якого отримано значення *Ω(t)*.

Для оцінки фактичної витрати і норм застосовуються наближені методи.

Метод 1 – за ресурсом до 1-ої заміни

$$I_2 \approx \frac{L_{\bar{a}}}{\eta \cdot L_1} \cdot 100$$

де $L_{\bar{a}}$ – середній річний пробіг автомобіля;

L_1 – ресурс до 1-ої заміни деталі;

η – коефіцієнт відновлення ресурсу.

Метод можна застосовувати, якщо $\eta \cdot L_1 < L_{\bar{a}}$.

Метод 2 – за середнім числом замін деталей за термін служби автомобіля (агрегату) з урахуванням варіації ресурсу деталі υ. Для деталей з ресурсом, який наближений до середньорічного пробігу автомобіля $L_{\bar{a}}$ середню норму витрати доцільно визначати за повний термін служби, з урахуванням варіації ресурсу деталі за формулою

$$I_2 \approx \frac{100}{t_a} \cdot \left[\frac{L_{\bar{a}} \cdot t_a - L_1}{\eta \cdot l_1} + 0{,}5 \cdot \left(\frac{\upsilon^2}{\eta} + 1 \right) \right].$$

Із збільшенням значення коефіцієнта варіації υ збільшується норма витрати деталей. Під час збільшення інтенсивності експлуатації $L_{\bar{a}}$, тобто скороченні терміну служби автомобіля $t_{\bar{a}}$, норма витрати деталей зростає.

Чинники збільшення витрати запасних частин

На витрату запасних частин впливають наступні основні чинники:

скорочення надійності (ресурсу) до першої і подальших замін (якість виготовлення, ТО і ремонту);

погіршення якості відновлення (скорочення η);

збільшення варіації ресурсу деталі (υ, σ);

збільшення інтенсивності експлуатації (добового і річного пробігу);

збільшення загального терміну служби автомобіля $t_{\bar{a}}$ (старіння, скорочення η).

Оцінка і порівняння методів визначення норм

Найбільш точну оцінку дає перший метод – за *Ω(t)*;

під час малих ресурсів деталей $L_2 < L_{\bar{a}}$ розбіжність між методами незначна;

під час оцінки витрат тільки за ресурсом до першої заміни похибка найбільша;

урахування варіації ресурсу деталі дає значне уточнення норм під час великих варіаціях $\upsilon > 0.3…0.4$ і значних ресурсах деталей $\eta \cdot L_2 < L_{\bar{a}}$.

Таким чином, наявність об'єктивної інформації про надійность (Ω, L_2 , η) і умови експлуатації автомобілів дозволяє підвищити точність визначення норм, забезпечити надійну роботу автомобілів, скоротити витрати на запасні частини.

7 Лекція. Робочі та руйнівні процеси в агрегатах

Технічний стан АТЗ обумовлений дією на АТЗ багатьох чинників, особливостями проходження в них відповідних процесів.

Процеси, які проходять в АТЗ, поділяються на **робочі, допоміжні та руйнівні.**.

Робочі процеси - це корисні процеси, які визначають функціонування автомобіля в цілому та його конструктивних елементів (деталей, вузлів, механізмів, агрегатів, систем). До них належать процеси приготування паливної суміші; процеси перетворення хімічної енергії палива, під час його згоряння у теплоту; перетворення теплової енергії у механічну обертання колінчастого вала; процеси передачі та трансформування механічної енергії; процеси кочення автомобільного колеса, поглинання енергії підвіскою, процеси перетворення кінетичної енергії рухомого АТЗ у теплову під час гальмування. Отже, робочі процеси призначені для надання АТЗ його основних експлуатаційних властивостей.

Допоміжні процеси не створюють відповідних експлуатаційних властивостей, однак сприяють нормальному проходженню робочих процесів, а також забезпечують можливість їх проходження. До допоміжних належать процеси охолодження двигуна, мащення поверхонь спряжень, які працюють в режимі тертя, процеси автоматичного керування параметрами робочих процесів.

Руйнівні процеси - це такі, проходження яких зумовлює погіршення технічного стану АТЗ і, як наслідок, втрату показників експлуатаційних властивостей. Мета ТЕА - підтримання технічного стану АТЗ на нормативному рівні шляхом сповільнення цих руйнівних процесів.

В результаті проходження робочих та допоміжних процесів деталі його агрегатів, вузлів та систем з часом зношуються, старіють, ржавіють, втомлюються, втрачаючи свої геометричні параметри та фізико-механічні властивості, тобто погіршується технічний стан АТЗ. Отже, між робочими, допоміжними і руйнівними процесами є взаємозв'язки, які проявляються з ростом тривалості експлуатації АТЗ.

Нехай показник ε відображає зміну в часі t показників його експлуатаційних властивостей. Очевидно, що функція $\varepsilon(t)$ є спадною криволінійною (рис. 7.1) в результаті дії на робочі процеси руйнівних. У цей же час, якщо на початку експлуатації АТЗ показник R, що характеризує зношеність АТЗ, дорівнював нулеві, то за час t він набуває криволінійної зростаючої тенденції $R(t)$.

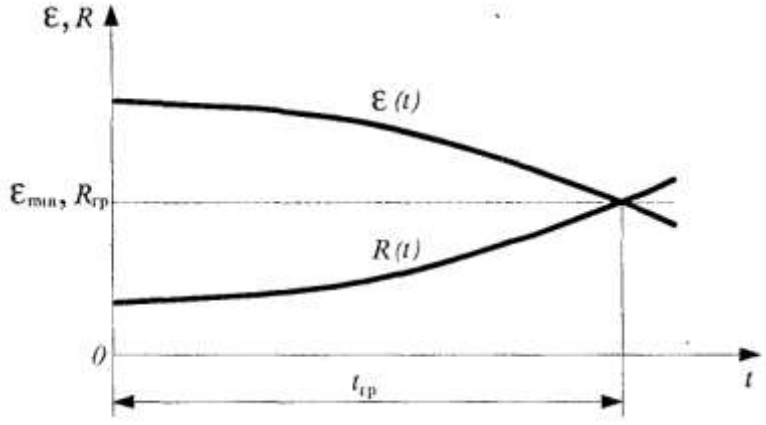

Рис. 7.1. Графічна інтерпретація взаємозв'язків між проходженням робочих, допоміжних та руйнівних процесів у машинах

Якщо технічними умовами на безпечну експлуатацію АТЗ встановлено граничне значення показника його технічного стану $R_{гр}$, при досягненні якого використання його за призначенням повинно бути припинене, то таким чином отримують граничний термін використання $t_{гр}$. У точці $t_{гр}$ робочі процеси характеризуються мінімальною ефективністю ε_{min}.

З метою видовження часу $t_{гр}$ через певні проміжки часу $t_{пер}$ для АТЗ виконують відповідні профілактичні ремонтно-обслуговувальні дії, під час яких виконуються регулювання, зміна зношених деталей на нові, ремонт та відновлення їх. В результаті - покращується технічний стан АТЗ (стрибок ΔR вниз) і підвищується ефективність робочих процесів (стрибок $\Delta\varepsilon_{min}(t)$ догори) (рис. 7.2).

