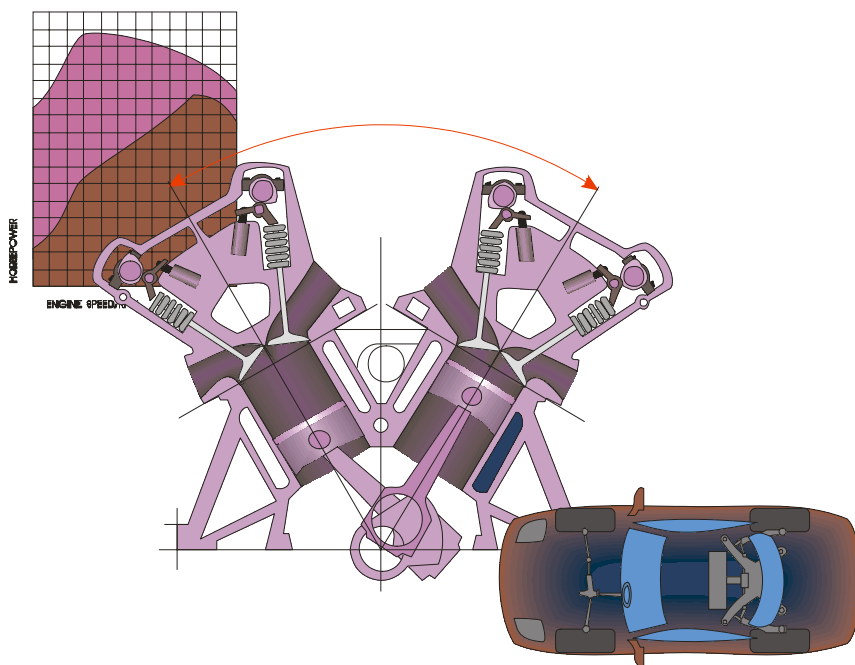


А.А. Кашканов, В.В. Біліченко

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

А.А. Кашканов, В.В. Біліченко

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як навчальний посібник для студентів спеціальності “Автомобілі та автомобільне господарство”. Протокол № 9 від 29 квітня 2004 р.

Вінниця ВНТУ 2004

УДК 629.1
К 31

Рецензенти:

В.М. Варфоломєєв, доктор технічних наук, професор

В.Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор

І.О. Сивак, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Кашканов А.А., Біліченко В.В.

К 31 Експлуатація та обслуговування транспортних машин.

Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2004. - 136 с.

В посібнику подано теоретичні основи науки про зміну технічного стану транспортних машин в процесі експлуатації і методи підтримки їх працездатності з мінімальними витратами. Викладення матеріалу базується на розгляді сукупності взаємозалежних закономірностей, аксіом і допущень, що дозволяють науково пояснити процеси зміни технічного стану транспортних машин і установити аналітичну форму кількісних залежностей техніко-економічних параметрів стану від їх пробігу.

Розрахований на студентів спеціальності „Автомобілі та автомобільне господарство”.

УДК 629.1

© А. Кашканов, В. Біліченко, 2004

ЗМІСТ

стор.

Вступ	5
1. Характеристика і класифікація транспортних машин та умов їх роботи	6
1.1. Характеристика і класифікація транспортних машин	6
1.2. Характеристика умов експлуатації транспортних машин	11
1.3. Методика класифікації умов роботи транспортних машин	15
1.4. Механізовані методи обліку умов експлуатації	17
2. Надійність та технічна готовність транспортних машин	19
2.1. Надійність транспортних машин	19
2.2. Довговічність транспортних машин	31
2.3. Ефективність використання транспортних машин	34
3. Основні фактори, які впливають на надійність транспортних машин	37
3.1 Зміна технічного стану машин в процесі експлуатації	37
3.2. Зношування деталей машин	39
3.3. Методи кількісного оцінювання зношування деталей транспортних машин	42
3.4 Закономірність зношування з'єднаних деталей	46
4. Вплив конструктивно-технологічних факторів на надійність транспортних машин	52
4.1. Конструктивні фактори	52
4.2. Технологічні фактори	55
5. Вплив якості експлуатаційних матеріалів на надійність транспортних машин	57
5.1. Основні вимоги до експлуатаційних матеріалів	57
5.2. Моторні оливи	59
5.3. Трансмісійні оливи та консистентні мастила	62
5.4. Паливо для карбюраторних та дизельних двигунів	64
5.5. Вода та охолоджувальні рідини	67
6. Вплив умов експлуатації на надійність транспортних машин .	69
6.1. Дорожні умови	69
6.2. Кліматичні умови	73
6.3. Транспортні умови і режими використання машин	77
7. Вплив якості водіння, технічного обслуговування, ремонту і зберігання на надійність транспортних машин	80
7.1 Якість водіння	80
7.2. Технічне обслуговування транспортних машин	82
7.3. Ремонт транспортних машин	83
7.4. Зберігання транспортних машин	84

8. Системи забезпечення надійності транспортних машин за умов експлуатації	86
8.1 Загальна характеристика існуючих систем	86
8.2. Методи визначення періодичності обслуговування транспортних машин за характеристиками експлуатаційної надійності	89
9. Лабораторно-практичні заняття	100
9.1. Оцінювання впливу дорожніх і транспортних умов на швидкість руху машин	100
9.2. Нормування витрати палива транспортних машин	101
9.3. Керування рухом транспортних машин за мінімумом витрати палива	107
9.4. Прогнозування ресурсу машин за зношенням основного вузла	112
9.5. Прогнозування ресурсу машин за енергетичними параметрами	115
9.6. Вибір періодичності технічних впливів за енергетичними параметрами	121
9.7. Керування собівартістю транспортної роботи	124
Література	136

Вступ

Основне призначення транспортних машин – своєчасне, якісне і повне задоволення потреб народного господарства і населення у перевезеннях.

Автомобільний транспорт є найбільш мобільним і універсальним засобом комунікації і посідає важливе місце в транспортному комплексі України. На його частку припадає понад 80 % усіх вантажних і близько 80 % пасажирських перевезень, приблизно 70 % трудових ресурсів, понад 60 % палив нафтового походження, значна частина капітальних вкладень і основних виробничих фондів, понад 65 % усіх транспортних витрат.

Тепер автомобільний парк України поповнюється автотранспортними засобами нової конструкції, що використовують альтернативні види палива, вдосконалюється структура рухомого складу, збільшується чисельність дизельного парку, зростає кількість транспортних засобів великої вантажопідйомності і пасажиромісткості.

Однак на утримання автотранспортних засобів у технічно справному стані, що забезпечує ефективний транспортний процес, галузь робить великі ресурсні витрати. Так, ускладнення конструкції автомобілів призводить, як правило, до збільшення обсягу робіт по технічному обслуговуванню і ремонту, до зростання затрат на забезпечення працездатності.

Збільшення кількості автомобілів на дорогах нашої країни веде до забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами, а зниження токсичності відпрацьованих газів значною мірою забезпечується справністю системи живлення і запалювання та рівнем технології технічного обслуговування, засобів і методів діагностування цих систем.

Із зростанням швидкостей та інтенсивності руху підвищуються вимоги до надійності автотранспортних засобів, оскільки несправні автомобілі є джерелом дорожньо-транспортних пригод.

Економія паливних, енергетичних, матеріальних і сировинних ресурсів у процесі експлуатації автомобілів істотно залежить від їхнього технічного стану, рівня організації матеріально-технічного постачання і процесів перевезення, зберігання і нормування витрат автомобільних експлуатаційних матеріалів та запасних частин в автотранспортних підприємствах.

Отже, в процесі технічної підготовки автотранспортних засобів до транспортного процесу забезпечується їхня надійність і передумови ефективної експлуатації. З метою глибшого і комплексного вивчення теоретичних основ забезпечення експлуатаційної надійності автомобілів, прогресивних технологій і форм організації виробництва щодо технічного обслуговування, ремонту та інших питань, які забезпечують експлуатацію автотранспортних засобів, і підготовлено цей посібник. В основу сформованих у 9 розділі посібника лабораторно-практичних занять покладено дослідження науковців Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА І КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ТА УМОВ ЇХ РОБОТИ

1.1 Характеристика і класифікація транспортних машин

Транспортні потоки вантажних і пасажирських перевезень обслуговуються різними видами транспорту. Усі види транспорту є продовженням виробничого процесу в сфері споживання та обслуговування і тому зближують у часі і просторі об'єкти виробництва і споживання.

Функціональне використання тільки одного з видів транспорту неможливе без врахування особливостей функціонування інших видів транспорту. Але в той же час кожен вид транспорту самостійно виконує певні транспортні плани.

Залізничний транспорт переважно здійснює перевезення вантажів і пасажирів на далекі відстані. Автомобільний транспорт розвантажує інші види транспорту від короткопробіжних вантажів і переміщає основну масу вантажів від місць виробництва до місць споживання і навантаження на залізничні станції, в аеропорти, водні пристані, а потім з місць вивантаження на склади вантажоодержувачів. Морський транспорт – основний вид транспорту зовнішньоторговельних зв'язків. Водний транспорт здійснює масові перевезення вантажів в окремі райони країни. Повітряний транспорт із високою швидкістю виконує перевезення пасажирів, пошти і термінових вантажів на далекі відстані.

Основними складовими елементами будь-якого виду транспорту є шлях, по якому здійснюється переміщення рухомого складу і сам рухомий склад із силовою установкою, пристосований для перевезення вантажів і пасажирів. Вид шляху можна взяти за основу класифікації транспортних машин (рис. 1.1).

Різноманітність машин у всіх галузях людської діяльності служить для перетворення енергії, переробки матеріалів, одержання й обробки інформації. Вони складають основу продуктивних сил будь-якої держави.

Ці машини класифікуються за основними конструктивними ознаками та експлуатаційними якостями з використанням вихідних понять і термінів.

Машини поділяються на енергетичні (турбіни, електродвигуни, двигуни внутрішнього згоряння), робочі (технологічні, транспортні) та інформаційні (лічильні, обчислювальні, інтегратори). Транспортні машини в свою чергу поділяються на наземні, повітряні, водні та трубопровідні. Наземні транспортні машини поділяються на безрейкові та рейкові.

Безрейковий транспорт за типом ходової частини, яка безпосередньо взаємодіє з проїзною поверхнею, поділяється на колісний і гусеничний. Колісний можна розділити за типом рухомого складу на автомобілі,

причепи, напівпричепи, трактори. За родом перевезень поділяється на вантажний і пасажирський.

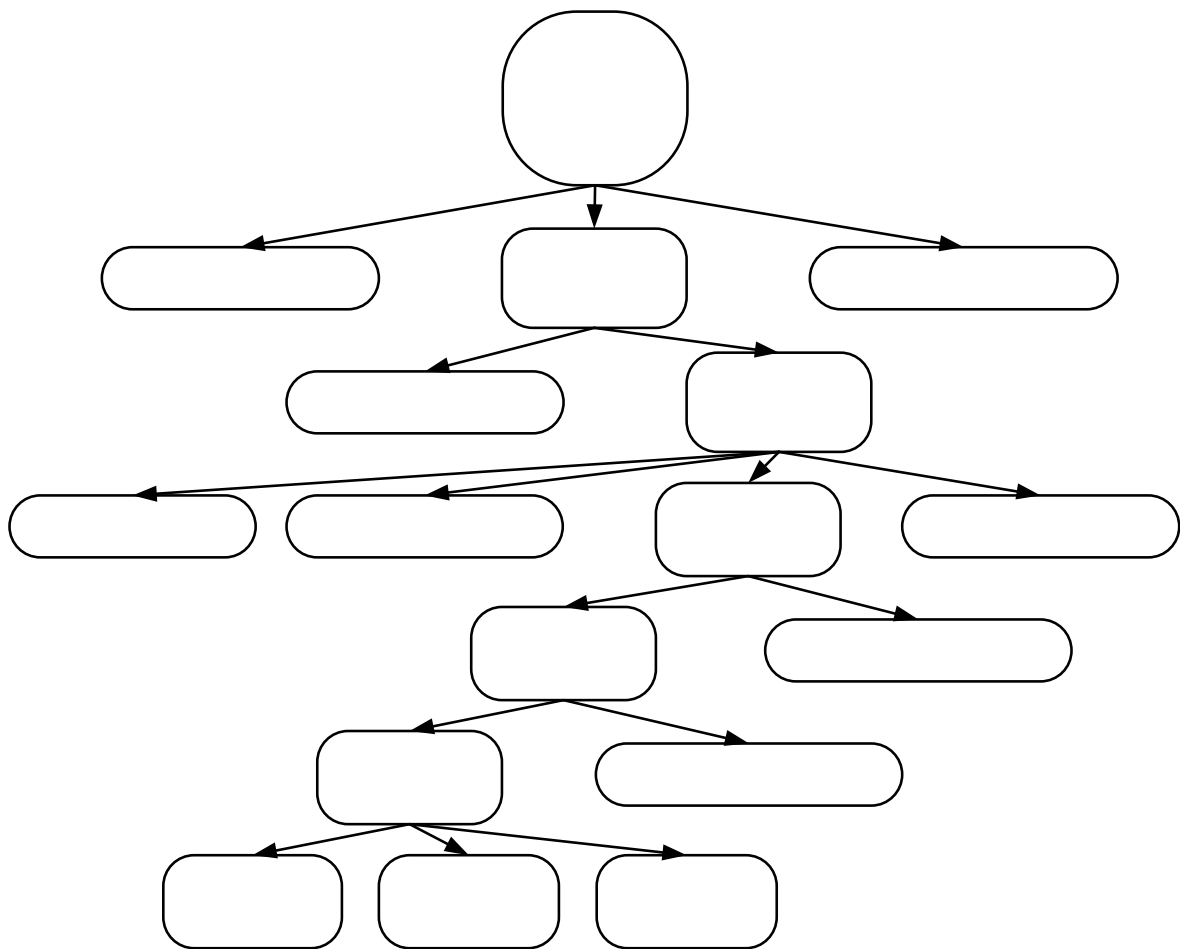


Рисунок 1.1 – Загальна схема класифікації транспортних машин

Для всіх транспортних засобів дуже важливими проблемами є підвищення ефективності використання тягової сили і взаємодія рухомого складу з дорогою. Від характеру взаємодії залежить опір руху, швидкість, плавність ходу, безпека руху, вартість транспортної роботи, техніко-економічні показники транспорту.

Основними показниками транспортної роботи є загальний обсяг перевезень у тоннах, вантажообіг у т·км, середня дальність перевезень і середня технічна або експлуатаційна швидкість руху. **ичні**

До основних підсистем (видів) транспорту відносяться автомобільний, залізничний, морський, річковий, повітряний і трубопровідний. Транспорт, що обслуговує виробничий процес промислових підприємств, називається промисловим транспортом. Міський транспорт виконує вантажні і пасажирські перевезення в містах на різних видах транспортних засобів (автомобілі, автобуси, тролейбуси, трамваї, метро). Розрізняють внутрішньорайонний і міжрайонний транспорт.

Ефективність використання 1 кВт потужності двигуна на різних видах транспорту показана в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Ефективність використання 1 кВт потужності двигуна

Вид транспорту	Загальна маса транспортних засобів, т	Відношення маси вантажу до маси транспортних засобів	Середня технічна швидкість, км/год	Потужність силової установки, кВт	Відношення транспортної роботи т·км/год до 1 кВт
Вантажний автомобіль	6	0,5	50	90	1,7
Вантажний автомобіль із причепом	12	0,6	40	90	3,2
Товарний залізничний потяг	3000	0,7	60	3000	42
Морське вантажне судно	20000	0,6	20	5000	48
Річкова самохідна баржа	5000	0,7	16	800	70
Літак	12	0,3	600	2000	1,0

З приведеної таблиці видно, що найбільша годинна транспортна робота, віднесена до 1 кВт силової установки досягається на водному транспорті (48 і 70 т·км/год) і найменша на повітряному транспорті (1 т·км/год). На автомобільному транспорті цей показник також дуже низький (1,7...3,2 т·км/год).