Очевидно, що виконанням з відповідно обґрунтованою періодичністю $t_{пер}$ РОД отримуємо видовження терміну служби АТЗ ($t_{гр.теа} > t_{гр}$). Забігаючи наперед, зазначимо тут, що, якщо через певний $t_{пер}$ виконуються лише регулювальні роботи, то стрибок ΔR чи $\Delta\varepsilon$ буде незначним і відповідно подальший перебіг кривих буде із значним підйомом чи спаданням. Якщо ж виконуються у цих періодах $t_{пер}$ заміни зношених деталей, їх ремонт чи відновлення, стрибки ΔR і $\Delta\varepsilon$ більші, а поведінка подальших кривих пологіша.

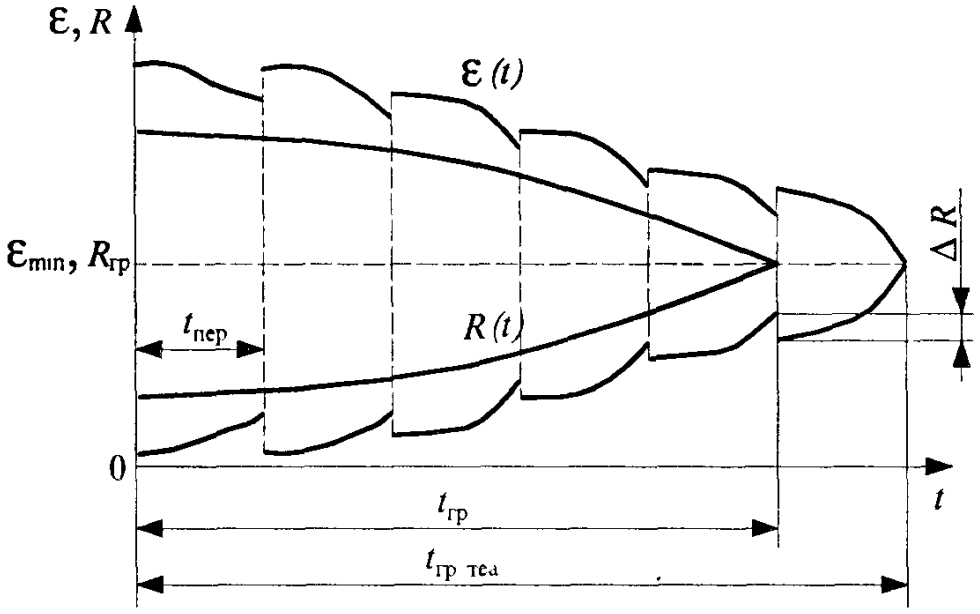

Рис. 7. 2. Графічна інтерпретація взаємозв'язків між проходженням робочих та руйнівних процесів за умов виконання профілактичних РОД

У першому разі виконують ТО $\Delta\varepsilon(t)_{то}$, у другому - ремонт АТЗ $\Delta\varepsilon(t)_{Р}$ (рис. 7.3). У відповідних умовах та режимах експлуатації АТЗ, для їх різних видів перебіги зміни цих залежностей характеризуються різними інтенсивностями. Вони залежать, у першу чергу, від ступеня впливу таких чинників як інтенсивність зношування пар тертя, старіння деталей їх деформацій тощо. Вони, як відомо, належать до таких, які викликають поступові відмови АТЗ чи їх агрегатів. Крім цього, існує категорія чинників (втрата міцності матеріалів деталей, їх поверхневе та об'ємне руйнування через дефекти у їх виготовленні чи порушенні режимів експлуатації), вплив яких на працездатність АТЗ носить непрогнозований характер, що призводить до раптових відмов. Ці дві групи чинників визначають фактично рівень технічного стану АТЗ. Для характеристики їх впливу використовуть функцію ймовірності безвідмовної роботи автомобілів, чи їх окремих агрегатів (механізмів, спряжень)

$$F(t) = 1 - [1-F_1(t)]\,[1-F_2(t)]\ ,$$

де $F1(t)$, $F2(t)$ - імовірності безвідмовної роботи АТЗ при діях чинників, які зумовлюють, відповідно, поступові та раптові їх відмови.

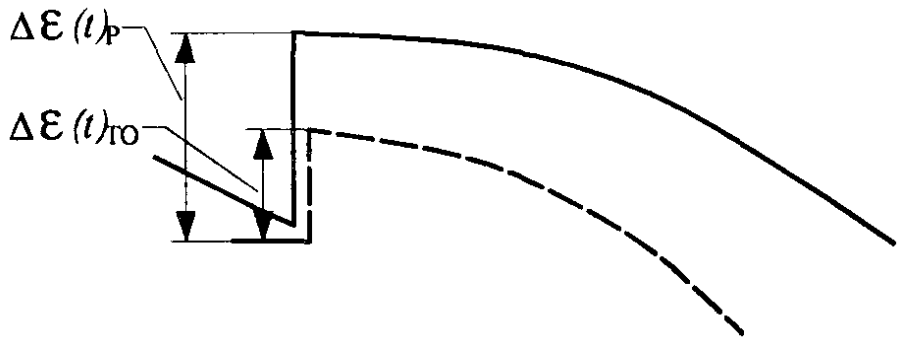

Рис. 7. 3. Перебіг змін робочих процесів в АТЗ за умови виконання його ТО та ремонту

Якщо встановлені закономірності розподілів цих відмов як випадкових величин, то, користуючись цим виразом, можна оптимізувати (за критерієм забезпечення нормативних значень імовірності безвідмовної роботи (ІБР) автомобілів та їх окремих агрегатів) періодичність РОД для конкретних умов та режимів експлуатації АТЗ. Встановлено, наприклад, що розподіл імовірності безвідмовної роботи легкових АТЗ за поступових їх відмов підпорядкований гамма-законові, а за раптових - експоненційному з відповідними густинами функцій

$$f_1(t)=\frac{1}{(r-1)!}\omega^r t^{r-1}e^{-\omega t};\quad f_2(t)=\lambda e^{-\lambda t},$$

де r - кількість відмов (виходів з ладу агрегатів АТЗ) за період часу t, що розглядається (наприклад, між проведенням суміжних РОД); ω - параметр потоку відмов агрегатів; λ - інтенсивність раптових відмов агрегатів АТЗ. Тоді функція зміни технічного стану АТЗ, або ж імовірність їх безвідмовної роботи набуде вигляду

$$F(t)=1-\left[1-\sum_{k=1}^{r-1}\frac{(\omega t)^k}{k!}e^{-\omega t}\right]\cdot\left(1-e^{-\lambda t}\right),$$

тут k - поточні цілі значення відмов агрегатів АТЗ.

Знаючи нормативні (допустимі) межі імовірності безвідмовної роботи окремих агрегатів АТЗ, тобто ліву частину наведеного виразу, знайдені попередніми дослідженнями (наприклад, за попередній рік) значення ω та λ, визначають необхідну, оптимізовану, періодичність t виконання ремонтно-обслуговувальних дій щодо АТЗ чи його агрегатів.

8 Лекція. Причини втрати працездатності автомобілів

Ефективність використання АТЗ проявляється через 11 експлуатаційних властивостей: динамічність (тягова і гальмова), керованість, стійкість, прохідність, плавність ходу, паливна ощадливість, міцність, надійність, пристосованість до завантаження-розвантаження, пристосованість до ТО і Р.

Під **динамічністю АТЗ** розуміють його властивість перевозити вантажі і пасажирів з максимально можливою і безпечною швидкістю у відповідних реальних дорожніх експлуатаційних умовах. Динамічність АТЗ проявляється через тягові та гальмові його властивості.

Тягова динамічність - максимально можлива швидкість; максимальні коефіцієнти опору дороги, який долає АТЗ на 1-й та вищих передачах; динамічний чинник (відношення колової сили на колесах АТЗ до його маси); тривалість і шлях розгону; максимальне прискорення при розгоні.

Гальмова динамічність - гальмовий шлях; максимальна гальмова сила; нерівномірність розподілу її між бортами АТЗ; максимальне сповільнення.

На прояв властивості динамічності АТЗ при його нормативному технічному стані у найбільшій мірі впливають умови експлуатації, які характеризуються, у свою чергу, дорожніми, рельєфними та транспортними умовами.

Очевидно, що основним чинником, який зумовлює зниження показників динамічності АТЗ, є фактичний технічний стан його відповідних агрегатів, систем та механізмів. Стосовно до автомобіля під технічним станом його потрібно розуміти сукупність змінних в процесі виробництва та експлуатації його властивостей, які характеризуються на певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією.

Погіршення технічного стану агрегату, системи чи механізму АТЗ має негативний вплив на показники КЕА, знижується безпека руху АТЗ.

За умови поступових (не раптових) відмов АТЗ зміну параметра Y, який характеризує технічний стан його на пробігу /, добре описують функції двох видів:

раціональна функція п-го порядку

$$Y = a_0 + a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \ldots + a_n l^n;$$

або степенева

$$Y = a_0 + a_1 l^b,$$

тут а і b - коефіцієнти, які характеризують інтенсивність зміни параметрів технічного стану АТЗ.

Наприклад, закономірність зміни параметру технічного стану гальмівної системи (зазор між фрикційними накладками та поверхнями барабанів чи дисків) апроксимується лінійним рівнянням виду:

$$Y = a_0 + a_1 l,$$

де ао - початковий (номінальний) зазор між поверхнями; al - інтенсивність зміни цього зазору з ростом пробігу l АТЗ.

Вплив техніко-технологічних та експлуатаційних чинників на втрату працездатності АТЗ.

Причини, які викликають втрату працездатності, пов'язані із впливами на машину різних видів енергії (механічної, хімічної, теплової, радіаційної тощо), в результаті чого порушуються початкові параметри, які характеризують робочі процеси машини. Внаслідок дії цих енергій у матеріалах деталей та на їх поверхнях розвиваються процеси зношування, корозії, повзучості, деформації, що зумовлюють втрату міцнісних характеристик цих матеріалів. Виникають також пошкодження у вигляді тріщин, погнутостей, надмірного поверхневого зносу деталей тощо. Усі ці негативні наслідки приводять до того, що з часом t початкові робочі параметри втрачають свої первинні значення, характеризуючи, таким чином, технічний стан кожного конструктивного елемента відповідною функцією X1(t), X2(t),...,Xn(t).

Маючи ці функції, оцінюють відповідними показниками надійність елементів, або машини в цілому для конкретного моменту часу t, що розглядається: імовірність безвідмовної роботи P(t); коефіцієнт запасу надійності Кн, ресурс Тр . Схема причинно-наслідкових зв'язків при взаємодії машини із середовищем, з позицій втрати нею первинно закладених параметрів, зображена на рис. 8.1.

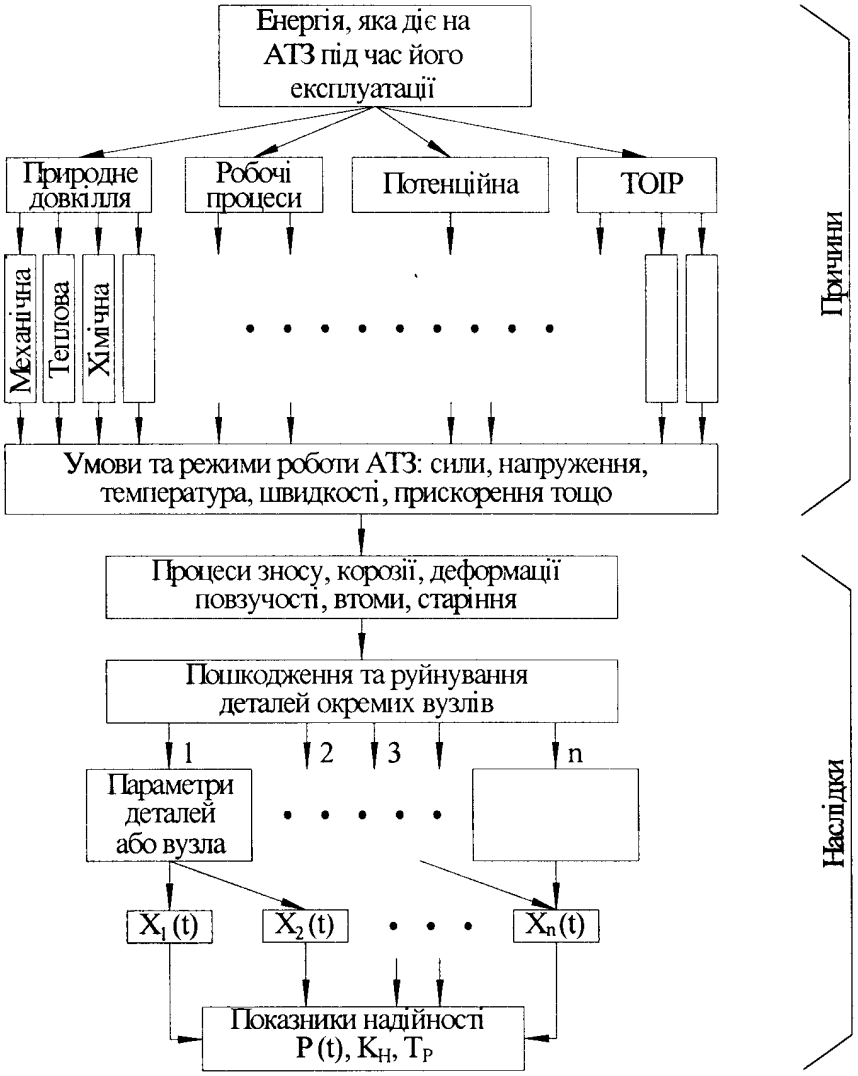

Рис. 8.1. Схема причинно-наслідкових зв'язків у формуванні показників експлуатаційної надійності АТЗ

Залежно від того, яка інтенсивність енергетичного впливу на машину, процеси (руйнівні) можуть призводити до пошкоджень її (руйнувань, втрати працездатності), до змін початкових параметрів у допустимих межах або поза ними. Якщо машина втрачає працездатність, йдеться про її відмову і неможливість виконувати свої функції, якщо не втрачає і змінене значення початкового параметра у допустимих межах *(X1(t)<* [X1]; *X2(t)<[X2], ..., Xn(t)<[Xn]),* відмова її не наступає і використання машини за призначенням продовжується.