До транспортних машин належать різні типи і моделі автомобілів, тракторів, комбайнів, екскаваторів, бульдозерів, скреперів та інших спеціальних машин на пневмошинах. На Україні експлуатується приблизно 6 млн. автомобілів, 0.5 млн. тракторів, 130 тис. комбайнів, 27 тис. пересувних кранів, 24 тис. екскаваторів, 7 тис. скреперів. Усього нараховується близько 7 млн. різних колісних машин.

Цими машинами укомплектовані в різних пропорціях автотранспортні підприємства, будівельні організації, механізовані колони, сільськогосподарські підприємства. Основними колісними машинами в масштабі країни варто вважати автомобілі різних модифікацій і вантажопідйомності, питома вага яких досягає 86 %.

Транспортні (колісні) машини є робочими і мають багато загального. На машинах часто встановлюються однакові двигуни, системи живлення, електроустаткування та гідропневмосистеми. Застосовується єдина планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту, ідентичні методи діагностування технічного стану й усунення виявлених несправностей. Майже всі колісні машини експлуатуються в однакових дорожніх і атмосферно-кліматичних умовах. Зберігання машин у переважній більшості безгаражне. Використовуються практично однакові паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали.

Транспортні машини поділяються на типи і моделі. Моделі у свою чергу підрозділяються на базові моделі, похідні моделі і модифікації моделей.

Базова модель – виріб, агрегати і вузли якого використовуються для створення інших виробів даного типорозміру (похідних моделей і модифікацій).

Похідна модель – виріб, у якому використані агрегати і вузли базової моделі, але має додаткові спеціальні експлуатаційні якості (наприклад, тягач на базі бортового автомобіля).

Модифікація моделі – виріб, що відрізняється від виробу даної моделі областю застосування або призначення (наприклад, на сідельний тягач установлений двигун підвищеної потужності).

Вантажні автомобілі (нормаль ОН 025270-66) поділяються на класи (табл. 1.2) за повною масою та експлуатаційним призначенням (бортовий, тягач, самоскид і т.д.).

Таблиця 1.2 – Індеси вантажних автомобілів

№ п/п	Повна маса, т	Експлуатаційне призначення автомобіля					
		Бортові	Тягачі	Само-скиди	Цистерни	Фургони	Спеціальні
1	До 1.2	13	14	15	16	17	19
2	1.2 до 2.0	23	24	25	26	27	29
3	2.0 до 8.0	33	34	35	36	37	39
4	8.0 до 14.0	43	44	45	46	47	49
5	14.0 до 20.0	53	54	55	56	57	59
6	20.0 до 40.0	63	64	65	66	67	69
7	більше 40	73	74	75	76	77	79

Класи від 18 до 78 є резервними і в індексацію не включені.

Схема позначення вантажних автомобілів, причепів і напівпричепів показана на рис. 1.2.

Наприклад, позначення ЗІЛ-431417 розшифровується так: 4 – повна маса 8...14 т; 3 – вантажні загального призначення, 14 – номер моделі, 1 – знак модифікації, 7 – тропічний.

Легкові автомобілі класифікуються за робочим об'ємом двигуна в л. на 4 класи (з 11 по 41): 11 – особливо малий (до 1.2), 21 – малий (від 1.2 до 1.8), 31 – середній (від 1.8 до 3.5), 41 – великий (більше 3.5 л).

Автобуси класифікуються за габаритною довжиною в метрах на п'ять класів (з 22 по 62): 22 – особливо малий (до 5 м), 32 – малий (від 6.0 до 7.5 м), 42 – середній (від 8 до 9.5 м), 52 – великий (від 10.5 до 12 м) і 62 – особливо великий (16.5 м і більше).

Індеси причепів і напівпричепів приведені в табл. 1.3.

При розгляді технічної документації вітчизняних і закордонних автотранспортних засобів більш зручно користуватися класифікацією прийнятою в Правилах ЄЕК ООН (табл. 1.4).

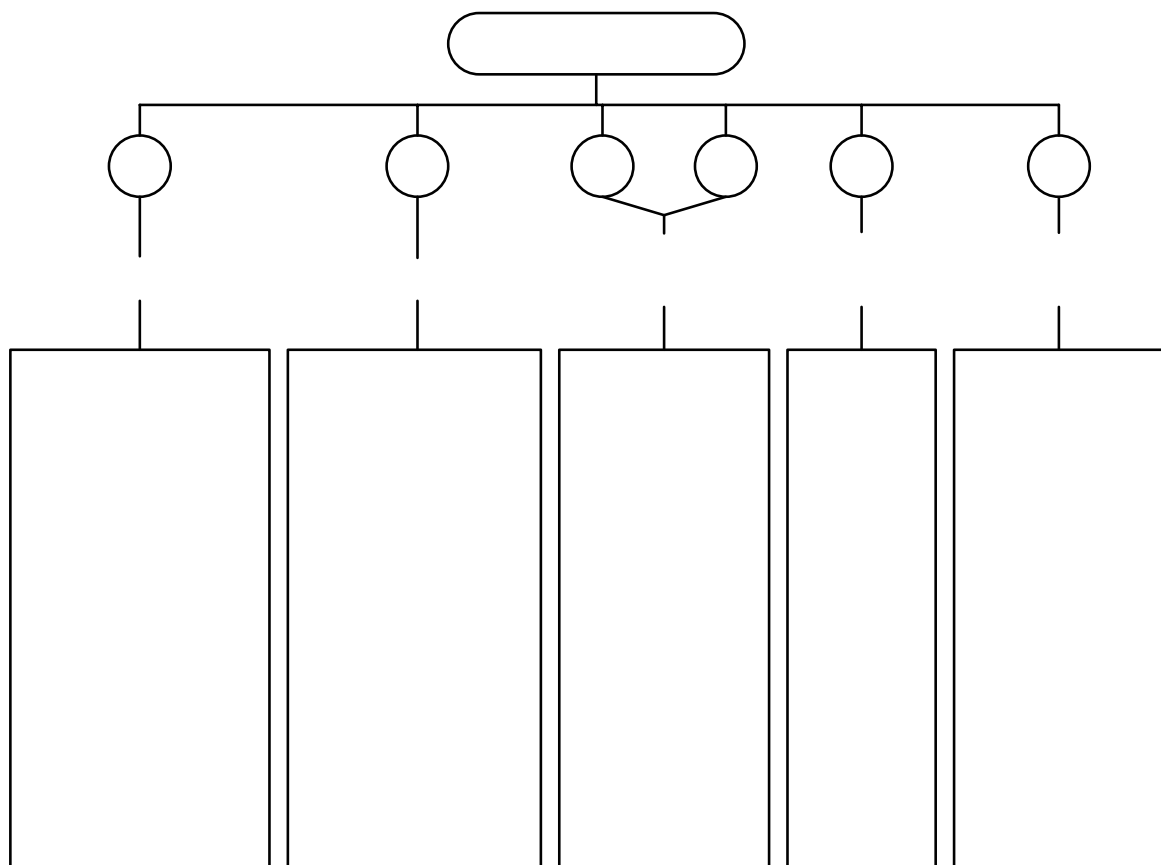


Рисунок. 1.2 – Схема класифікацій і позначень

Таблиця 1.3 – Індеси причепів і напівпричепів

Типи причепів	Причепа	Напівпричепа
Легкові	81	91
Автобусні	82	92
Вантажні (бортові)	83	93
Самоскидні	85	95
Цистерни	86	96
Фургони	87	97

Клас

В експлуатації знаходиться близько 170 марок і моделей легкових автомобілів, 150 марок і моделей автобусів, 175 марок і моделей бортових вантажних автомобілів, приблизно 120 марок і моделей тягачів і 100 марок і моделей самоскидів і фургонів. Усього нараховується близько 835 марок і моделей різних автомобілів.

За призначенням всі автомобілі поділяються на транспортні (загального призначення і спеціалізовані для перевезення даного виду вантажу) і спеціального призначення. Спеціальні автомобілі виготовляються з агрегатів і вузлів базових моделей з установленням технологічного устаткування для виконання спеціальних робіт.

Спеціальних автомобілів нараховується близько 380 моделей, з них 52 моделі автомобільних кранів, 43 автомобільних цистерн, 36 моделей навантажувачів, 26 пожежних автомобілів, 22 моделі автомобілів цементовозів, 23 моделі паливо- і оливозаправників, 18 моделей бурових установок і т.д.

від 14 до 20 т

6 - автомобілі

3 -

4 -

Таблиця 1.4 – Європейська класифікація транспортних засобів

Категорія АТЗ	Тип автотранспортного засобу	Повна маса, т	Примітки
M1	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення пасажирів, які мають не більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	Не регламентується	Легкові автомобілі
M2	Ті самі, що мають більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	До 5.0	Автобуси
M3	Ті самі, що мають більше 8 місць для сидіння (крім місця водія)	Понад 5.0	Автобуси, у тому числі зчленовані
N1	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення вантажів	До 3.5	Вантажні автомобілі, спеціальні автомобілі
N2	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення вантажів	Понад 3.5 до 12.0	Вантажні автомобілі-тягачі, спеціальні автомобілі
N3	АТЗ із двигуном, призначені для перевезення вантажів	Понад 12.0	Ті самі
O1	АТЗ без двигуна	До 0.75	Причепи і напівпричепи
O2	АТЗ без двигуна	Понад 0.75 до 3.5	Причепи і напівпричепи
O3	АТЗ без двигуна	Понад 3.5 до 10.0	Причепи і напівпричепи
O4	АТЗ без двигуна	Понад 10.0	Ті самі

1.2 Характеристика умов експлуатації транспортних машин

Дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні та інші умови визначають швидкість руху транспортних машин, витрату палива, надійність і довговічність агрегатів і шин, стомлюваність водія.

Дорожні умови поділяються на постійні (конструкція покриття, план траси, поздовжній профіль, висота над рівнем моря, ширина проїзної частини, перетинання дороги з іншими дорогами) і змінні (ступінь рівності покриття, зчеплення коліс з дорогою, видимість дороги водієм та ін.).

Основні технічні показники автомобільних доріг загальної мережі встановлені діючими державними будівельними нормами (ДБН „Проектування та будівництво автомобільних доріг”, ДБН „Проектування вулиць і доріг міських та сільських поселень”). Усі дороги поділяються на п'ять категорій і при їхньому спорудженні застосовуються чотири типи основних покриттів: капітальні (цементобетонні, асфальтобетонні) для доріг I-IV категорій, полегшені (асфальтобетонні, дьогтебетонні) – для доріг III-IV категорій; перехідні (щебеневі, гравійні) – для IV-V категорій; нижчі (із ґрунтів, укріплених або поліпшених добавками) для доріг V категорії.

Розрахункова інтенсивність руху (авт./добу) коливається в межах від 100 до 7000 і більше. ДБН регламентують зміну розрахункових швидкостей руху, найбільші поздовжні ухили, ширину смуг руху, найменші радіуси кривих та інші технічні показники.

При експлуатації автомобільних доріг значно змінюється ступінь рівності покриття, що істотно впливає на плавність ходу, швидкість руху, витрату палива, знос і термін служби автомобіля, продуктивність рухомого складу і собівартість перевезень.

В залежності від мікропрофілю середньоквадратичні значення ординат нерівностей для різних покриттів змінюються в межах від 0.3 см до 4.0 см (асфальтобетон і цементобетон – 0.3...1.5; бруківка – 1.5...3.0; щебенево розбите – 3...4 і більше).

При роботі автомобілів на дорогах із твердим покриттям, що має велике число нерівностей, і по бездоріжжю щорічні збитки складають по Україні близько 1 млрд. грн. Проблема ефективності експлуатації автомобілів на дорогах з різним ступенем рівності і по бездоріжжю набула особливої актуальності і повинна вирішуватися загальними зусиллями автомобілістів і шляховиків.

Значний вплив на ефективність роботи автомобілів чинить поздовжній профіль доріг та їхнє розташування над рівнем моря, що в остаточному підсумку визначається рельєфом місцевості. У гірських умовах порушується нормальна робота системи живлення двигуна, що приводить до зниження динаміки та економічності автомобіля і збільшення зносу двигуна. Швидкість руху автомобілів на гірських дорогах зменшується в середньому на 35...40 %, а витрата палива збільшується на 15...20 %.

Важливими характеристиками транспортних умов є інтенсивність руху рухомого складу і щільність потоку. Вони значно впливають на швидкість руху машин.

Вивченням і аналізом основних характеристик транспортних умов займається спеціальна теорія транспортних потоків. Вона покликана вирішувати практично важливі проблеми ефективного керування і раціональної організації руху автомобілів на основі всебічного розгляду елементів системи автомобіль - водій - дорога - навколишнє середовище. На жаль, не завжди вдається представити складні транспортні процеси у вигляді досить простих математичних моделей.

З літератури відомі різні теорії і моделі транспортних потоків. Найбільш проста теорія оснований на використанні закономірностей руху одиночного автомобіля. При цьому приймається, що рух відбувається з однаковими швидкостями і відстанями між автомобілями. Дана відстань (динамічний габарит) враховує довжину автомобіля l_a , пройдений шлях за час реакції водія t_p і довжину гальмового шляху l_r . Фактично вона не є постійною і носить випадковий характер, у зв'язку з чим розрахункова пропускна здатність відрізняється від фактичної.

Загальне рівняння транспортного потоку (транспортна модель) установлює взаємозв'язок між середньою швидкістю автомобіля V_a , середньою інтенсивністю потоку U і середньою щільністю q : $U = q \cdot V_a$. З останнього рівняння можна знайти таку щільність автомобілів q , при якій

інтенсивність потоку буде максимальною. Середня відстань визначиться з виразу

$$L = l_a + t_p \cdot V_a / 3.6 + V_a^2 / (254 \cdot \varphi) \text{ м.} \quad (1.1)$$

Середня щільність автомобілів на 1000 м шляху буде дорівнювати $q = 1000 / L = 1000 / [l_a + t_p \cdot V_a / 3.6 + V_a^2 / (254 \cdot \varphi)]$. Продиференціювавши рівняння $U = f(V_a)$ і прирівнявши його до нуля, одержимо оптимальну швидкість, при якій інтенсивність потоку буде максимальною.

Практично автомобілі майже ніколи не рухаються при повній потужності, тому вести розрахунок швидкостей за динамічною характеристикою (при повному використанні потужності) не можна, оскільки швидкості виходять не реальні (дуже високі). Для практичних розрахунків швидкостей в залежності від середнього сумарного опору дороги ψ повинні застосовуватися спрощені і досить точні формули, що враховують фактичне використання динамічних якостей автомобіля.

Для експлуатаційних розрахунків середніх технічних швидкостей рекомендується така розрахункова модель:

$$V_a(\psi) = 0.01 K_r \cdot V_{\max} / \psi, \quad (1.2)$$

де K_r – коефіцієнт, що враховує вагу автомобіля (для автопоїзда – 0.9, для навантаженого автомобіля – 1.0, для порожнього – 1.1); $V_{\max}$ – максимальна швидкість, км/год; ψ – середній сумарний опір дороги.