Для багатьох елементів машин експлуатація їх здійснюється до 1-ї відмови або впродовж інтервалу часу *To,* коли забезпечується задана ймовірність безвідмовної роботи. Після цього виконуються відповідні профілактичні роботи (ТО і Р), якими відновлюють працездатність, і машина знову експлуатується.

Перебіг процесу із втратою машиною працездатності через відмови її елементів зображено на рис. 8.2 а. Нехай *X* - один із параметрів, який характеризує працездатність АТЗ і оцінюється показником *a* (наприклад, фактичні потужність ДВЗ чи динамічний показник), а

δ - та допустима частина його, на яку може змінюватися параметр без порушення працездатного стану.

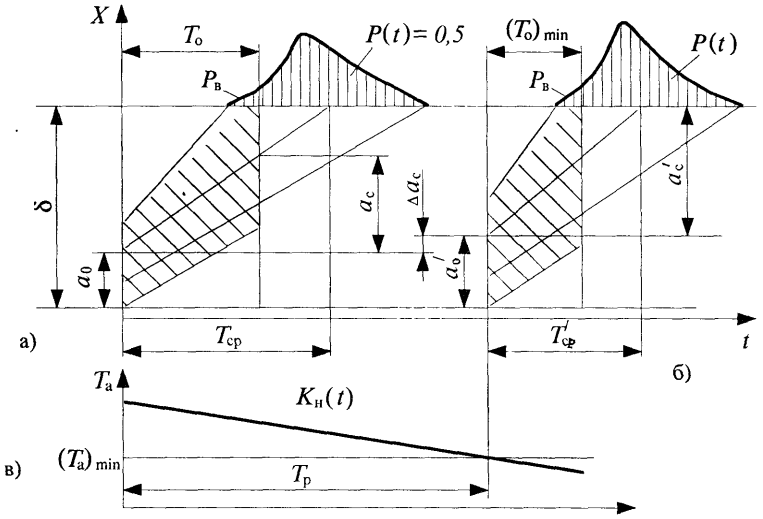

Рис. 8.2. Схема втрати машиною працездатності під час експлуатації її до першої відмови:
a0 , a|0 — початкові значення параметра;
a_c, a'_c - значення параметрів, які визначають тривалість експлуатації для, відповідно, $T_0 \rightarrow T_{ср}$; $T_0 \rightarrow \min(T_0)$

Очевидно, що тривалість *To* поточної експлуатації машини є випадковою величиною і характеризується якимось законом розподілу. При дії на неї різноманітних чинників тривалість періоду T_0 наближається до його середнього значення $T_{ср}$ (або це може відповідати рівності фактичної імовірності безвідмовної роботи заданій імовірності $P(t) \le [P(t)]$).

Граничний стан АТЗ наступає тоді, коли T_o досягає за умовами експлуатації найменш надійного елемента його мінімально допустимого значення $(T_o)_{min}$. Воно визначає, власне, ресурс АТЗ T_p за параметром T_o (рис. 8.2 б).

Для наведеної на рисунку закономірності **коефіцієнт запасу надійності машини** можна визначити із співвідношення

$$K_н = T_0(t)/(T_0)_{min},$$

де $T_0(t)$ - тривалість безвідмовної роботи АТЗ до заданого рівня надійності, який визначається допустимим значенням імовірності безвідмовної роботи $[P(t)]$.

При досягненні T_O мінімально допустимого значення, тобто для $T_0(t)=(T_0)_{min}$ отримують, що $K_н = 1$ і тоді $t = T_p$ (див. рис. 8.2 в).

Особливість такої експлуатації АТЗ полягає в тому, що вже за перший період його безперервної роботи досягається граничний стан по одному із параметрів (a_c). Це припустимо тоді, коли є можливість технічним обслуговуванням відновити втрачену працездатність тому, якщо зношеність решти елементів АТЗ ще не досягла за цей період граничного стану. У подальшій експлуатації АТЗ знос решти елементів призводить до зменшення запасу надійності, який залишився після ТО, і тривалості наступних періодів працездатності АТЗ очевидно скорочуються. Це можна бачити на схемі (б) рис. 8.2: інтенсивність зміни показника параметра *a* вища (прямі, які показують це є стрімкішими, ніж на схемі (а).

Закономірності втрати працездатності АТЗ.

Під час експлуатації АТЗ неможливо оцінити власне той період T_{0i}, який відповідає заданій імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ тому, що закон розподілу та його параметри не є постійними та однаковими. Отже, визначальним критерієм для оцінки надійності АТЗ за наведеною вище схемою перебігу його експлуатації буде **середнє значення тривалості без-**

відмовної роботи $T_{ср}$, як **пробіги на відмови** (а не до першої відмови), які відповідають імовірності безвідмовної роботи *P(t) = 0,5.*

Тоді за зміною середнього значення тривалості експлуатації АТЗ на відмови й необхідно оцінювати рівень його працездатності. У цьому разі граничний стан АТЗ наступить за умови, коли середній час (пробіг) між відмовами (або параметр потоку відмов ω = 1/Тср) стане меншим допустимого значення $T_{ср.min}$ Запас надійності у кожному періоді експлуатації АТЗ можна визначати із співвідношення:

$$K_н = T_{ср}(t) / T_{ср.min} = (\omega_{доп} / \omega\ (t),$$

тут ($\omega_{доп}$ - допустиме значення параметру потоку відмов елементів АТЗ.

Має сенс розгляд проблеми підвищення надійності машин у зв'язку з рівнем, до якого її підвищувати, які саме показники надійності брати за основні (визначальні). Відомо, що показники надійності пов'язані, як правило, з показниками, які характеризують рівень експлуатаційних властивостей машин і є протилежними один одному. Так, наприклад, чим більша потужність розвивається форсованими двигунами (підвищені показники тягової динамічності АТЗ), тим менший їх ресурс, а відтак, АТЗ. При створенні машин вибирають компромісне рішення.

По усіх машинах нормуванню підлягають, в першу чергу, ймовірність безвідмовної роботи *P(t)* з оцінкою їх ресурсу T_p, впродовж якого вона регламентується. Для високонадійних машин (чи їх систем і механізмів), у яких $P(t) \rightarrow 1$, визначається запас надійності K_H . Для них ресурс буде зумовлюватися не тільки значенням цього запасу, але й швидкістю його зміни у часі $K_H(t)$. Оскільки для кожного із параметрів машини, за якими визначають показники надійності, закономірності змін $K_H(i)$ можуть мати різний характер, запас надійності цілої машини може лімітувати під час її експлуатації то один, то інший параметр.