Для спрощення розрахунків приймається середня максимальна швидкість для автобусів і вантажних автомобілів приблизно 86 км/ч. Тоді формула для цілком навантаженого розрахункового автомобіля (автобуса) запишеться так:

$$V_a(\psi) = 0.01 \cdot 1 \cdot 86 / \psi = 0.86 / \psi \quad (1.3)$$

При русі автомобіля на заокругленнях у плані швидкість руху визначається за формулою $V_a = 11.3 \sqrt{R \cdot \varphi_\delta}$, де R – радіус заокруглення, м; φ_δ – коефіцієнт бічного зчеплення колеса автомобіля.

Значний вплив на швидкість руху транспортних машин чинять метеорологічні умови, зниження видимості (туман, снігопад), зниження коефіцієнта зчеплення під час дощу та ожеледі. В осінній і зимовий періоди та у нічний час швидкості зменшуються на 5...10 %.

При русі по нерівних дорогах швидкість залежить в основному від досконалості підвіски машини і величини вертикальних прискорень кузова. Потужність двигуна в цьому випадку не відіграє вирішальної ролі і метод розрахунку за динамічною характеристикою зовсім неприйнятний.

Допустиму швидкість руху автомобілів при зміні ступеня рівності дорожніх покриттів S від 0 до 800 см/км можна визначати за рівнянням

$$V_a(S) = (\lambda_1 - \lambda_2 \cdot S) \text{ км/год,} \quad (1.4)$$

де λ_1 і λ_2 – постійні для даного автомобіля коефіцієнти.

Знаючи середній поздовжній ухил дороги i та висоту над рівнем моря h , швидкість руху можна обчислити за формулою

$$V_a(i, h) = (65 - 6.7i - 8.7 \cdot 10^{-3} h) \text{ км/год.} \quad (1.5)$$

Швидкість руху в залежності від інтенсивності руху визначається за формулою $V_a(U) = (65 - 0.013 \cdot U) \text{ км/год.}$

Таким чином, вплив дорожніх умов на швидкість руху вантажних автомобілів і автобусів може бути досить точно змодельований за допомогою розрахункових формул, приведених у табл. 1.5.

Сумарний опір дороги ψ в реальних умовах змінюється в межах від 0.01 до 0.06, ступінь рівності S від 0 до 1000 см/км. Інтенсивність руху U досягає 4 тис. авт./год., поздовжній ухил i для доріг різних категорій 10 %, а висота над рівнем моря h – 5 тис. м.

Скориставшись приведеними в табл. 1.5 формулами, можна побудувати загальний графік зміни швидкостей розрахункового автомобіля ($V_{a \max} = 86 \text{ км/год}$) у залежності від дорожніх умов експлуатації (рис. 1.3).

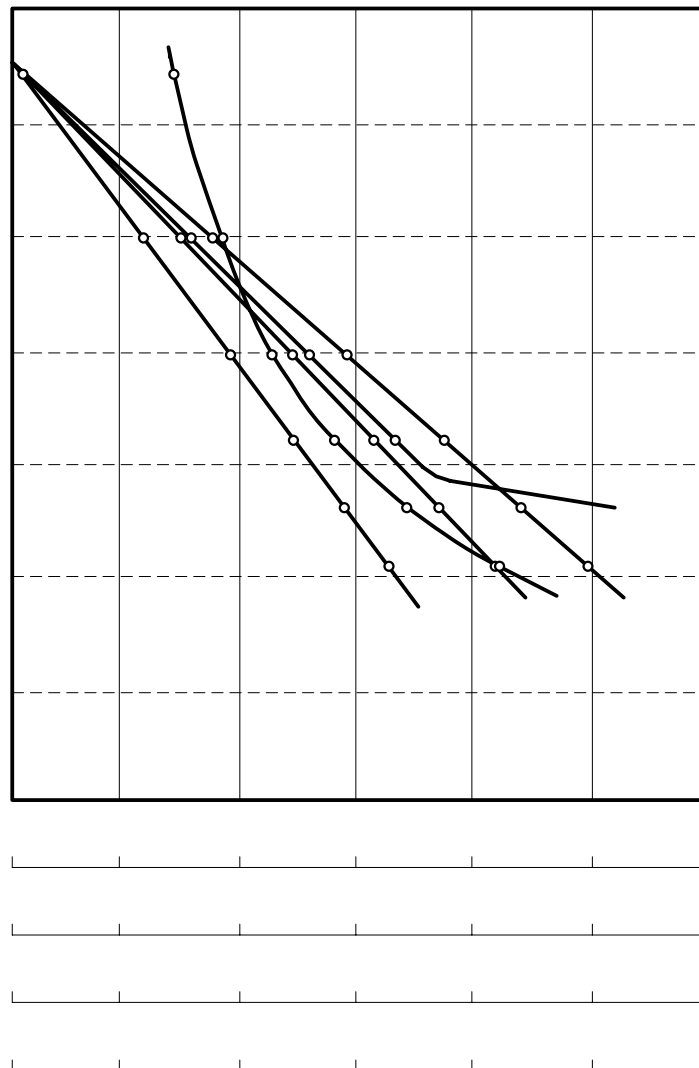


Рисунок 1.3 – Вплив умов експлуатації на швидкість руху автомобіля

Таблиця 1.5 – Формули для розрахунку швидкості руху

№	Розрахункові формули	Позначення змінних
1	$V_a(\psi) = 0.86 / \psi$	ψ – сумарний дорожній опір
2	$V_a(S) = (65 - 0.05 \cdot S)$ при $S < 800$ см/км; при $S > 800$ $V_a(S) = (25 \dots 20)$ км/год	S – ступінь рівності дороги за поштовхоміром, см/км
3	$V_a(U) = (65 - 0.013 \cdot U)$ км/год	U – інтенсивність руху автомобіля, авт./год.
4	$V_a(i, h) = (65 - 6.7i - 8.7 \cdot 10^{-3} h)$ км/год	i – середній подовжній ухил дороги, % h – висота над рівнем моря, м

З графіка видно, що при погіршенні умов роботи середня технічна швидкість знижується від 65 до 20 км/ч.

Оскільки на швидкість руху автомобілів впливають велика кількість різних факторів, то в загальному швидкості є випадковими величинами і підкоряються певним законам розподілу.

1.3 Методика класифікації умов роботи транспортних машин

Загальна методика класифікації дорожніх D і транспортних T умов враховує класифікаційні ознаки, назву і позначення підкласів, межі зміни параметрів, межі і відносні коефіцієнти зміни швидкостей (табл. 1.6).

Дорожні умови характеризуються трьома класифікаційними ознаками і поділяються на 14 підкласів. Висота над рівнем моря h визначається в метрах, подовжній профіль (рельєф місцевості) – математичним очікуванням ухилів (i , %), тип і стан покриття – коефіцієнтом опору коченню f і ступенем рівності за поштовхоміром S , що для різних доріг змінюється в межах від 0 до 800 см/км.

Транспортні умови в залежності від інтенсивності руху поділяються на п'ять підкласів. При дуже високій інтенсивності руху на дорогах утворюються затори, швидкість знижується до мінімуму і рух автомобілів припиняється.

Можуть бути різні поєднання умов роботи ($4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 500$ варіантів). У кожному можливому поєднанні вибирається найменше значення відносних коефіцієнтів зміни швидкості. Цей коефіцієнт і визначає групу умов роботи. Для практичних цілей усі ці варіанти необхідно розділити на кілька груп, наприклад, на п'ять груп з такими межами зміни коефіцієнтів: 1-а група – 1.0... 0.8; 2-а група – 0.80... 0.62; 3-а група – 0.62... 0.52; 4-а група – 0.52... 0.45; 5-а група – 0.45... 0.38 і менше. Межі зміни швидкостей для кожної групи визначаються множенням приведених коефіцієнтів на найбільшу допустиму (крейсерську) швидкість руху, рівну для одиночного вантажного автомобіля $0.7 \cdot V_{\max}$, а для автомобіля з причепом або напівпричепом $0.63 \cdot V_{\max}$.

Таблиця 1.6 – Класифікаційні ознаки умов роботи транспортних машин

Умови роботи	Класифікаційна ознака	Назва підкласів	Позначення підкласів	Межі зміни параметрів	Межі зміни швидкостей (при $V_{\max} = 86$ км/год)	Відносні коефіцієнти зміни швидкостей
Дорожні (Д)	Висота над рівнем моря, h м	Гори низькі	Г ₁	0 ... 1700	60 ... 48	1.0 ... 0.8
		Гори середні	Г ₂	1700 ... 2900	48 ... 37	0.80 ... 0.62
		Гори високі	Г ₃	2900 ... 3700	37 ... 31	0.62 ... 0.52
		Гори дуже високі	Г ₄	3700 ... 4500 і >	31 ... 27	0.52 ... 0.45
	Поздовжній профіль (рельєф місцевості), i %	Рівнинні	Р	0 ... 2.2	60 ... 48	1.0 ... 0.8
		Хвилясті	Х	2.2 ... 3.7	48 ... 37	0.80 ... 0.62
		Горбкуваті	Г	3.7 ... 4.9	37 ... 31	0.62 ... 0.52
		Низькогір'я (передгір'я)	Н	4.9 ... 5.8	31 ... 27	0.52 ... 0.45
	Тип і стан покриття. ψ (S)	Перевальні	П	5.8 ... 6.5 і >	27 ... 23	0.45 ... 0.38 і <
		Відмінні	В	0.014 ... 0.018	60 ... 48	1.0 ... 0.8
		Добрі	Д	0.018 ... 0.022	48 ... 37	0.80 ... 0.62
		Задовільні	З	0.022 ... 0.028	37 ... 31	0.62 ... 0.52
Транспортні (Т)	Інтенсивність руху. U авт./год	Погані	П	0.028 ... 0,034	31 ... 27	0.52 ... 0.45
		Бездоріжжя (дуже погані)	Б	0.034 ... 0.042 і >	27 ... 23	0.45 ... 0.38 і <
		Легкі	Л	0 ... 1100	60 ... 48	1.0 ... 0.8
		Середні	С	1100 ... 1900	48 ... 37	0.80 ... 0.62
		Скрутні	СК	1900 ... 2500	37 ... 31	0.62 ... 0.52
		Важкі	ВК	2500 ... 3000	31 ... 27	0.52 ... 0.45
		Критичні	К	3000 ... 3400 і >	27 ... 23	0.45 ... 0.38 і <

Атмосферно-кліматичні умови (A) класифікуються за ГОСТ 16350-80 з урахуванням середньомісячної температури найбільш холодного (січень) і найбільш теплого (червень) місяців. Установлено 4 кліматичних райони: холодний (I), помірний (II), помірно-теплий (III) і жаркий (IV). Територію України можна віднести до помірного кліматичного району (II) із середньомісячною температурою повітря в січні – $-15...4^{\circ}\text{C}$ і в червні $+8...25^{\circ}\text{C}$.

Рівень культури експлуатації автомобілів K поділяється на три групи: високий - **в**, задовільний - **з**, низький - **н** і визначається добутком часу в наряді (T_n), коефіцієнтів випуску автомобілів (α_v), використання пробігу (β) і вантажопідйомності (γ), тобто $K = T_n \cdot \alpha_v \cdot \beta \cdot \gamma$. Для високого рівня культури цей показник дорівнює 5...7, для задовільного – 3...5 і низького – 1...3.

За допомогою введених позначень будь-які поєднання дорожніх D , транспортних T , атмосферно-кліматичних умов A і рівня культури експлуатації K можна представити у вигляді буквеного коду. Наприклад, конкретний варіант поєднання умов роботи автомобілів можна записати так: $D - \Gamma_1 - X - з, T - л, A - II, K - в$.

Всі основні показники роботи вантажних автомобілів істотно залежать від умов експлуатації. У табл. 1.7 приведені коефіцієнти, що показують зміну цих показників для різних умов у порівнянні з умовами 1-ї групи (коефіцієнти округлені).

Таблиця 1.7 – Залежність показників роботи транспортних машин від умов експлуатації

Група умов експлуатації	Швидкість автомобіля	Продуктивність	Собівартість перевезень	Витрата палива	Викид шкідливих речовин	Пробіг до кап-ремонт
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.80	0.85	1.10	1.10	1.30	0.90
3	0.63	0.75	1.30	1.30	1.80	0.77
4	0.53	0.70	1.50	1.50	2.80	0.67
5	$0.46 \leq$	0.65	1.70	$1.70 \leq$	4.00	0.59

1.4 Механізовані методи обліку умов експлуатації

В зв'язку з появою практичної необхідності у встановленні єдиної класифікації умов роботи автомобілів назріла потреба в розробці спеціальних приладів, які б фіксували у вигляді конкретних кількісних показників дорожні і транспортні умови роботи автомобілів.

Найбільш простим приладом, придатним для механізованого обліку роботи автомобілів, може бути звичайний автомобільний спідометр, що працює спільно з лічильником часу руху автомобіля. Лічильник часу повинний включатися і працювати тільки при русі автомобіля.

Знаючи сумарний пробіг автомобіля за спідометром l_c і час руху $t_{\text{ов}}$, можна визначити середню технічну швидкість автомобіля. Відносний коефіцієнт зміни швидкості автомобіля, що прийнятий як основний

критерій при визначенні групи умов роботи, можна обчислити за формулою

$$K_y = l_c / (t_{\partial\partial} \cdot V_{a1}) \approx 1.43 l_c / (t_{\partial\partial} \cdot V_{\max}), \quad (1.6)$$

де V_{a1} - швидкість руху даного типу автомобіля на дорозі 1-ї групи ($0.7 \cdot V_{\max}$).

Наприклад, для автомобіля з $V_{\max} = 86$ км/год, при $l_c = 200$ км і $t_{\partial\partial} = 6$ год. відносний коефіцієнт буде дорівнює 0.55, що дозволяє дорожні умови віднести до 3-ї групи.

Як лічильник часу можна використовувати лічильники мотогодин, наприклад, ті, що випускаються Чистопольским годинниковим заводом. Схема під'єднання лічильника до автомобіля показана на рис. 1.4.

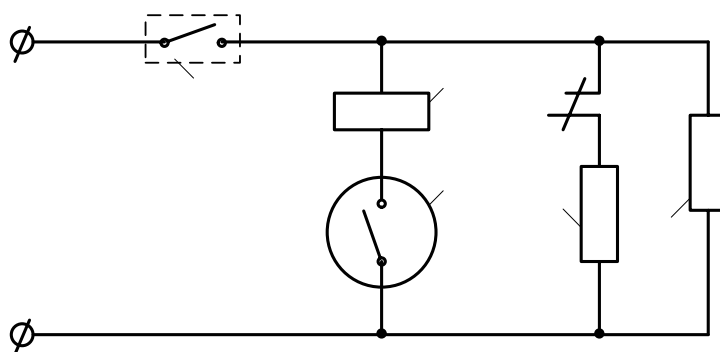


Рисунок 1.4 – Схема під'єднання лічильника мотогодин до спідометра:
1 - замок запалювання, 2 - реле з нормально замкнутими контактами K_1 ,
3 - спідометр із контактами K_2 , 4 - пускова котушка, 5 – котушка електропідзаводу

Пускова котушка лічильника часу приєднується до джерела живлення через нормально замкнуті контакти K_1 реле 2. Обмотка цього реле приєднується до джерела живлення через контакт K_2 , убудований у спідометр автомобіля 3. При включенні замка запалювання 1 струм проходить через котушку електропідзаводу 5 і робить підзавод лічильника часу. Одночасно струм, проходячи через обмотку реле 2 і замкнутий контакт K_2 , розмикає нормально замкнутий контакт K_1 . У цьому випадку струм у пускову котушку 4 не надходить і лічильник часу не працює. При рушанні автомобіля стрілка спідометра відхиляється від нульового положення, розмикаючи електричний ланцюг реле 2. Контакт K_1 замикається і струм, проходячи через пускову котушку 4, включає лічильник часу.