У різних галузях машинобудування розроблено класифікатори (в тому числі й у автотракторобудуванні), якими конструкція машини поділена на основні вузли та агрегати щодо категорій (класів) за допустимою імовірністю відмов або безвідмовної роботи. Очевидно, що, чим вищі вимоги до надійності машини, тим більше допустиме значення [P(t)]. Для загального випадку **градація машин за класами надійності** поділена таким чином:

Клас надійності	0	1	2	3	4	5
Допустиме значення *[P(t)]*	<0,9	>0,9	>0.99	>0,999	>0,9999	1,0.

Очевидно, що до нульового класу відносять вузли та деталі, відмови яких не впливають істотно на роботу машин (без негативних наслідків). Для них нормованими показниками можна брати середній термін служби, напрацювання на відмови або параметр потоку відмов. Для АТЗ - це усі конструктивні елементи його, крім тих, які впливають на безпеку руху, навантажувально-розвантажувальних робіт.

Класи 1-4 характеризуються підвищеними вимогами щодо безвідмовності машин (до речі, номер класу відповідає кількості дев'яток після коми). П'ятий клас - це надзвичайно високонадійні машини чи їх елементи, відмови яких протягом *Tp* неприпустимі. Вузли та агрегати АТЗ, які впливають на безпеку транспортних процесів (гальмівна система, кермове керування, світлова сигналізація, підйомники платформ), належать до другого класу надійності.

9 Лекція. Тертя та зношування як основа процесів втрати працездатності

Класифікація руйнівних процесів, які погіршують технічний стан АТЗ.

Серед руйнівних процесів, які супроводжують весь термін служби АТЗ, погіршуючи його технічний стан, можна виділити (за ознакою моменту настання та тривалості їх проходження) два основних види:

такі, що призводять до **поступових змін параметрів** технічного стану внаслідок поступового нагромадження у матеріалах деталей негативних результатів;

ті, що призводять до **раптових змін параметрів** технічного стану деталей до такого рівня, який супроводжує їх руйнування.

Перший вид процесів можна віднести до нормальних, пов'язаних з природними закономірностями зношування та старіння деталей.

Раптові руйнівні процеси є, як правило, наслідками прихованих конструктивно-технологічних вад, непередбачуваних різких змін умов та режимів експлуатації АТЗ.

Обидва види руйнівних процесів можна класифікувати за такими ознаками:

- умовами виникнення основного чинника руйнування;
- остаточним характером змін у конструкційних матеріалах деталей;
- переважаючою тенденцією змін процесів у часі;
- місцем виникнення та розвитку руйнівних процесів;
- механізмом проходження процесів руйнування.

За **умовами виникнення** основного (визначального) чинника вони можуть проходити лише під час **робочих процесів** у механізмах, системах, агрегатах АТЗ, або незалежно від них. До першого типу чинників належать механічні напруження, які виникають у нормальних та перехідних режимах роботи механізмів, теплота, яка виділяється при цьому, контактні навантаження на поверхнях спряжень деталей. До другого типу чинників можна віднести вологість, температуру довкілля, атмосферний тиск, хімічний склад середовища, електромагнітні поля й, очевидно, зміну показників цих чинників.

Щодо другого різновиду руйнівних процесів, який характеризується **остаточними змінами у конструкційних матеріалах** деталей, то за цією ознакою вони поділяються на два типи - **незворотні та зворотні.** Незворотні - це зношування і корозія поверхонь деталей, механічні пошкодження їх. Прикладом зворотних руйнівних процесів можуть бути сорбція і десорбція газів та рідин, електрохімічні процеси в акумуляторних батареях, втрата та відновлення пружності. Очевидно, що стосовно до АТЗ найбільш характерним і визначальним є перший тип руйнівних процесів - незворотних, які вимагають додаткових матеріально-енергетичних витрат для відновлення технічного стану АТЗ.

За ознакою **переважаючої тенденції зміни руйнівних процесів** у часі цей різновид поділяється на такі, які проходять **стаціонарно і нестаціонарно, періодично і аперіодично, безперервно і дискретно.** Стаціонарність характеризується незмінністю швидкості проходження процесів руйнування за часом експлуатації АТЗ. Для нестаціонарних (монотонні, екстремальні, із запізненням) характерним є поступове прискорення або сповільнення процесів впродовж терміну експлуатації АТЗ або у якихось їх окремих проміжках часу. Стосовно до АТЗ можлива дія обох типів руйнівних процесів. Періодичні (знакозмінні) руйнівні процеси мають місце у тих механізмах, (колінчастий вал, підвіска, карданний вал тощо). Аперіодичні процеси можуть діяти в одному певному напрямі (наприклад, зубчасті зачеплення). Безперервні та дискретні руйнівні процеси відрізняються між собою тим, що перші діють постійно (наприклад, дія на АТЗ природного довкілля), а другі - регулярно з перервами й лише під час використання АТЗ.

За **місцем виникнення руйнівних процесів** їх поділяють на **поверхневі** та **внутрішні.** Перші виникають і проходять на робочих поверхнях або у приповерхневих шарах деталей, другі - зароджуються і розвиваються в середині об'єму деталей, поширюючись на весь її поперечник. Прикладом перших можуть бути процеси зношування поверхонь деталей тер-

тям, ерозійні процеси, корозія. Для внутрішніх процесів характерними є дія силових навантажень і відповідних напружень, поширення термічних та електрохімічних процесів.

Останній, п'ятий, різновид руйнівних процесів, що класифікується за ознакою **"механізм їх проходження",** вважається, з позицій ТЕА, найважливішим. Ці процеси поділяють на: **статичне руйнування, втому, корозію та ерозію, старіння, зношування.**

Статичне руйнування проходить під дією одноразового силового навантаження, що створює напруження у матеріалі деталі, які перевищують межу його міцності. Це призводить до появи граничного стану деталі, який може виражатися крихким руйнуванням, крихким зломом, сколюванням торців тощо. Статичне руйнування характерне для зварних з'єднань, корпусних чавунних деталей, валів, осей, болтів тощо.

Втома матеріалів деталей виникає під дією циклічних знакозмінних навантажень. Розрізняють малоциклову та багатоциклову втоми. Ознаками малоциклової втоми є повзучість матеріалу деталі, в'язкий злом, заїдання між поверхнями. Цьому виду втоми піддаються стальні корпусні деталі, вали, осі, зубчасті колеса, шестерні, пружини, підшипники ковзання тощо. Ознаками багатоциклової втоми є злом, викришування (колінчасті вали, шатуни, поворотні кулаки тощо).

Корозія як нормальний процес руйнування металічних матеріалів деталей проходить внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем. Розрізняють атмосферну корозію, корозію під час тертя та корозію в електроліті. Близькою до корозії за поверхневим руйнівним впливом на металічні деталі є ерозія. Вона розглядається як руйнування поверхонь під дією фізико-хімічних або електричних чинників. Розрізняють рідинну, газову та електричну ерозії. Приклади: рідинна ерозія у вигляді кавітаційого зношування деталей системи охолодження; газова - зношування випускної системи ДВЗ; електрична - руйнування електричних контактів, електродів свічок.

Старіння - це процес поступового та безперервного погіршення фізико-хімічних властивостей матеріалу деталей, викликаний сукупною дією механічних, електричних, теплових та інших чинників. Зовнішніми проявами старіння матеріалів деталей (металічних і неметалічних) є пониження межі міцності та пружності матеріалів.

Основні поняття і означення з теорії тертя і зношування.

Тертя і зношування деталей машин вивчається та досліджується всесвітньо відомими ученими впродовж уже більше, ніж 400 років, починаючи із середньовіччя (Л.да-Вінчі, Г.Амонтон, Ш.Кулон, Л.Ойлер, Ломоносов М.В., Менделєєв Д.І., Жуковський С.М., Чаплигін С.О., Петров М.П., Дерягін В.В., Ребіндер П.А., Крагельський І. В., Хрущов М.М., Костецький Б.І., Гаркунов Д.М. та інші). Сьогодні з тертям пов'язана одна із важливих проблем машинобудування та машиновикористання - зношування машин і механізмів. Вивченням процесів зношування твердих тіл займається наука **триботехніка** (трибологія) з такими розділами як трибохімія, трибофізика, трибомеханіка. Походження коренів цих слів від грецького "трібо" - розтираю. Триботехніка оперує 97-ма термінами, які стандартизовані ДСТУ 2823-94. Серед них є такі, володіння якими обов'язкове у повсякденній праці як інженера-конструктора, так і експлуатаційника. Розглянемо 10 найважливіших термінів.

Зношування - це процес руйнування та відділення матеріалу з поверхні твердого тіла та (або) нагромадження його залишкової деформації під час тертя, який проявляється у поступовій зміні розмірів та (або) форми тіла.

Знос - результат зношування, який визначається встановленими одиницями (в одиницях довжини, об'єму, маси тощо).

Зносостійкість (стійкість проти зношування тертям) - це властивість матеріалу чинити опір зношуванню у визначених умовах тертя, яка оцінюється величиною, оберненою до швидкості або інтенсивності зношування. Швидкість зношування визначається як величина зносу поверхонь за одиницю часу, а інтенсивність зношування як знос за одиницю пройденого шляху точками поверхонь тертя, або, наприклад, пробігу АТЗ. Розмірності цих показників відповідно мкм/год., мг/год.; мкм/м, мм/тис. км.

За зносостійкістю (показниками швидкості зношування) конструкційні матеріали згруповані у 10 класів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Класифікація зносостійкості конструкційних матеріалів

Клас матеріалу	Швидкість зношування, мкм / год.	Приклади деталей та вузлів
0	$<5\cdot10^{-5}$	Калібри, золотники гідророзподільників
1	$\leq10^{-4}$	Зубчасті передачі, шліцьові з"єднання
2	$\leq2\cdot10^{-4}$	
3	$\leq4\cdot10^{-4}$	Напрямні верстатів, ходові гвинти
4	$\leq8\cdot10^{-4}$	
5	$\leq1,6\cdot10^{-3}$	Фрикційні муфти
6	$\leq3,2\cdot10^{-3}$	
7	$\leq6,4\cdot10^{-3}$	Лемеші плугів
8	$\leq1,25\cdot10^{-2}$	
9		Авіаційні гальми

Мастильний матеріал - це матеріал, який вноситься між поверхні тертя для зменшення сили тертя та (або) інтенсивності зношування.

Мащення - дія мастильного матеріалу, в результаті якої між двома поверхнями зменшується сила тертя та (або) інтенсивність зношування.

Змащування - це підведення мастильного матеріалу до поверхонь тертя.

Тертя - це явище опору відносному переміщенню, яке виникає між двома тілами в зоні контакту їх поверхонь, тангентно до них і супроводжується розсіюванням (дисипацією) енергії.

Зовнішнє тертя поділяється на наступні різновиди:

- спокою - за відсутності руху тіл одне відносно одного;
- руху - коли два тіла, контактуючи, рухаються одне відносно одного;
- ковзання - під час якого швидкості тіл у точках дотику відрізняються за величиною і (чи) напрямом;
- кочення - під час якого швидкості тіл однакові за величиною і напрямом у зоні контакту;
- кочення з проковзуванням - коли одночасно присутні тертя кочення і ковзання;

без мастильного матеріалу - за відсутності на поверхні тертя будь-якого підведеного мастильного матеріалу (виробнича назва - як сухе тертя);

- з мастильним матеріалом - за наявності між поверхнями тертя будь-якого мастильного матеріалу (виробнича назва - як рідинне тертя);
- граничне тертя - за змінної наявності, чи відсутності між поверхнями тертя мастильного матеріалу.

Важливими триботехнічними термінами є сила та коефіцієнт тертя.

Сила тертя - це сила опору відносного переміщення одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, що направлена по дотичній до загальної межі контакту між цими тілами.

Коефіцієнт тертя - визначається як відношення сили тертя двох тіл до нормальної сили, яка притискає ці тіла одне до одного.

Загальна характеристика теорій, які пояснюють тертя та об'ємне руйнування.

Сучасна наука про природу руйнування твердих тіл (тіла з кристалічною структурою, тобто металічні тіла) класифікує термін "руйнування" як процес послаблення й розриву міжатомних зв'язків. У загальному випадку **процес руйнування** складається з чотирьох стадій:

- послаблення зв'язків;
- хаотичного (незалежного) розриву зв'язків;

- корельованого (локалізованого) розриву зв'язків;
- розриву тіла або ж його поверхневих шарів.

За професором Костецьким Б.І. фізична суть **поверхневого руйнування твердих тіл тертям** у наступному - спочатку руйнуються вторинні структури , опісля основний матеріал деталі. У цьому основна відмінність поверхневого руйнування від об'ємного. Основний процес поверхневого руйнування деталей тертям - це пружно-пластична деформація у результаті взаємодії мікрорельєфів й виникнення фрикційних зв'язків. Він проходить у такій послідовності: пружне та пластичне мікрорізання, руйнування окисних плівок, руйнування основного матеріалу у результаті молекулярної взаємодії й, нарешті, поява втомних тріщин.