Майже у всіх країнах світу на вантажних автомобілях і автобусах установлюються тахографи, що фіксують зміну швидкості руху, тривалість зупинок і стоянок та витрату палива. З погляду економії установлення тахографів цілком обґрунтоване. Так, наприклад, за даними АСМАП при міжнародних перевезеннях до установки тахографів тривалість рейсу складала 22 дня, а витрата палива 56 л/100 км. Після установки тахографа тривалість рейсу скоротилася до 17 днів, а витрата палива зменшилася до 52 л/100 км. Доходи зросли на 31 %, а чистий прибуток на 8.1 %.

2 НАДІЙНІСТЬ ТА ТЕХНІЧНА ГОТОВНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

2.1 Надійність транспортних машин

2.1.1 Основні поняття і означення

Якістю будь-якої машини, у тому числі транспортної, називають сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності її для використання за призначенням. Якість транспортної машини обумовлюється такими властивостями, як динамічність, паливна економічність, керованість, прохідність, пристосованість до технічного обслуговування і ремонту.

У залежності від типу і призначення транспортної машини, конкретних умов експлуатації вимоги до її властивостей не однакові і можуть змінюватися в широких межах. Можливість реалізації властивостей, закладених у конструкцію будь-якої транспортної машини, у великій мірі визначається її надійністю.

Надійність транспортної машини (автомобіля) – властивість виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного часу або необхідного наробітку. Наробіток автомобіля (обсяг роботи) звичайно вимірюється в кілометрах пробігу або тонно-кілометрах. В окремих випадках наробіток автомобіля може вимірюватися в годинах. Надалі під терміном наробіток ми будемо розуміти пробіг автомобіля в кілометрах. Отже, надійність – це міра здатності автомобіля працювати без поломок і передчасного зносу деталей, порушення регулювань механізмів і систем, тобто працювати без зупинок через технічні несправності.

Надійність автомобіля в широкому розумінні обумовлюється його безвідмовністю, ремонтпридатністю, збереженістю, а також довговічністю його агрегатів, вузлів і деталей [4, 13].

Безвідмовність автомобіля – властивість зберігати працездатність протягом деякого пробігу без змушених перерв. Показниками безвідмовності автомобіля можуть служити, наприклад, імовірність безвідмовної роботи, наробіток на відмову, параметр потоку відмов, коефіцієнт готовності.

Автомобіль є відновлюваною системою, може багаторазово піддаватися різним видам технічного обслуговування і ремонтам, тобто він ремонтпридатний.

Ремонтпридатність – властивість, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення та усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічних обслуговувань і ремонтів. В залежності від рівня ремонтпридатності автомобіля змінюється тривалість простою при технічному обслуговуванні і ремонті, а також трудомісткість цих робіт. Показниками ремонтпридатності автомобіля

можуть служити, наприклад, імовірність виконання ремонту в заданий час, питома трудомісткість і середня вартість технічного обслуговування.

Збереженість – властивість автомобіля зберігати обумовлені експлуатаційні показники протягом і після терміну збереження і транспортування, встановленого в технічній документації. Збереженістю визначаються доцільні терміни збереження і консервації автомобілів, а також допустимі відстані (час) транспортування, після яких автомобіль залишається придатним до подальшої експлуатації без ремонту. Показником збереженості може служити, наприклад, середній термін збереженості.

Збереженість автомобіля залежить від якості його виготовлення, інтенсивності протікання в його елементах необоротних процесів (старіння, корозії), зовнішніх факторів (температури і вологості повітря, агресивності середовища, сонячної радіації). На термін зберігання великий вплив робить якість консервації та обслуговування автомобіля в процесі зберігання, а також властивість застосовуваних експлуатаційних матеріалів.

Довговічність автомобіля – властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічних обслуговувань і ремонтів. Граничний стан автомобіля може визначатися за зносом його базових і основних деталей, за умовами безпеки руху, за зміною експлуатаційних властивостей і обмовляється в технічній документації. Найчастіше граничний стан автомобіля визначають за економічними показниками.

Показниками довговічності автомобіля можуть служити, наприклад, ресурс (пробіг автомобіля або його агрегату до граничного стану, обговореного в технічній документації) або термін служби (календарна тривалість експлуатації автомобіля до граничного стану, обговореного в технічній документації). У практиці експлуатації автомобілів основним показником довговічності автомобіля (агрегату) приймають середній пробіг до першого капітального ремонту. У цьому випадку дуже важливо точно обумовити поняття «капітальний ремонт» стосовно автомобіля або агрегату (вузла).

Працездатність автомобіля – стан, при якому він може виконувати задані функції з параметрами, установленими вимогами технічної документації.

Надійність автомобіля закладається при його проектуванні і доведенні дослідного зразка, забезпечується в процесі виробництва і як одна з найважливіших експлуатаційних властивостей виявляється і підтримується в процесі експлуатації. Виходячи з цього, варто розглядати конструктивну, виробничу та експлуатаційну надійність автомобіля.

Надійність автомобіля не залишається постійною протягом усього терміну служби. В міру зношування деталей, нагромадження в них необоротних процесів (втоми, зносу, корозії) збільшується імовірність появи несправностей і відмов. Нові автомобілі завжди мають більш високу

надійність порівняно з автомобілями, що мають великий пробіг або пройшли капітальний ремонт.

Основна задача раціональної технічної експлуатації автомобіля полягає насамперед у тому, щоб якомога довше зберегти закладену в ньому надійність.

Фундаментальним поняттям у теорії надійності є поняття відмови.

Відмова автомобіля – це подія, що полягає в порушенні працездатності. Відмова – може відбутися внаслідок руйнування, деформації або зносу деталей, порушення регулювань механізмів або систем, припинення подачі палива, змащення або такої зміни робочих характеристик автомобіля (втрата потужності, перевитрата змащення, великий гальмівний шлях і ін.) або його елементів, коли вони виходять за межі допустимих норм, обумовлених технічними умовами.

Необхідно розрізняти також поняття *несправності* автомобіля (або його елемента) – стан, при якому він не відповідає хоча б одній з вимог технічної документації. Розрізняють несправності, що не приводять до відмов (руйнування фарбування кузова автомобіля, вм'ятини в кабіні й інші) і несправності (та їх поєднання), що викликають відмови.

Для того щоб точно визначити поняття відмови і зафіксувати усі випадки відмов, необхідно точно сформулювати поняття нормального функціонування автомобіля (обумовити межі допустимої зміни робочих характеристик автомобіля в цілому і його окремих елементів з урахуванням вимог експлуатації).

В залежності від поставленої задачі відмови автомобіля можна класифікувати за різними ознаками. Для аналізу фізичної природи відмов, їх взаємозв'язку, для розробки заходів щодо їх прогнозування відмови поділяють на *залежні*, тобто ті, що виникли в результаті відмов інших елементів, і *незалежні*. При аналізі експлуатаційної надійності автомобіля головну увагу приділяють першопричинам, що обумовлюють виникнення залежних відмов. Потік залежних відмов в процесі експлуатації свідчить про недосконалість обраної структурної схеми складних елементів автомобіля.

За наслідками відмови поділяються на *небезпечні* і *безпечні*. Небезпечні відмови – це такі, виникнення яких становить небезпеку для життя або здоров'я людей, що обслуговують або користуються автомобілем. Небезпечні відмови можуть виникати в механізмах керування автомобіля (рульовому керуванні, гальмах).

За характером зміни стану автомобіля (агрегату, механізму) відмови можуть бути *раптові* або *поступові*. Такий розподіл відмов є умовним. Раптові відмови в більшості випадків є наслідком поступової якісної зміни фізико-механічних властивостей матеріалів, але схованої від спостерігача до моменту зовнішнього їх прояву.

Для розробки заходів щодо підвищення надійності автомобілів важливе значення має класифікація відмов з причини їх виникнення. За цією класифікацією відмови поділяються на конструкційні, технологічні, експлуатаційні і зношувальні, обумовлені старінням елементів.

Конструкційні відмови обумовлюються недосконалими методами конструювання автомобіля або його елементів, помилками і прорахунками, допущеними конструктором. Ці відмови можуть з'являтися, коли не враховуються «пікові» (випадкові) навантаження, величина яких значно перевищує експлуатаційні навантаження, на які розрахований автомобіль. Виявляються конструкційні відмови переважно в перші періоди експлуатації автомобіля, однак вони можуть виникнути і на більш пізній стадії експлуатації. Характерною рисою цих відмов є те, що вони властиві за місцем і часом всім екземплярам даної системи (елемента).

Технологічні відмови мають у своїй основі неправильно призначені технологічні процеси виготовлення деталей або є наслідком порушення прийнятої технології зборки, регулювання, приробітку або випробувань автомобіля (агрегатів), неправильного обрання матеріалів, нестабільності їх властивостей. Вони виявляються на найпершій стадії експлуатації автомобіля.

Експлуатаційні відмови виникають у випадку порушення встановлених правил технічної експлуатації автомобіля, а також при невідповідності конструкції автомобіля умовам зовнішнього середовища і заданим режимам роботи.

Зношувальні відмови обумовлені старінням системи і виникають у результаті поступового нагромадження в елементах необоротних змін (рекристалізація металу, корозія, втома, зміна форми деталей і т.д.). Зношувальні відмови виникають унаслідок спільної дії декількох причин, тому важливо установити головну причину виникнення відмов та усунути її.

Надійність автомобіля оцінюється імовірнісними, чисельними характеристиками, що можуть бути отримані на підставі математичної обробки достатньої статистичної інформації.

Теорія надійності автомобіля є розділом загальної теорії надійності машин і розвивається на базі теорії імовірностей і математичної статистики. У ряді розділів теорії надійності широке застосування одержують методи теорії інформації, теорії масового обслуговування, лінійного і нелінійного програмування й ін.

Безперервне удосконалювання техніки, ускладнення функцій, виконуваних машинами і технічними системами, веде до ускладнення і самих машин. Чим складніша машина, тим, за інших рівних умов, вона менш надійна. Для зняття цього протиріччя в теорії надійності розробляються методи створення надійних машин і систем шляхом резервування, вибору оптимальної структурної і функціональної схем, раціональних методів і прийомів технічної експлуатації і ремонту.

Стосовно до автомобіля задачі теорії надійності полягають у тому, щоб встановлювати і вивчати кількісні характеристики надійності, закономірності виникнення відмов, методи аналізу і прогнозування відмов, методи випробувань і математичної обробки статистичних показників, що характеризують надійність автомобіля і знаходити шляхи її підвищення.

Для фахівців, які займаються технічною експлуатацією автомобіля, теорія надійності дає методи, що дозволяють визначати імовірність безвідмовної роботи автомобіля в заданому інтервалі пробігу, науково обґрунтовувати оптимальні режими технічного обслуговування, розраховувати оптимальну потребу в запасних частинах і ремонтотехнічних засобах для підтримки надійності автомобілів на заданому рівні, нормувати і керувати міжремонтними пробігами.

2.1.2 Основні показники, що характеризують надійність автомобіля

Надійність автомобіля залежить від великої кількості конструктивно-технологічних і експлуатаційних факторів і тому не може бути оцінена однозначно. Для оцінювання надійності автомобіля застосовують систему показників (критеріїв), що дозволяють оцінювати надійність всього автомобіля або його елементів у чисельних значеннях. Критерії надійності можуть оцінюватися теоретичними (точними) і статистичними (наближеними) рівняннями.

При розгляді питань надійності автомобіля будемо користуватися термінами «елемент» і «система». Під словом «елемент» будемо розуміти не тільки нерозкладну частину системи (деталь), але і будь-який пристрій (вузол, агрегат), надійність якого досліджується незалежно від надійності складових його частин. Автомобіль можна розглядати як систему, що складається з окремих елементів (деталь, вузол, агрегат). У той же час агрегат можна розглядати як систему, що складається з вузлів і деталей.

Всі елементи автомобіля розділяють на два класи:

- відновлювані, працездатність яких відновлюється після виникнення відмов;
- невідновлювані, працездатність яких після виникнення відмови не може бути відновлена.

Типовими невідновлюваними деталями автомобіля є поршневі кільця, тонкостінні вкладиші колінчатого вала, пружини клапанів, деталі підвіски, фрикційні накладки гальм і зчеплення, підшипники кочення, прецизійні деталі паливної апаратури дизелів, свічі запалювання, мідно-азбестові і гумові прокладки та ін.

Типовими відновлюваними деталями автомобіля можна назвати блок і гільзи циліндрів, колінчатий вал, напрямні втулки клапанів, клапани, гальмові барабани, балки передньої осі, рами та ін.

В залежності від класу елемента до нього можуть застосовуватися ті або інші критерії надійності. Ігнорування цього положення може привести до серйозних помилок в оцінюванні надійності.

Напрацювання автомобіля на відмову (у годинах або кілометрах пробігу) є випадковою безперервною величиною. У той же час кількість відмов автомобіля за фіксований дійсний пробіг є випадковою дискретною (перервною) величиною.

Вичерпною характеристикою випадкової величини є закон розподілу, що встановлює зв'язок між можливими її значеннями і відповідними їм імовірностями.

Для дискретної випадкової величини закон розподілу задається у вигляді ряду розподілу. Універсальною характеристикою як дискретних, так і безперервних випадкових величин є функція розподілу.

Якщо l_i – випадковий пробіг до відмови, l – довільний дійсний пробіг, то імовірність того, що l_i прийме значення менше l , називається функцією розподілу величини l_i і записується у вигляді:

$$F(l) = P(l_i < l).$$

Будь-яка функція розподілу має такі властивості:

1. $F(-\infty) = 0$, $F(+\infty) = 1$.
2. Функція $F(l)$ є неспадною функцією свого аргументу, тобто якщо $l_2 > l_1$, то $F(l_2) \geq F(l_1)$.
3. Імовірність того, що l_i прийме значення між l_1 і l_2 , дорівнює

$$P(l_1 \leq l_i < l_2) = F(l_2) - F(l_1).$$

Відзначені властивості мають функції розподілу безперервних і дискретних випадкових величин. Тому функція розподілу називається також інтегральним законом розподілу.

У ряді випадків для безперервних функцій закон розподілу випадкової величини задають щільністю імовірності або щільністю розподілу:

$$f(l) = F'(l).$$

Щільність розподілу є наочною і зручною характеристикою, тому вона широко застосовується при дослідженні надійності. Щільність імовірності також називають диференціальним законом розподілу випадкової величини.

Основна властивість щільності імовірності $f(l)$ полягає в тому, що вона є додатною функцією від l і що площа, обмежена кривою і віссю абсцис, дорівнює одиниці, тобто

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(l) dl = 1.$$

З імовірнісної точки зору щільність імовірності описує випадкову величину – пробіг (або час) між сусідніми відмовами, що дозволяє досить просто визначити всі основні кількісні характеристики надійності.

При рішенні різних задач надійності найбільш часто застосовуються такі закони розподілу випадкових величин: експонентний, нормальний, біноміальний, розподіл Пуассона, розподіл Вейбула, гамма-розподіл, логарифмічно-нормальний та ін.

Варто відмітити, що одержання імовірнісних законів розподілу вимагає великого обсягу статистичної інформації і виконання досить складних розрахунків. Тому в ряді випадків для опису випадкових величин користуються деякими числовими характеристиками випадкових величин,

що є параметрами законів розподілу (математичним очікуванням, дисперсією, середнім квадратичним відхиленням і ін.).

Ці характеристики можуть бути визначені за відомими законами розподілу або оцінені за результатами статистичних випробувань.

Основними критеріями надійності невідновлюваних елементів є:

- 1) імовірність безвідмовної роботи;
- 2) середнє напрацювання на відмову;
- 3) інтенсивність відмов;
- 4) гамма-процентний ресурс.