Згідно з так званою **механічною теорією тертя** (закон Г. Амонтона - 1699 р.) силу тертя F визначають через добуток коефіцієнта тертя μ (безрозмірна величина) і нормальної сили N, яка притискає поверхні одну до одної:

$$F = \mu \cdot N.$$

У 1785 році французький фізик Ш.Кулон увів поправку A до цього виразу як постійну складову, що враховує адгезійне доголювання (прилипання) поверхонь тертя

$$F = A + \mu \cdot N.$$

Згодом англійський фізик Ф.Боуден запропонував визначати силу тертя як суму двох складових: F_o - опір зрізу металевих мікронерівностей спряжень; F_n - опір пластичного витіснення твердішим матеріалом спряження м'якішого,

$$F = F_0 + F_n.$$

У 30-х роках російський фізик В.В.Дерягін розробив **молекулярну теорію тертя,** згідно з якою сила тертя визначається з урахуванням, крім механічної взаємодії (сила *N),* фактичної площі контакту між поверхнями Sф (контакт між виступами мікронерівностей) та питомої сили молекулярної взаємодії $P_м$

$$F = \mu \cdot Sф \cdot (Pм + N)$$

У 1946 році інший російський фізик-триболог І.В. Крагельський розвинув теорію В.В. Дерягіна й обґрунтував **молекулярно-механічну теорію тертя,** згідно з якою

$$F = \tau_{мех.} + \tau_{мол} = \mu \cdot N + \alpha \cdot Pм$$

де $\tau_{мех}$, $\tau_{мол}$ - складові сили тертя відповідно механічного та молекулярного походження; μ, a - коефіцієнти тертя під час механічної та молекулярної взаємодії між поверхнями.

Коефіцієнт a для умов граничного та сухого тертя визначається, виходячи із глибини h взаємного проникнення поверхонь під дією зовнішніх навантажень на поверхні тертя та радіусу R заокруглення вершин мікронерівностей:

$$\alpha = \frac{\tau_0}{P_z} + \beta + k \cdot \sqrt{h/R},$$

де τ_0 - константа молекулярних зв'язків між поверхнями тертя; Pz - середній контактний тиск на поверхнях; β - п'єзокоефіцієнт молекулярного зв'язку між поверхнями тертя; k - коефіцієнт, який залежить від кривини поверхонь.

Російськими ученими М.П. Петровим, С.М. Жуковським та С.О. Чаплигіним була сформована і розвинена, так звана, **гідродинамічна теорія тертя.** Силу тертя (для умов рідинного тертя - це сила в'язкого зсуву у навантаженій частині підшипника) запропоновано визначати з урахуванням абсолютної в'язкості оливи η, товщини шару її між поверхнями тертя h_M, їх площі S та відносної швидкості переміщення цих поверхонь V за формулою

$$F = \frac{\eta \cdot V \cdot S}{h_м}.$$

Учений-ремонтник, професор В.І.Казарцев, грунтуючись на цій теорії, вивів формулу для визначення **найвигіднішого зазору у спряженні** $\Delta_н$, за якого забезпечується оптимальні товщина шару оливи та режим рідинного тертя:

$$\Delta_н = 0{,}467 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\omega\eta}{p \cdot c}},$$

де d — діаметр цапфи вала; ω - частота його обертання; ω і p - відповідно абсолютна в'язкість та питомий тиск оливи; c - поправка на остаточну довжину l підшипника

$$c = (d+l)/l.$$

З використанням гідродинамічної теорії тертя виведено рівняння для визначення **інтенсивності зношування пар тертя**

$$I = c_к \cdot P^m \left(1 - \frac{k \cdot \eta_\partial \cdot V \cdot l_n}{\Delta_з}\right),$$

де c, m - сталі коефіцієнти, які залежать від умов та режимів тертя; P - питомий тиск на поверхні тертя; k - коефіцієнт, який визначає умови гідродинамічного тиску у шарі оливи; η_∂ - динамічна в'язкість оливи; l_n - лінійний розмір поверхні тертя; $\Delta_З$ - зазор між поверхнями тертя.

Дріб $k \cdot \eta_\partial \cdot V l_n / \Delta^2 p$ є складовою роботи тертя у шарі оливи. Теоретично вона може становити одиницю. Тоді $I \to 0$.

Для умов відсутності оливи (сухе тертя) цей дріб дорівнює нулеві і тоді

$$I_{c.m} = c\, P^m.$$

Щодо особливостей фізичних процесів, які зумовлюють **об'ємне руйнування** деталей машин. Очевидно, що між поверхневим та об'ємним руйнуванням твердих тіл є

У 1920 році англійський вчений І.Гріффітс опублікував результати досліджень, у яких виклав **енергетичний** підхід до об'ємного руйнування. Він встановив, що концентраторами напружень, крім видимих дефектів у конструктивних елементів деталей, можуть бути й дефекти приховані - дефекти структури твердих тіл. У першу чергу - це вакансії (відсутність атомів в атомних вузлах кристалічної ґратки) та дислокації (флуктуаційній рух атомних площин через неправильне їх розташування у зернах кристалів під час формування конкретних деталей). Він вивів формулу для визначення коефіцієнта концентрації напружень $K_к$ для еліптичної форми внутрішньої тріщини (порожнини за рахунок відсутності атомних вузлів) у крихких матеріалах

$$K_k = 2\sqrt{L/\ \rho},$$

де L - пів-довжина внутрішньої еліптичної тріщини; р - радіус кривини кінчика тріщини.

Сучасна фізика, розглядаючи об'ємне руйнування твердих тіл на трьох рівнях (субмікроскопічному, мікроскопічному та макроскопічному), пояснює розвиток цього явища на основі **кінетичної теорії руйнування.** Вона враховує поступовий термоактиваційний процес розвитку та нагромадження мікроскопічних руйнувань у напруженому тілі під дією теплових коливань атомів, молекул, електронів, протонів, що призводить до змін їх положення у кристалічній гратці. Це переміщення відбувається тоді, коли їх енергія перевищує деяку межу, яка називається енергією активації. Вироблено таку модель переміщень у структурі матеріалів: утворення, переміщення та скупчення точкових дефектів (вакансій), лінійних дефектів (дислокацій); проходження дифузійних процесів на поверхні та в об'ємі матеріалу, а також сорбційних процесів; дія поверхнево активних речовин й структурних перетворень у сплавах матеріалів.

У загальному вигляді вплив різних чинників на тривалість т, після якої виникає висока ймовірність об'ємного руйнування твердого тіла описується виразом

$$\tau = \varphi(\sigma_т, T, E_а, \gamma, f, Д),$$

де $\sigma_т$ - внутрішні напруження у матеріалі; T - температура матеріалу; E_a - енергія активації матеріалу деталі; γ - структурний коефіцієнт, який характеризує чутливість матеріалу до деформації; f - теплові коливання у структурі матеріалу; $Д$ - коефіцієнт дифузії атомів.

Закономірність зношування пари тертя типу "вал-втулка".

Зношування деталей машин тертям приводить їх та машину в цілому до стану, у якому вони не зможуть виконувати задані функції або до стану, коли потрібно для продов-

ження терміну служби їх виконувати відповідні ремонтно-обслуговувальні дії (регулювання, відновлення, заміну). Складні процеси зношування пар тертя протягом терміну служби машини мають свої характерні особливості. В цілому їх можна подати у вигляді графіка залежності зносу деталей спряження від тривалості їх експлуатації (рис. 1.13). Це, так звана, S-подібна крива закономірності природного зношування деталей спряження тертям або крива Лоренца.