Перші три показники характеризують безвідмовність роботи деталі, четвертий – довговічність.

Імовірність безвідмовної роботи до пробігу визначається за формулою

$$P(l) = \int_l^{\infty} f(l)dl = 1 - F(l). \quad (2.1)$$

Граничні значення функції при $l = 0$ $P(l) = 1$; при $l = \infty$ $P(l) = 0$.

Імовірність безвідмовної роботи елемента за даними статистичних випробувань визначається за формулою

$$P^*(l) = \frac{N_0 - n(l)}{N_0} = 1 - \frac{n(l)}{N_0}, \quad (2.2)$$

де N_0 – число елементів на початку випробувань;

$n(l)$ – число елементів, що відмовили, за пробіг l .

При великому числі зразків N_0 статистична оцінка $P^*(l)$ виявляє стійкість і мало відрізняється від імовірності безвідмовної роботи $P(l)$.

Отже, імовірність безвідмовної роботи елементів до пробігу автомобіля l – це частка працездатних елементів у момент пробігу l . У силу того, що кількість працездатних елементів зі збільшенням пробігу автомобіля поступово зменшується, графік функції $P(l)$ іноді називають кривою спадання (рис. 2.1). Ця крива має таку властивість:

$$\int_0^{\infty} P(l)dl = l_{cp}$$

тобто узятий інтеграл від нуля до нескінченності дорівнює середньому напрацюванню на відмову – середньому ресурсу.

Таким чином, площа під кривою спадання, побудованою на підставі експериментальних даних, являє собою середній ресурс елемента.

За кривою спадання можна також визначити гамма-процентний ресурс. Задаючи величину регламентованої імовірності γ і відкладаючи її на осі абсцис до перетинання з кривою спадання, визначають ресурс, при якому залишиться справним установлений відсоток деталей (рис. 2.1).

Для ремонттованих елементів автомобіля за кривою спадання можна визначити середній і гарантований ресурс до капітального ремонту і т.д.

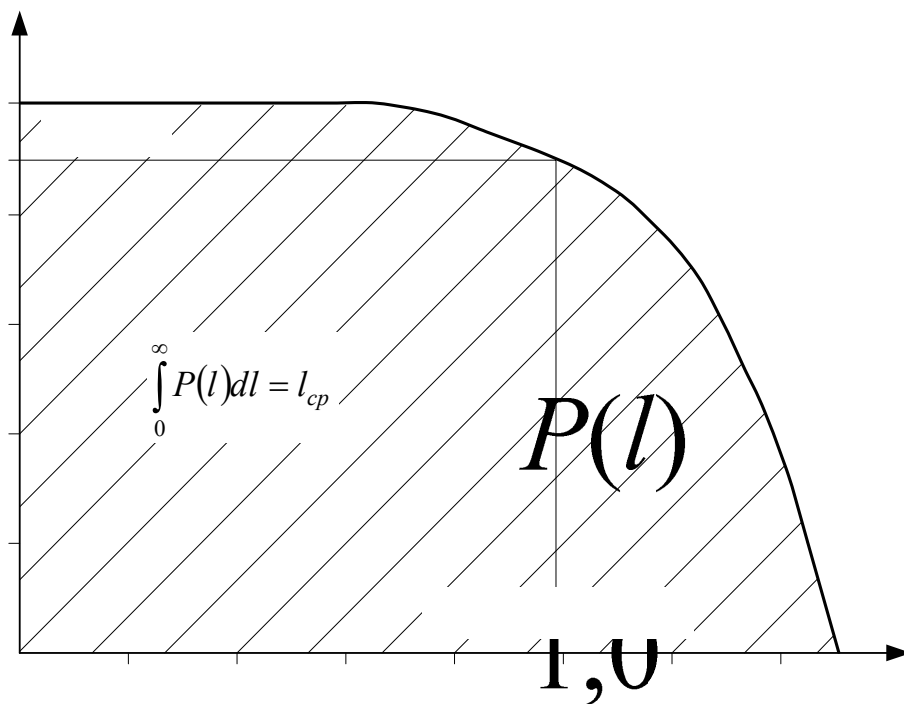


Рисунок 2.1 – Графік імовірності безвідмовної роботи корінного листа передньої ресори автомобіля КрАЗ-256 (III категорія умов експлуатації).

Середнє напрацювання на відмову (середній безвідмовний пробіг)

$$l_{cp} = \int_0^{\infty} l f(l) dl. \quad (2.3)$$

l_{cp} може бути знайдене також за результатами випробувань. Для цього потрібно випробувати елементи до відмови останнього з них. Нехай $l_1, l_2, \dots, l_{N_0}$ є напрацюванням елементів на відмову. Тоді середнє напрацювання складе:

$$l_{cp}^* = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_{N_0}}{N_0} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} l_i. \quad (2.3^*)$$

При великому значенні N_0 має місце наближена рівність

$$l_{cp}^* \approx l_{cp}.$$

Точна формула для визначення інтенсивності відмов:

$$\lambda(l) = \frac{f(l)}{P(l)} = \frac{f(l)}{\int_l^{\infty} f(l) dl}. \quad (2.4)$$

Рівняння (2.4) можна записати в такому вигляді:

$$\lambda(l) = -\frac{P'(l)}{P(l)}. \quad (2.4^*)$$

Вирішуючи це рівняння щодо функції надійності, одержимо

$$P(l) = e^{-\int_0^l \lambda(l) dl} \quad (2.5)$$

Рівняння (2.5) є одним з важливих рівнянь теорії надійності, що встановлюють залежність між імовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов.

Для оцінювання інтенсивності відмов за матеріалами випробувань користуються формулою

$$\lambda^*(l) \approx \frac{N_0(l) - N(l + \Delta l)}{N_0(l) \Delta l}, \quad (2.6)$$

де $N_0(l)$ – число елементів, поставлених на випробування;

$N(l + \Delta l)$ – число справних елементів наприкінці інтервалу пробігу $(l + \Delta l)$;

Δl – деякий достатньо малий пробіг, км.

Інтенсивність відмов статистично визначається відношенням числа елементів, що відмовили, за одиницю пробігу до числа елементів, що залишилися в справному стані до кінця напрацювання. При $\lambda = const$ (для експонентного закону розподілу відмов) з рівняння (2.5) одержимо:

$$P(l) = e^{-\lambda l}. \quad (2.7)$$

Оскільки $l_{cp} = \int_0^{\infty} P(l) dl$, то $l_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^l \lambda(l) dl} dl$.

Якщо інтенсивність відмов не залежить від часу ($\lambda = const$), то

$$l_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^l \lambda(l) dl} dl = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.8)$$

З цього випливає, що при $\lambda = const$ середнє напрацювання елемента на відмову є величина обернена інтенсивності відмов. У цьому випадку

$$P(l) = e^{-\lambda l} = e^{-\frac{l}{l_{cp}}}. \quad (2.9)$$

При невеликому напрацюванні (λl не перевищує 0,10)

$$P(l) = 1 - \lambda l.$$

Гамма-відсотковий ресурс l_γ знаходять з рівнянь

$$P(l_\gamma) = \frac{\gamma}{100},$$

де γ – імовірність недосягнення граничного стану, %;

ліва частина обчислюється за рівнянням (2.2) або (2.9).

Для ремонтіваних деталей автомобіля як основні критерії надійності приймають:

- а) середнє число відмов до напрацювання l ;
- б) параметр потоку відмов;
- в) напрацювання на відмову;
- г) імовірність безвідмовної роботи.

Середнє число відмов до напрацювання l визначають за формулою:

$$m_{cp}(l) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(l)}{N}, \quad (2.10)$$

де N – число елементів.

При $N \rightarrow \infty$ одержуємо характеристику потоку відмов:

$$H(l) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N m_i(l)}{N}. \quad (2.10^*)$$

Параметр потоку відмов визначають за рівнянням:

$$\omega(l) = \frac{dH(l)}{dl}. \quad (2.11)$$

Для визначення параметра потоку відмов на підставі експериментальних даних користуються формулою:

$$\omega^*(l) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(l + \Delta l) - \sum_{i=1}^N m_i(l)}{N \Delta l}. \quad (2.11^*)$$

Отже, параметр потоку відмов – це середня кількість відмов відновлюваного елемента автомобіля за одиницю пробігу, узятя для розглянутого пробігу.

Напрацювання на відмову визначається за рівнянням

$$L = \frac{l_2 - l_1}{H(l_2) - H(l_1)}. \quad (2.12)$$

Для визначення L за даними експериментальних спостережень

$$L \approx \frac{l_2 - l_1}{m_{cp}(l_2) - m_{cp}(l_1)}. \quad (2.12^*)$$

При сталому режимі експлуатації (після періоду приробки)

$$L = \frac{1}{\omega} = \text{const} \quad (2.13)$$

або

$$L = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (2.13^*)$$

де m – число відмов за час випробувань;

N – кількість випробовуваних елементів.

Імовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(l_2 - l_1) = e^{H(l_1) - H(l_2)} \quad (2.14)$$

У зоні сталої експлуатації

$$P(l_0) = e^{-\omega l_0} = e^{-\frac{l_0}{L}}, \quad (2.14^*)$$

де $l_0 = l_2 - l_1$.

Надійність відновлюваної системи (елемента) характеризується не тільки безвідмовністю, але і тим, наскільки швидко відновлюється її працездатність після виникнення відмови, тобто відновлюваністю.

Процес відновлення (виявлення та усунення відмов), як і процес виникнення відмов, є також імовірнісним.

Випадковою величиною при цьому є час відновлення, що залежить від багатьох факторів (характеру відмов, ремонтпридатності автомобіля, наявності спеціального інструмента і пристосувань, кваліфікації персоналу і т.д.).

Основними показниками відновлюваності автомобіля (агрегату, вузла) приймають середній час відновлення, імовірність відновлення і параметр потоку відновлень.

На підставі статистичних даних *середній час відновлення* T_e визначають за формулою

$$T_e = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \text{ год/відновлення} \quad (2.15)$$

де m – число, виявлених і усунутих відмов;

t_i – час відновлення i -ї відмови.

Середній час відновлення при заданих умовах обслуговування і ремонту характеризує ремонтпридатність автомобіля.

Параметр потоку відновлень є величиною, оберненою до середнього часу відновлень, і вимірюється кількістю відновлень за годину, тобто

$$\mu = \frac{1}{T_e}. \quad (2.15^*)$$

Для експонентного закону розподілу відмов імовірність відновлення виражається формулою

$$P(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_e}} = 1 - e^{-\mu t}. \quad (2.16)$$

Крім перерахованих показників, застосовуються також комплексні показники, що дозволяють оцінювати надійність з врахуванням відновлюваності.

До таких показників відносяться коефіцієнти готовності і технічного використання. Ці показники визначаються при сталому режимі експлуатації.

Для структурного аналізу надійності автомобіля (вузла, агрегату) зручно застосовувати коефіцієнт відмов

$$K_e = \frac{n_e}{\sum n_a}. \quad (2.17)$$

або відсоток відмов

$$K'_e = \frac{n_e}{\sum n_a} \cdot 100, \quad (2.18)$$

де n_e – кількість відмов за встановлений пробіг l для даному виду агрегату, вузла (деталі);

$\sum n_a$ – сумарна кількість відмов для всього автомобіля (агрегату, вузла) за пробіг l .

Коефіцієнт відмов дозволяє визначити найненадійніший агрегат (вузол) автомобіля або найненадійнішу деталь в агрегаті (рис. 2.2).

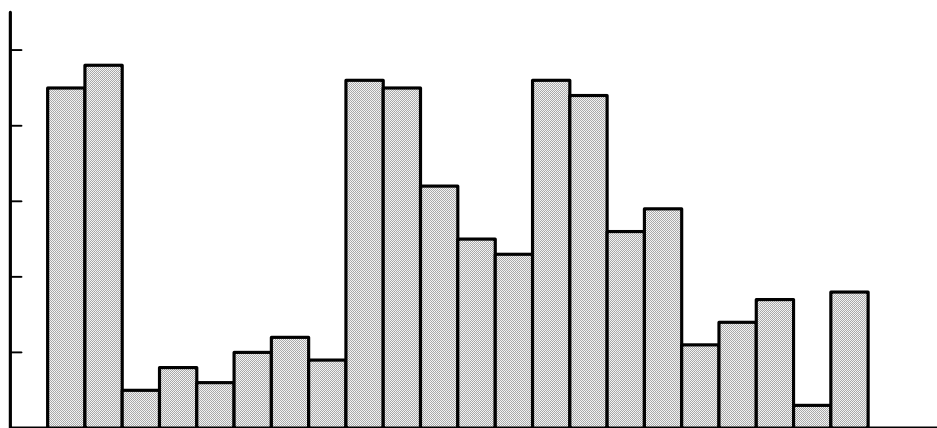


Рисунок 2.2 – Графік коефіцієнтів відмов автомобілів ГАЗ-3110 «Волга» в інтервалі пробігу 0-60 тис. км:

1 – двигун; 2 – зчеплення; 3 – коробка передач; 4 – карданна передача; 5 – гальма; 6 – рульове керування; 7 – електроустаткування; 8 – підвіска; 9 – колеса і шини; 10 – кузов; 11 – інші вузли та агрегати; а – нові автомобілі; б – автомобілі після капітального ремонту (III категорія умов експлуатації).

Для оцінювання надійності автомобіля (агрегату) за економічними критеріями користуються коефіцієнтом річних експлуатаційних витрат:

$$K_{pv} = \frac{C_{TO} + C_p}{C_a}, \quad (2.19)$$

де C_{TO} – річні витрати на технічне обслуговування автомобіля, грн.;

C_p – річні витрати на ремонт автомобіля, грн.;

C_a – покупна вартість автомобіля.

Чим менше значення K_{pv} , тим менші річні витрати несе автотранспортне підприємство для підтримки автомобіля протягом року в працездатному стані.

Визначення середнього ресурсу ремонтovanого елемента автомобіля і середнього напрацювання першої відмови виконується за такими ж рівняннями, як і для неремontованих елементів.

Крім перерахованих показників надійності, можуть застосовуватися і інші – в залежності від поставленої задачі, від пристрою і призначення елемента.

Для оцінювання ремонтпридатності автомобіля приймають такі показники, як питомі трудові витрати, пов'язані з усуненням відмов (тобто

витрати, віднесені до кілометрів пробігу автомобіля), питомі вартісні витрати (витрата запасних частин і матеріалів на кілометр пробігу) і ін.

2.2 Довговічність транспортних машин

Під довговічністю транспортної машини (автомобіля), як було відзначено вище, розуміють її властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічних обслуговувань і ремонтів.

Основними показниками, що дозволяють оцінити довговічність автомобіля в чисельних значеннях, приймають *ресурс* або *термін служби*. У практиці роботи автотранспортних підприємств під ресурсом звичайно мають на увазі середнє напрацювання автомобіля в тисячах кілометрів до капітального ремонту. Для ремонтованих деталей за показник довговічності приймають гарантований ресурс $\gamma\%$ деталей до першого відновлювального ремонту або середнє напрацювання (теж до першого відновлювального ремонту). Для неремontованих деталей за показник довговічності приймають гарантований ресурс $\gamma\%$ деталей до заміни або середнє напрацювання до заміни.

Чисельні показники довговічності автомобіля є статистичними величинами, розрахованими для заданих умов експлуатації.

При рішенні питання про доцільні терміни служби автомобіля необхідно враховувати ту обставину, що, крім фізичного зношування, автомобіль піддається і моральному (економічному) зношуванню.

Моральний знос техніки, у тому числі й автомобіля, є закономірним явищем, обумовленим технічним прогресом, і безпосередньо пов'язаний з дією закону вартості.

Стосовно автомобіля, як і інших складних механічних систем, розрізняють моральний знос I і II роду.

Моральний знос I роду – це зниження вартості відтворення автомобіля без зміни його конструкції внаслідок росту продуктивності праці на базі механізації й автоматизації виробничих процесів, поліпшення технології та організації виробництва. У результаті цього вартість виготовлення нового автомобіля зменшується. Раніше випущені такі ж автомобілі утрачають свою первісну вартість (знецінюються). Економічна вигода від застосування нового автомобіля обумовлюється тим, що на одиницю продукції він переносить меншу частину своєї вартості, ніж раніше випущений автомобіль. Заміна старого автомобіля новим дає економію засобів за рахунок зниження амортизаційних відрахувань.

Моральний знос II роду виявляється в тому випадку, коли замість старої машини випускається нова, більш продуктивна й економічна машина, і застосування її приводить до зниження витрат на одиницю продукції. Раніше випущені автомобілі стають застарілими, малопродуктивними, неефективними. Таким чином, технічний прогрес

промисловості диктує необхідність періодичної заміни або модернізації автомобілів.

В залежності від типу автомобіля і комплексу умов його роботи існує оптимальна довговічність, тобто загальний термін служби автомобіля (від початку експлуатації до списання), при якому досягається найбільша рентабельність його використання.

Велике збільшення терміну служби автомобіля, досягнуте шляхом частих і складних ремонтів, веде до різкого зростання собівартості транспортної продукції і зниження рентабельності його використання. До цих же наслідків приводить і передчасне зняття з експлуатації автомобіля внаслідок різкого збільшення амортизаційних відрахувань.

В Україні і за рубежом як критерій оптимальності терміну служби машини приймають досягнення мінімальної собівартості одиниці роботи, зробленої за допомогою даної машини протягом усього терміну її служби.

Стосовно до автомобіля це положення формулюється так: *оптимальна довговічність автомобіля визначається величиною його пробігу, при якому собівартість одного кілометра (за весь період експлуатації) досягає найменшого значення.*

Витрати автотранспортного підприємства, пов'язані з використанням автомобіля протягом усього терміну служби, складаються з таких складових:

а) витрати на придбання автомобіля (за винятком вартості шин і ліквідаційної вартості автомобіля) – C_a ;

б) витрати, що збільшуються пропорційно пробігу автомобіля (витрати на збереження, витрати на оливу і паливо, витрати на оплату праці водіям та ін.) – aL ;

в) прогресуючі витрати на технічне обслуговування і ремонти (виражаються степеневою функцією) – bL^n .

Розділивши суму усіх витрат на пробіг автомобіля L , одержимо значення собівартості пробігу одного кілометра за весь термін служби автомобіля:

$$C_{\kappa} = \frac{C_a}{L} + a + bL^{n-1}. \quad (2.20)$$

Якщо взяти першу похідну функції $\frac{dC_{\kappa}}{dL}$, прирівняти її до нуля і розв'язати відносно L , одержимо оптимальний пробіг автомобіля до списання:

$$L_{onm} = \sqrt[n]{\frac{C_a}{(n-1)b}}. \quad (2.21)$$

Оптимальну довговічність автомобіля можна визначати і графічно, відобразивши відповідні величини в масштабі на координатну сітку (рис. 2.3).

Рівняння (2.21) записують у різних варіантах в залежності від виду функції, прийнятої для вираження прогресуючих витрат.

Аналіз рівняння (2.21) показує, що, за інших рівних умов, чим вище вартість автомобіля, тим більшим повинен бути його оптимальний термін служби. Оптимальний термін служби автомобіля буде також збільшуватися при зниженні коефіцієнта b , тобто при підвищенні надійності його елементів. Таким чином, оптимальна довговічність автомобіля на будь-якому етапі розвитку автомобільної промисловості буде визначатися вартістю його відтворення (яка буде увесь час зменшуватися) і надійністю його елементів в умовах експлуатації.

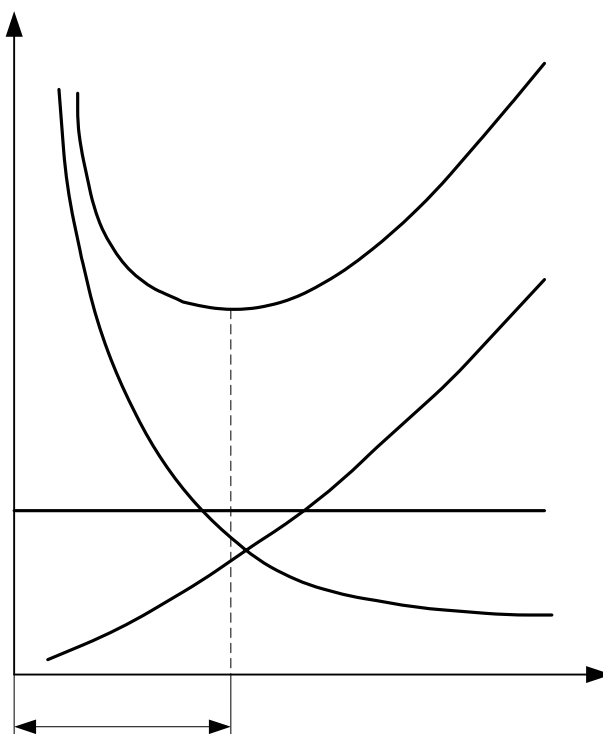


Рисунок 2.3 – Схема визначення оптимальної довговічності автомобіля:
1 – питомі витрати на ТО і ремонти; 2 – постійні витрати; 3 – витрати на амортизацію;
4 – сумарна крива; $l_{\text{опт}}$ – оптимальна довговічність, L – термін служби машини,
 C – собівартість одиниці продукції

Вплив морального зносу завжди буде проявлятися в необхідності скорочення оптимальної довговічності, розрахованої за мінімальною собівартістю кілометра пробігу.

Зв'язок між оптимальною довговічністю і моральним зносом автомобіля описується такою залежністю [46]:

$$L_{\text{онм}} = \sqrt{\frac{C_a}{b}} - \frac{\Delta C}{2b}, \quad (2.22)$$

де ΔC – різниця в собівартості одиниці пробігу для автомобіля, що знаходиться в експлуатації, і автомобіля нової конструкції, що тільки прийнятий на виробництво.

В сучасних умовах планування та економічного стимулювання на автомобільному транспорті основним показником ефективності роботи автотранспортного підприємства є рівень рентабельності (відношення

суми прибутку до суми виробничих фондів, що беруть участь у її одержанні). Рівень рентабельності автотранспортного підприємства залежить, у кінцевому рахунку, від рівня рентабельності роботи кожного окремо узятого автомобіля.

2.3. Надійність, довговічність та ефективність використання транспортних машин

Основними показниками ефективності використання транспортних машин (автомобілів) є їх продуктивність, собівартість перевезень і безпека руху.

Годинна продуктивність автомобіля в загальному вигляді виражається формулою

$$W_p = \frac{q \cdot \gamma \cdot l_{\epsilon} \cdot V_t \cdot \beta}{l_{\epsilon} + t_{\text{нр}} \cdot V_t \cdot \beta}, \text{ т} \cdot \text{км/год.} \quad (2.23)$$

Продуктивність парку автомобілів A за D календарних днів складає:

$$W = AD \cdot \alpha_{\epsilon} \cdot T_n \cdot W_p, \text{ т} \cdot \text{км} \quad (2.23^*)$$

де q – вантажопідйомність автомобіля, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

l_{ϵ} – пробіг автомобіля з вантажем, км;

V_t – технічна швидкість, км/год;

β – коефіцієнт використання пробігу;

$t_{\text{нр}}$ – час, затрачуваний на вантажно-розвантажувальні роботи та оформлення вантажу, год;

AD – інвентарне (облікове) число автомобіле-днів;

α_{ϵ} – коефіцієнт випуску автомобілів на лінію;

T_n – число годин роботи автомобіля на лінії протягом дня, год.

Замінивши в рівнянні (2.23*) значення α_{ϵ} виразом $\alpha_{\epsilon} = \alpha_t (1 - \alpha_{\text{нд}})$, одержимо:

$$W = AD \cdot T_n \cdot W_p \cdot \alpha_t (1 - \alpha_{\text{нд}}), \text{ т} \cdot \text{км} \quad (2.24)$$

де α_t – коефіцієнт технічної готовності парку;

$\alpha_{\text{нд}}$ – коефіцієнт неробочих днів ($\alpha_{\text{нд}} = \frac{AD_n}{AD}$);

AD_n – автомобіле-дні простою за D календарних днів. Отже, продуктивність парку вантажних автомобілів за будь-який календарний період часу пропорційна інвентарним автомобіле-дням (AD), тривалості роботи автомобіля на лінії (T_n), годинній продуктивності автомобіля (W_p), величині коефіцієнта технічної готовності (α_t) і ступеню використання технічно справних автомобілів ($1 - \alpha_{\text{нд}}$).

Величини T_n і $(1 - \alpha_{нд})$ залежать від режиму роботи автотранспортного підприємства, W_p визначається експлуатаційними властивостями автомобіля (q , V_T), умовами перевезень (β , γ) і організацією транспортного процесу. Коефіцієнт технічної готовності α_T дає уяву про потенційну можливість використання парку автомобілів та залежить від надійності і довговічності автомобілів, рівня організації технічної експлуатації.

У практиці роботи автотранспортних підприємств коефіцієнт технічної готовності парку визначають за формулою

$$\alpha_T = \frac{AD - (AD_{TO} + AD_P)}{AD} = 1 - \frac{AD_{TO} + AD_P}{AD}. \quad (2.25)$$

де AD_{TO} – автомобіле-дні простою в технічних обслуговуваннях;

AD_P – автомобіле-дні простою в ремонтах.

Досвід експлуатації автомобілів показує, що поряд з усуненням відмов в майстернях автотранспортного підприємства частину відмов приходить усувати безпосередньо на лінії, що приводить до втрат «лінійного» часу. При експлуатації вантажних автомобілів, що мають пробіг до першого капітального ремонту, утрати лінійного часу на усунення відмов складають в середньому 2-3%, а при експлуатації автомобілів, що пройшли капітальний ремонт – 7-10%. Таким чином, коефіцієнт технічної готовності парку, тривалість і частота простоїв у поточних ремонтах і простої через технічні несправності на лінії обумовлюються надійністю і довговічністю автомобілів. Надійність і довговічність автомобілів дуже впливають на собівартість перевезень.

Собівартість перевезень є основним синтетичним якісним показником автотранспортного підприємства, що характеризує всі сторони його діяльності.

Собівартість перевезень S визначається відношенням суми всіх матеріальних витрат автотранспортного підприємства (витрат живої й упредметненої праці) до загального обсягу транспортної роботи автомобілів W за той самий період часу:

$$S = \frac{\sum C}{W}, \text{ грн./т·км} \quad (2.26)$$

або

$$S = \frac{C_{\epsilon} + C_n + C_{м.е} + C_{TO,P} + C_{ш} + C_a + C_n}{W}, \quad (2.26^*)$$

де C_{ϵ} – заробітна плата водіїв (з нарахуваннями);

C_n – витрати на паливо для автомобілів;

$C_{м.е}$ – витрати на мастильні та інші експлуатаційні матеріали;

$C_{TO,P}$ – витрати на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу;

$C_{ш}$ – витрати на ремонт автомобільних шин;

C_a – амортизаційні відрахування на рухомий склад;

C_n – загальновиробничі (накладні) витрати.

Для зниження собівартості перевезень необхідно насамперед підвищувати транспортну продуктивність автомобілів і знижувати усі витрати, пов'язані з виробничою діяльністю автотранспортного підприємства. Якщо витрати C_n і C_e залежать від розмірів і організації роботи автотранспортного підприємства, витрати C_n і $C_{м.е}$ – від типів автомобілів і умов перевезень, то витрати $C_{то,р}$ і C_a залежать від надійності і довговічності автомобілів, а також від рівня їхньої експлуатації. Витрати на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту по країні обчислюються сотнями мільйонів гривень і складають у структурі витрат на собівартість від 13 до 20% (на вантажні перевезення – в середньому 16%, на автобусні – близько 14% і на легкові до 20%). Питома вага фактичних витрат на поточні ремонти по автотранспортних підприємствах коливається від 10 до 90% від загальних витрат за статтю «Технічне обслуговування і ремонт рухомого складу» [2].

Підвищення надійності і довговічності автомобілів сприяє ефективному використанню капітальних вкладень на автомобільному транспорті (скорочує потребу в матеріально-технічній базі), різкому зниженню експлуатаційних витрат і поліпшенню якості роботи автомобільного транспорту, тобто забезпечує регулярну і безперебійну роботу автомобілів на лінії, максимальні зручності для пасажирів, збереження перевезених вантажів і значно підвищує безпеку руху.

Експлуатація ненадійних автомобілів (або автомобілів, що мають великий фізичний і моральний знос) вимагає великих витрат на створення ремонтної бази, матеріальної бази із виробництва запасних частин, а також витрати величезної кількості металу. В даний час близько 44% металу, призначеного для автомобільної промисловості, йде на виробництво запасних частин.

Очевидно, що якою б важливою не була економія витрат на виробництво автомобіля, вона впливає на скорочення народногосподарських витрат на автомобільному транспорті в цілому. У той же час деяке подорожчання виробництва автомобіля, пов'язане з підвищенням його якості, може привести до істотного скорочення витрат на автомобільному транспорті. Цим обумовлюється техніко-економічна доцільність подальшого удосконалювання конструкцій вітчизняних автомобілів, підвищення їх надійності і довговічності. Однак для підвищення надійності автомобіля потрібні значні додаткові витрати. У силу протиріч між рівнем надійності автомобіля, його вартістю і витратами в сфері експлуатації необхідний оптимальний підхід до рішення проблеми надійності автомобіля з урахуванням народногосподарської ефективності.

3 ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

3.1 Зміна технічного стану машин в процесі експлуатації

У процесі тривалої роботи транспортних машин в їх механізмах, агрегатах і системах виникають несправності, що приводять до погіршення експлуатаційних властивостей і зниження ефективності використання.

Усі несправності транспортних машин можна розділити на дві групи:

1) ті, що виникають в результаті зношування, руйнування від втоми або деформації деталей;

2) обумовлені виходом робочих характеристик транспортної машини (або її елементів) за допустимі межі внаслідок порушення регулювання, ослаблення кріплень, зміни посадок, утворення нагару, смолистих відкладень, забруднень і ін.

Знос деталей є головною причиною, що викликає несправності транспортних машин в процесі експлуатації і характеризується зміною форми і розмірів деталей. У результаті зносу тертьових поверхонь збільшуються зазори в рухомих сполученнях деталей, змінюється взаємне їхнє розташування, що порушує регулювання механізмів і систем.

Зміни розмірів і форми деталей приводять до перерозподілу діючих навантажень і збільшення контактних тисків; при цьому виникають стуки в з'єднаннях, що прискорюють процеси зношування. При значному збільшенні зазорів можуть відбутися поломки деталей унаслідок динамічних навантажень.

Деякі деталі транспортної машини (автомобіля) виходять з ладу від руйнування металу від втоми або спільної дії явищ втоми і зносу.

На рис. 3.1 показаний графік зміни величини зазору між циліндром і поршнем двигуна ЗИЛ-130. У початковий період більш інтенсивно зношується поршень. При збільшенні зазору до 0,15-0,18 мм темп зношування поршня зменшується, циліндра – різко збільшується. Ще більш інтенсивно зношуються поршневі кільця, тому що вони працюють у тяжких умовах: піддаються тепловій і кородуючій дії продуктів згоряння та високих тисків при недостатньому змащенні робочих поверхонь. Зі збільшенням зношування поршневих кілець збільшуються зазори в замках кілець, а пружність кілець різко знижується.