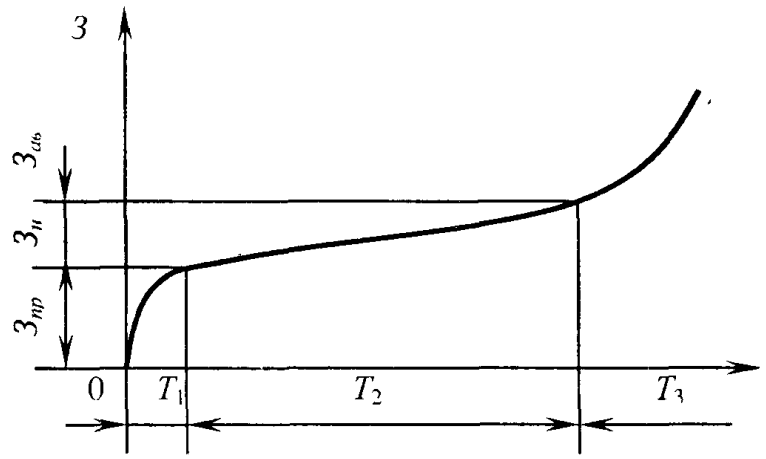

Рис.1.13 – Закономірність природного зношування пар тертя типу “вал-втулка”

У перебігу цього процесу є такі характерні ділянки: T_1, $З_{пр}$ - відповідно, тривалість періоду припрацювання пар тертя та величина зносу поверхонь у цьому періоді; T_2, $З_н$ - період нормальної експлуатації пар тертя та їх знос; T_3, $З_{ав}$ - період форсованого (аварійного) зношування пар тертя та величина зносу їх.

Очевидно, що перехід від моменту закінчення періоду T_2 до початку періоду T_3 буде вказувати на граничні значення зношеності пар тертя, за яких необхідно зупиняти машину для виконання РОД. Зрозуміло, що цей стан машини (спряження тертя) не наступає раптово, а триває впродовж певного періоду часу – $T_{п.р}$, значення якого описуються нормальним законом розподілу. Саме впродовж цього часу повинні бути виконані відповідні РОД.

Настання його у кожному конкретному випадку можна розрахувати аналітично з урахуванням закономірностей проходження попередніх періодів. Кожен з них описується відповідними рівняннями:

період T_1

$$f(З_1) = K_1 T_{0-t1}^{n};$$

період T_2

$$f(З_2) = K_1 T_{0-t1}^{n} + K_2 (T_{t2-t1} - T_{0-t1});$$

період T_3

$$f(З_3) = K_1 T_{0-t1}^{n} + K_2 (T_{t2-t1} - T_{0-t1}) + K_3 (T_{t3-t2} - T_{t2-t1})^{m},$$

тут *К\, Кг,* Аз - коефіцієнти пропорційності; *n, m* - показники степенів (усі визначаються експериментально й характерні лише для відповідного виду пар тертя з відповідних матеріалів).

Оскільки процеси тертя для кожних конкретних умов та режимів є надзвичайно складними й для описання їх потребують окремих досліджень, у даному разі подамо їх таким загальним виглядом:

$$V_{зн} = \int_0^t f(M, B, H, C) dt,$$

де $V_{зн}$ - швидкість зношування пар тертя; *М* - характеристика матеріалу, який зношується (його фізико-механічні та механо-хімічні властивості); *В* - характер взаємодії поверхонь тертя (рід та вид тертя, форма контакту, шорсткість поверхонь); *Н* - зовнішні навантаження (тиск на поверхні, швидкість ковзання тощо); *С* - характеристика зовнішнього се-

редовища (газове середовище та його властивості, мастильний матеріал та його властивості - температура, тиск тощо); t - тривалість проходження процесу зношування.

Класифікація видів зношування в машинах. У багатьох галузях техніки застосовуються різноваріантні класифікаційні системи зношування деталей машин. Розглянемо класифікацію, яка найбільше охоплює характерні зношування у вузлах та агрегатах АТЗ (рис. 1.15).

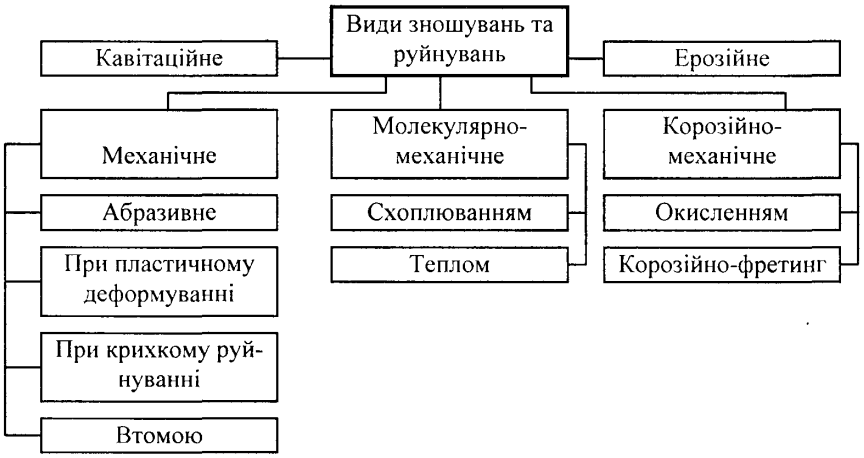

Рис. 1.15. Класифікація зношувань та руйнувань деталей АТЗ

Основними видами зношування є: **механічне, молекулярно-механічне, корозійно-механічне, кавітаційне та ерозійне.**

Механічне зношування найпоширеніше. Це зношування, під час якого внаслідок механічних впливів змінюється форма та об'єми тертьових поверхонь деталей спряжень без істотних фізико-хімічних змін у їх матеріалах. Цей вид зношування має різновиди: абразивне, при пластичному деформуванні, при крихкому руйнуванні та втомою.

Молекулярно-механічне зношування охоплює механічний . вплив на поверхнях тертя, який супроводжується одночасною дією молекулярних або атомарних сил. Проявляється цей вид зношування деталей схоплюванням поверхонь, задирами, переносами часточок матеріалу однієї поверхні тертя на іншу.

Корозійно-механічне зношування - це теж саме механічне з посиленими явищами корозії поверхонь тертя. "Оголений" матеріал цих поверхонь швидко вступає у хімічну взаємодію з навколишнім середовищем (окислювальний різновид). Якщо при цьому мають місце значні циклічні питомі тиски на поверхнях, які до того ж взаємно мікропереміщуються, - це корозійно-механічне зношування фретинг-корозією (шліцеві спряження карданних передач, зчеплен ня, коробок передач).

Кавітаційне зношування - це гідроерозійне зношування поверхонь металічних деталей при омиванні їх рідиною за певних умов та режимів, зокрема турбулентного руху рідини, підвищених температури та тиску її.

Ерозійне зношування - це зношування поверхонь у швидкому потоці хімічно активних з високою температурою газів (фаски та гнізда випускних клапанів). Це газова ерозія поверхонь деталей. Електрична ерозія має місце на поверхнях деталей, через які передається електричний струм високої напруги за умови неякісного або непостійного контакту між ними.