При зносі поршневих кілець підсилюється проникнення оливи в камеру згоряння і відпрацьованих газів у картер двигуна; відбувається інтенсивне відкладення лаку і нагару на стінках камер згоряння, днищах поршнів, поршневих кільцях і клапанах. Низька теплопровідність нагару викликає калильне запалювання, і детонаційне згоряння пальної суміші. Крім того, нагар, потрапляючи в картерну оливу, засмічує мастилопроводи та фільтри, порушує циркуляцію оливи в системі змащення. Гази, проникаючи в картер двигуна, здувають змазку зі стінок циліндрів, підвищують температуру оливи, інтенсифікують процес її старіння.

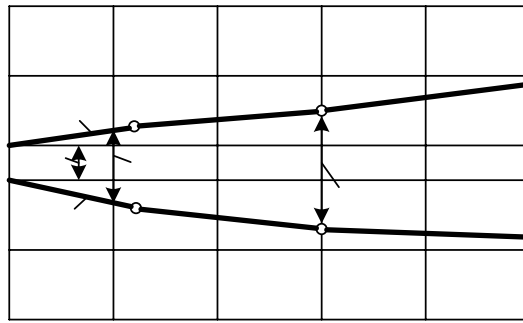


Рисунок 3.1 – Графік зміни величини зазору між циліндром і поршнем двигуна від пробігу автомобіля:

- 1 – крива зносу циліндра; 2 – крива зносу поршня; 3 – зазор між циліндром і поршнем до початку пробігу; 4 – зазор між циліндром і поршнем при 20 тис. км пробігу; 5 – зазор між циліндром і поршнем при 60 тис. км пробігу

Таким чином, при збільшенні зазору між поршнем і стінкою циліндра створюються умови для підвищеного зносу деталей поршневої групи, підшипників і шийок колінчатого вала, розподільних шестерень, кулачків розподільного вала та ін.

При зносі деталей розподільного механізму порушуються фази газорозподілу, зменшується коефіцієнт наповнення двигуна (що приводить до зниження його потужності) і виникають стуки в розподільному механізмі.

У двигунах із запаленням від стиску внаслідок зносу прецизійних пар насосів і форсунок відбувається запізнювання упорскування палива, зменшується подача палива на цикл, погіршується якість розпилення і порушується рівномірність подачі палива по циліндрах двигуна.

При зносі підшипників і шийок колінчатого вала порушується режим змащення цих деталей, виникають стуки в підшипниках і вібрація двигуна.

Основною причиною зняття двигуна з експлуатації для ремонту є підвищене димлення (внаслідок великої витрати оливи), а також стуки підшипників, циліндро-поршневої групи і розподільного механізму. Однак при своєчасній заміні зношених деталей і належному регулюванні двигуна потужність і економічність його тривалий час зберігається в допустимих межах.

Потужність двигуна і витрата палива залежать від регулювання системи живлення, приладів запалювання і механізму газорозподілу, а також від інтенсивності утворення накипу в системі охолодження, нагару в камерах згоряння і смолоутворення у впускному трубопроводі.

Експериментальні дослідження показали, що в процесі роботи автомобіля в усмоктувальних трубопроводах карбюраторних двигунів утворюються смолисті відкладення, що зменшують прохідний переріз

Зазор, мм

трубопроводів. Унаслідок збільшення гідродинамічного опору трубопроводів і порушення рівномірності наповнення циліндрів пальною сумішшю потужність двигуна знижується і збільшується питома витрата палива. Так, наприклад, при випробуваннях двигуна ГАЗ-53 з відкладеннями в усмоктувальному трубопроводі потужність його при великих оборотах знизилася на 35-40%, а питома витрата палива збільшилася на 12%.

Істотні зміни відбуваються в агрегатах і механізмах силової передачі: збільшується вільний хід педалі зчеплення і пробуксовування дисків при роботі внаслідок зносу підшипників і шестерень, збільшуються втрати потужності на тертя в силовій передачі, виникають стуки і шуми під час роботи.

Знос механізмів рульового керування, деталей передньої підвіски, підшипників коліс викликає зміну кутів установлення керованих коліс, що скорочує шлях вільного кочення автомобіля, збільшує знос шин і витрату палива. У результаті зносу фрикційних накладок гальм і гальмових барабанів, а також деталей привода гальм збільшується шлях і час гальмування до повної зупинки автомобіля.

Комплексний вплив відзначених дефектів приводить до погіршення динамічних і економічних якостей автомобіля, зниження продуктивності автомобіля і збільшення собівартості перевезень.

3.2 Зношування деталей машин

Під зношуванням деталей розуміють поступову зміну їхніх розмірів, форми і стану поверхонь внаслідок взаємодії тонких (активних) шарів металу в процесі тертя. В тонких шарах (порядку десятка мікрон) під впливом сил тертя і зовнішнього середовища відбуваються складні фізико-хімічні зміни, якими і визначається швидкість зношування деталей. Швидкість зношування будь-якої деталі автомобіля залежить від великого числа випадкових факторів: від величини навантаження на поверхні тертя, що безупинно змінюється, зазору між поверхнями тертя, твердості і чистоти обробки поверхонь, швидкості відносного переміщення деталей, від в'язкості, температури і чистоти оливи та ін. Отже, швидкість зношування деталі варто розглядати як випадкову величину, а знос – випадковою функцією часу роботи або пробігу автомобіля.

Швидкість зношування поверхонь тертя у ряді випадків стимулюється розклинювальною дією змащення, що попадає в мікротріщини, вібрацією і корозією деталей, електричними та іншими явищами.

Незважаючи на різноманітність форм і видів прояву зношування, кожна працююча деталь має чітко виражений ведучий вид зносу (тобто такий, що протікає з найбільшою швидкістю), яким і визначається термін її служби. Для продовження терміну служби машин необхідно визначити, який вид зношування є ведучим для даного з'єднання, і застосовувати найбільш ефективні способи його зниження.

До *механічних* видів зношування відносяться: абразивний, зношування внаслідок пластичного деформування, зношування при крихкому руйнуванні.

Абразивне зношування характеризується тим, що метал у тонких поверхневих шарах зрізується або видряпується твердими структурними елементами матеріалу іншої деталі або сторонніми абразивними частиночками, що є на поверхнях тертя. Цей вид зношування досить часто зустрічається під час роботи машин і є найбільш простим видом руйнування поверхонь при терті.

Абразивні частиночки можуть попадати на поверхні тертя разом з повітрям, паливом, змащенням або можуть бути продуктами корозійно-механічного чи іншого виду зносу.

В автомобілях абразивному зносові піддаються циліндри, поршні і поршневі кільця двигуна, плунжерні пари, пальці і втулки ресор, шворні поворотних цапф та ін.

Основним заходом щодо боротьби з абразивним зношуванням є правильний підбір матеріалів пар тертя з високою твердістю, запобігання попаданню абразивних частиночок на поверхні тертя, своєчасне видалення продуктів зносу з поверхонь тертя.

Зношування внаслідок *пластичного деформування* відбувається при підвищених навантаженнях і температурах, коли деталь інтенсивно деформується і поверхневі шари металу поступово переміщуються під дією сил тертя в напрямку ковзання. Зношування деталі в цьому випадку може відбуватися без утрати ваги, але при істотній зміні її розмірів. Цей вид зносу характерний для підшипників, залитих бабітами, втулок верхньої головки шатуна, отворів бобишок поршнів і ін.

Основні методи зменшення цього виду зношування такі: обмеження питомих тисків і температур на поверхнях тертя, попереднє ущільнення поверхонь тертя і раціональне змащення.

Зношування при крихкому руйнуванні характеризується тим, що поверхневий шар одного з тертьових металів у результаті тертя і супутніх йому пластичних деформацій інтенсивно наклепується і стає крихким. Порушення зв'язків поверхневого шару з основною масою металу приводить до його руйнування (оголюється менш крихкий метал, який лежить під ним, потім це явище повторюється).

Зносу при крихкому руйнуванні піддаються кільця шарикових і роликів підшипників, зуби шестерень, шатунні і корінні підшипники та інші деталі.

Основними методами зменшення цього виду зношування є: правильний підбір пар тертя, строге дотримання найвигіднішої величини зазору та оптимальної величини питомого тиску, застосування спеціальної обробки деталей (термохімічної, попереднього наклепу деталей та ін.).

Характерним видом *молекулярно-механічного* зношування є знос схоплюванням, при якому на миттєвій поверхні тертя унаслідок великої пластичної деформації поверхневих шарів і руйнування окисних плівок

виникають металеві зв'язки між поверхнями тертя. У результаті того, що поверхні знаходяться у відносному русі, виниклі зв'язки руйнуються. Руйнування зв'язків може відбутися по основному металу або по металу, що утворився в поверхневих шарах тертьових деталей. При розриві зв'язків по основному металу на його поверхні утворюються поглиблення і виступи. При цьому питомий тиск на поверхні частини, що виступає, досягає великої величини. При інтенсивному схоплюванні металів відбувається процес нашарування менш міцного металу на поверхню більш міцного.

Знос схоплюванням спостерігається в підшипниках, залитих бабітом або свинцюватою бронзою, у втулках валів, у поршнях, циліндрах та інших деталях.

Для ефективної боротьби зі схоплюванням застосовують поверхнєве зміцнення деталей або спеціальне покриття, рясне змащення, правильно вибирають величини масляних зазорів, обмежують питомі тиски і скорочують час роботи з'єднання при перевантаженні з малою відносною швидкістю переміщення поверхонь тертя.

Корозійно-механічне зношування характеризується тим, що пластичні деформації в процесі тертя супроводжуються хімічним або електрохімічним впливом зовнішнього середовища. Взаємодія кислот, лугів або відпрацьованих газів з поверхневими шарами металу приводить до утворення нових хімічних сполук, що різко змінюють властивості тертьових активних шарів металу. Знос тертьових поверхонь при цьому відбувається внаслідок періодичного викришування або швидкого стирання менш міцного шару.

Корозійно-механічному зношуванню піддаються циліндри двигуна, вкладиші підшипників зі свинцюватої бронзи, шийки колінчатого вала та ін.

Для зменшення цього зношування необхідно застосовувати палива і мастильні матеріали, що не містять лугів і кислот, захищати поверхні деталей шаром змащення від насичення їх кородуючими речовинами, застосовувати антикорозійні матеріали, а також оливи і палива зі спеціальними нейтралізуючими присадками.

В залежності від умов роботи та сама деталь може піддаватися одночасно впливові декількох видів зношування, однак один з них буде ведучим, тому що він протікає з максимальною швидкістю на поверхнях тертя. Це пояснюється тим, що кожний сталий вид зношування обумовлюється певними параметрами: швидкістю переміщення поверхонь тертя, змащенням, тепловиділенням, явищами дифузії та ін. Наприклад, верхня частина циліндра автомобільного двигуна піддається одночасно молекулярно-механічному, абразивному і корозійно-механічному видам зношування. При нормальних умовах роботи автомобіля основним видом зношування верхньої частини циліндра є корозійно-механічний, тому що він протікає з максимальною швидкістю. При роботі двигуна в дуже

запиленому повітрі ведучим зносом верхньої частини циліндра є абразивний, а при роботі двигуна з перевантаженнями при малому числі оборотів колінчатого вала – знос схоплюванням. Це вказує на необхідність комплексного рішення проблеми підвищення довговічності машин з урахуванням різноманітності одночасно діючих факторів.

3.3 Методи кількісного оцінювання зношування деталей транспортних машин

У ряді випадків при рішенні практичних задач або при виконанні наукового дослідження виникає необхідність кількісного оцінювання зносу деталей автомобіля.

Варто розрізняти поняття зношування і знос.

Зношування – це процес поступової зміни розмірів, форми і стану поверхні деталі, що відбувається при терті.

Знос – результат зношування, що виявляється у вигляді зміни розмірів, форми і стану поверхні деталі.

Розрізняють *абсолютний* знос – зменшення ваги або розмірів деталі в процесі її роботи або випробувань на зношування та *лінійний* знос, обумовлений зміною розміру за нормаллю до поверхні тертя.

Швидкість зношування – відношення абсолютного зносу до часу, протягом якого відбувалося зношування. Швидкість зношування може оцінюватися, наприклад, у мк/год; мг/год; мм³/год.

Інтенсивність зношування – відношення абсолютного зносу до шляху ковзання пар тертя (оцінюється в мк/м шляху ковзання).

Темп зношування – відношення абсолютного зносу деталі до одиниці роботи машини, на якій установлена деталь (оцінюється в мк/км пробігу, у мк/т·км виконаної роботи і т.д.).

Властивість матеріалу, з якого виготовлена деталь, чинити опір зношуванню, називають *зносостійкістю*. Порівняння зносостійкості різних матеріалів має сенс тільки при врахуванні умов, в яких відбувалося зношування.

Існують такі основні методи кількісного оцінювання зносу деталей автомобіля:

1. Мікрометраж деталей.
2. Зважування деталей.
3. Профілографування поверхні деталі.
4. Метод штучних баз, що включає метод вимірювання відбитків і метод вимірювання вирізаних лунок.
5. Визначення продуктів зносу в оливі (калориметричним, полярографічним способом або методом спектрального аналізу).
6. Метод радіоактивних ізотопів (мічених атомів).

Мікрометраж деталей широко застосовується при вивченні зносу деталей в лабораторних, дорожньо-лабораторних і експлуатаційних випробуваннях.

Знос деталі при цьому методі визначається різницею первісного розміру деталі і її розміру після встановленого пробігу автомобіля (або числа годин роботи). Кожна деталь обмірюється в декількох перерізах (поясах) зони зносу. Обмірювання ведеться в двох взаємно перпендикулярних площинах. За основну площину (позначену 1-1 або А-А) приймається площина симетрії деталі або площина максимального зносу. Дані обмірювання записуються в таблиці, називані картами мікрометражу.

Первісний розмір деталі може бути встановлений шляхом первинного мікрометражу деталі до початку випробувань, за кресленнями (з урахуванням середнього допуску на виготовлення) або вимірюванням деталі в місцях, що не зносилися. Первинний мікрометраж може виконуватись на заводі перед складанням автомобіля.

Розбирати автомобіль для первинного мікрометражу перед випробуваннями не рекомендується, тому що при цьому неминуче змінюються умови роботи деталей, що викликає їх підвищений знос. Після кінцевого мікрометражу зняті з автомобіля з'єднані деталі розмічають таким чином, щоб при складанні можна було встановити їх у первісному положенні.

Усі вимірювальні інструменти вибираються з необхідним класом точності; їх перевіряють, регулюють і тарують до і після обмірювання деталей. Для усунення помилок у визначенні зносу деталей вимірювання роблять з великою старанністю. Дійсний розмір деталі приймають як середнє значення декількох вимірювань, зроблених у даній площині. Деталі, що підлягають мікрометражеві, повинні бути ретельно промиті і насухо витерті. Мікрометраж виконується в приміщенні з температурою повітря 18-20 °С. Для вирівнювання температур перед початком вимірів деталі, що обміряються, та інструмент необхідно витримати в приміщенні 2-3 години.

Коли немає можливості підтримувати необхідну температуру повітря, при вимірюванні деталей треба вводити температурну поправку:

$$\Delta l = l(\alpha_1 - \alpha_2)(t - 20), \quad (3.1)$$

де l – номінальний розмір, мм;

α_1 – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу вимірюваної деталі;

α_2 – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу вимірювального інструменту;

t – температура при вимірюваннях, °С.

Бажано, щоб початковий і кінцевий мікрометраж деталей робила та сама людина тим самим інструментом. Метод мікрометражу дає можливість визначати місцевий знос деталі і виявити зону максимального зносу.

Недоліком мікрометражу є необхідність у розбиранні вузлів і механізмів машини, а також та обставина, що він не дає можливості установити динаміку зношування з'єднаних деталей. Необхідно також мати на увазі, що при цьому методі у величину зносу деталі включається і зміна її розміру внаслідок деформації.

Метод визначення зносу шляхом зважування деталей застосовується звичайно як допоміжний до мікрометражу в тих випадках, коли обмірювання деталей не завжди можливе або дуже трудомістке. Цей метод може також застосовуватися при лабораторному вивченні зношування деталей.

Метод зважування дає можливість визначити інтегральний знос деталей за період випробувань незалежно від характеру його розподілу на поверхні.

Для зважування деталей до початку і після випробувань звичайно застосовується аналітична вага. Перед зважуванням деталей ретельно очищають і висушують. До і після випробувань вагу перевіряють і тарують.

Сутність методу профілографування полягає в знятті профілограми поверхні до і після зносу.

Базою для визначення лінійного зносу служить спеціально нанесена подряпина, глибина якої повинна бути більше зносу поверхні за випробуваний період. Сполучаючи за допомогою подряпини профілограми поверхонь до і після зносу, визначають лінійний знос деталі δ .

До недоліків цього методу відносяться труднощі, пов'язані зі зняттям профілограми до і після випробувань з тої самої ділянки і зі сполученням їх у початкове положення через викришування і напливи металу, що утворюються на краях подряпини.

Метод вимірювання відбитків полягає в тому, що на випробуваній поверхні деталі роблять відбиток алмазною пірамідою. Геометрична форма піраміди прийнята така, що відношення діагоналі піраміди до її висоти дорівнює 7. За зменшенням розміру відбитка при зносі можна судити про зменшення його глибини, тобто про знос. Абсолютну величину зносу одержують як різницю в розмірі діагоналей до і після зносу, поділену на 7. Діагональ відбитка вимірюється окуляр-мікроскопом (рис. 3.2).

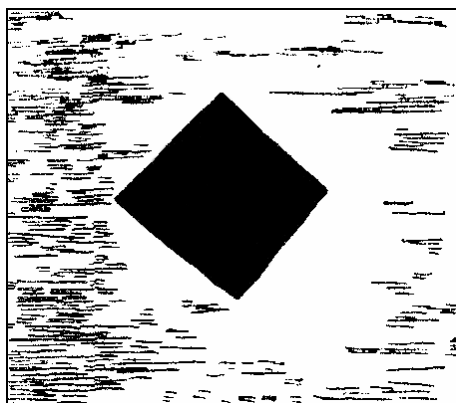


Рисунок 3.2 – Визначення зносу методом відбитків

Недоліком цього методу є те, що по краях відбитку утворюється місцеве випирання поверхні, а в матеріалах з високою границею текучості після видалення призми відбувається деяке спотворення форми відбитку.

Метод вирізаних лунок є удосконаленим методом відбитків. При цьому методі на поверхні досліджуваної деталі обертовим різцем, що має форму тригранної піраміди, вирізається довгаста лунка довжиною до 2 мм і глибиною 50-75 мкм. По мірі зношування поверхні зменшується довжина лунки та її глибина. Абсолютний знос поверхні визначають за формулою

$$\Delta h = 0,125 \cdot \left(\frac{l_1^2 - l_2^2}{r} \right) \text{ мм}, \quad (3.2)$$

де l_1 та l_2 – довжина лунки до і після зношування, мм;

r – радіус обертання вершини різця, мм.

Якщо лунка розташовується своєю довжиною уздовж кола циліндра, що має радіус R , то знос визначають за формулою

$$\Delta h = 0,125 \cdot (l_1^2 - l_2^2) \left(\frac{1}{r} \pm \frac{1}{R} \right). \quad (3.3)$$

Знак плюс у дужках береться, коли лунка вирізана на опуклій поверхні, знак мінус – коли лунка на увігнутій поверхні.

Усім перерахованим вище методам кількісного оцінювання зносу деталей автомобіля властиві ті ж недоліки, що і методів мікрометражу: необхідність розбирання автомобіля та агрегатів, а також неможливість простежити за динамікою зношування деталей.

Метод визначення продуктів зносу в оливі широко застосовується в Україні для вибору сортів автотракторних олив і розробки раціональних режимів обкатування машин, для визначення граничного зносу агрегатів.

Як відомо, при роботі двигуна або іншого агрегату продукти зношування деталей (головним чином залізо) знаходяться у зваженому стані в оливі. При збільшенні темпу зношування концентрація заліза в оливі зростає і навпаки. Знаючи кількість оливи, що циркулює в системі змащування, і вміст заліза в одиниці об'єму оливи, підраховують вагу зношеного металу деталей і будують «лінії» зносу, що дозволяють оцінювати «інтегральний» темп зношування агрегату.

Визначення вмісту заліза в оливі виконується ваговим, об'ємним, калориметричним або полярографічним способом.

Полярографічний спосіб має досить велику чутливість і дозволяє визначати концентрацію заліза в оливі з точністю до 0,00001 г металу на 1 г оливи. Для аналізу проб оливи цим способом потрібно менше часу, ніж при інших способах.

Останнім часом цей метод удосконалений, що дозволяє роздільно оцінювати знос деталей, виготовлених з чорних і кольорових металів.

Подальше удосконалювання цього методу привело до створення методу спектрального аналізу.

За допомогою спектрального аналізу визначають вміст продуктів зношування у відпрацьованій оливі.

Існують прямі і непрямі методи спектрального аналізу олив і відкладень. При прямих методах виконується безпосередній аналіз оливи або відкладень; при непрямих – виконується зоління проби оливи з наступним аналізом золи.

За способом реєстрації спектра розрізняють фотографічні і фотоелектричні методи аналізу. Методи спектрального аналізу мають високу чутливість і дозволяють визначати роздільно знос циліндрів, поршнів, вкладишів і інших деталей в залежності від їхнього хімічного складу.

Роздільне оцінювання інтенсивності зношування деталей дає можливість виявляти недоліки, що виникають у процесі роботи агрегату, або початок аварійного зношування. Наприклад, великий вміст алюмінію в продуктах зносу вказує на інтенсивне зношування алюмінієвих поршнів двигуна; присутність у продуктах зносу великої кількості елементів (свинцю, олова, сурми й ін.), що входять до складу вкладишів, свідчить про підвищене зношування підшипників.

Метод радіоактивних ізотопів (мічених атомів) оснований на здатності радіоактивних ізотопів у процесі радіоактивного розпаду випромінювати енергію у вигляді електрично заряджених частинок, і електромагнітних променів, що реєструються спеціальними лічильниками. Для цього в досліджувану деталь заздалегідь вводять радіоактивний ізотоп. Про величину зносу деталі судять за кількістю активованих продуктів зносу, що попали в оливу і були зареєстровані за допомогою лічильника. Лічильник встановлюють у потоці оливи або в безпосередній близькості від нього.

В залежності від задачі дослідження, введення радіоактивного ізотопу може здійснюватися такими способами:

а) нанесенням радіоактивного металу на поверхню тертя деталі електролітичним шляхом; б) введенням радіоактивного ізотопу в матеріал досліджуваної деталі при плавці та виливанні; в) активування деталі опроміненням; г) електроіскровою обробкою деталі активованим електродом; д) методом дифузії, е) методом вставок (свідків зносу).

Застосування методу вставок полягає в тому, що на деякій глибині від поверхні тертя деталі поміщають радіоактивну речовину. Коли знос деталі досягає заданої глибини, почнеться також знос і радіоактивної речовини, що буде виявлено в оливі за допомогою сигнальної апаратури.

Основними перевагами методу мічених атомів є висока чутливість оцінювання (досягає 10^{-8} г і більше), можливість безперервного спостереження за зношуванням деталей без зупинки і розбирання машини, а також можливість активування різних деталей різними ізотопами, що дозволяє одночасно вивчати знос декількох деталей роздільно. При користуванні радіоактивними ізотопами лабораторії обладнують спеціальною ізоляцією, а також дотримуються режиму роботи і заходів щодо техніки безпеки.

3.4 Закономірність зношування сполучених деталей

Дослідження зносу сполучених деталей при сухому терті (при відсутності змащення) показали, що швидкість зношування підкоряється такій залежності:

$$\frac{dl}{dS} = CP^m, \quad (3.4)$$

де dl – зміна лінійного розміру деталі, що зношується;

S – шлях тертя;

C і m – постійні, залежні від умов тертя ($m = 1 \div 2$);

P – питомий тиск між поверхнями тертя.

При напіврідинному терті на інтенсивність зношування пар тертя впливає гідродинамічний ефект змащення:

$$\frac{dl}{dS} = CP^m \left(1 - k \frac{v^\mu L}{h^2 P} \right), \quad (3.5)$$

де k – коефіцієнт, що характеризує умови утворення гідродинамічних тисків у шарі змащення;

v – швидкість переміщення поверхонь тертя;

L – лінійний розмір поверхонь;

μ – в'язкість оливи;

h – мінімальний зазор між поверхнями тертя;

$k \frac{v^\mu L}{h^2 P}$ – характеризує частку загального зусилля, що передається на пару тертя через шар змащення.

При величині виразу $k \frac{v^\mu L}{h^2 P}$, близькій до одиниці, знос поверхонь тертя практично відсутній, тому що тертя відбувається тільки в шарах змащення (рідинне тертя). Якщо величина цього виразу мала в порівнянні з одиницею, то знос пар протікає так само, як і при сухому терті

У реальних умовах експлуатації навіть ті деталі машин, що були запроектовані для роботи в умовах рідинного тертя, певний час працюють при сухому і граничному терті. Це пояснюється тим, що для підтримки гідродинамічного режиму тертя як стійкої фази потрібне дотримання певних умов (швидкості переміщення поверхонь тертя, в'язкості оливи, навантаження).

Таким чином, навіть однойменні деталі на різних машинах будуть зношуватися не однаково, тобто строки служби їх будуть піддаватися розсіюванню.

Незважаючи на те що процес зношування у часі (або за пробігом автомобіля) випадковий, він має ряд властивостей:

1. Процес зношування безперервний, тобто за малі проміжки часу величина зносу δ може одержати тільки малі збільшення.

2. Графік, що зображує функцію зносу $f(\delta)$ (криву зносу), являє собою криву, що монотонно зростає (рис. 3.3, а).

3. Для будь-якої деталі крива зносу має три характерних періоди: період припрацьовування l_1 , період нормального експлуатаційного зносу l_2 і період аварійного зносу l_3 .

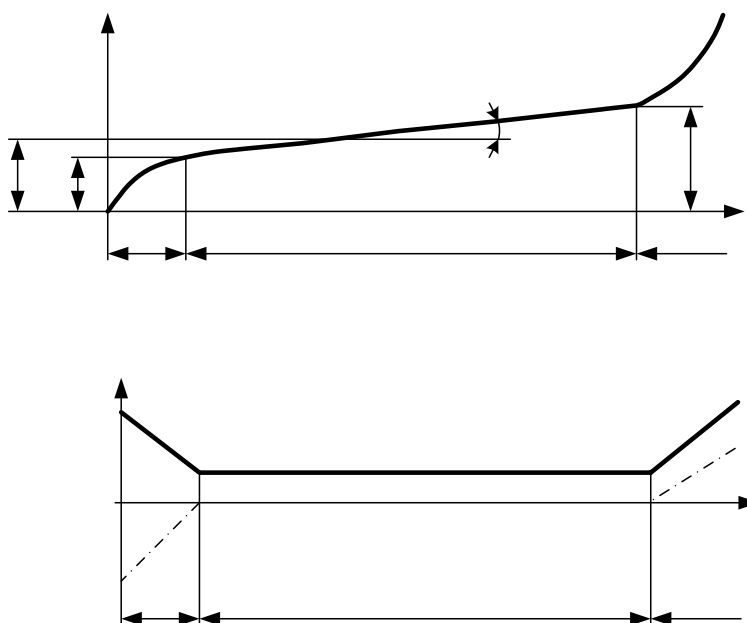


Рисунок 3.3 – Характеристика процесу зношування

В загальному вигляді формулу кривої зносу можна представити складеною, яка відбиває особливості кожної ділянки:

$$\delta = \begin{cases} c_1 l_1^n \\ \delta_n + c_2 l_2 \\ \delta_{\max} + c_3 l_3 \end{cases}, \quad (3.6)$$

де c_1 , c_2 , c_3 , m , n – коефіцієнти і показники, визначені експериментальним шляхом.

Темп зношування на кожній ділянці можна визначити як функцію

$$\frac{d\delta}{dl} = V_\delta = \begin{cases} nc_1 l_1^{n-1} \\ c_2 \\ mc_3 l_3^{m-1} \end{cases}, \quad (3.7)$$

Прискорення зношування $j_\delta = \frac{dV_\delta}{dl}$ для ділянок кривої зношування (рис. 3.3, б)

$$j_\delta = \begin{cases} n(n-1)c_1 l_1^{n-2} \\ m(m-1)c_3 l_3^{m-2} \end{cases}. \quad (3.8)$$

Чим менше j_δ , тим скоріше припрацьовується деталь. При $-j_\delta$ процес прямує до нормального стану (до припрацьованого) і при $+j_\delta$ – до форсованого зношування (аварійне зношування).

Інтенсивне зношування деталей на ділянці OA є результатом того, що мікропрофіль поверхонь, який утворився при виготовленні деталей, повинен перейти в оптимальний стан для даних умов роботи. Цей перехід

здійснюється в умовах, коли на поверхнях тертя деталей є сліди механічної обробки при недостатньому змащенні, наявності значної кількості продуктів зношування між поверхнями тертя і при підвищеному їх нагріванні.

Висока швидкість зношування на ділянці OA обумовлюється ще і тим, що в період припрацьовування поверхонь тертя усе навантаження сприймається їхніми виступами. Тому дійсний питомий тиск на виступах перевищує розрахунковий в сотні і тисячі разів (рис. 3.4). Ці виступи перешкоджають розвиткові несучої здатності шару оливи і можуть визвати розрив плівки оливи.

В міру припрацьовування пар тертя відбувається зниження інтенсивності зношування внаслідок збільшення опорних поверхонь (крива 1, рис. 3.4) за рахунок зношування і пластичного деформування поверхневих шарів, зміни мікрогеометрії поверхонь тертя деталей і питомого тиску (крива 2, рис. 3.4).

Великий вплив на швидкість протікання зношування в період припрацьовування чинить режим припрацьовування, якість змащення, застосування спеціальних покриттів деталей, що поліпшують процес припрацьовування, тобто фактори, що визначають культуру виробництва та експлуатації автомобілів.

Знос поверхонь на ділянці AB (рис. 3.3) називається нормальним експлуатаційним зносом деталей (природним). Він характеризується сталістю умов роботи тертя і постійною швидкістю зношування, характерною для роботи даного сполучення. Після точки B інтенсивність зношування поверхонь тертя різко збільшується за рахунок збільшення зазору між поверхнями тертя, динамічності прикладення навантаження, погіршення режиму змащення і металевого контакту поверхонь тертя. Робота сполучених деталей при розширенні зазору, більшому $\delta_{\max}$, супроводжується не тільки посиленням зношуванням поверхонь тертя, але і зниженням ККД механізмів, тепловиділенням, заїданням і поломками деталей. Тому зазор $\delta_{\max}$ називається гранично допустимим для даного сполучення.

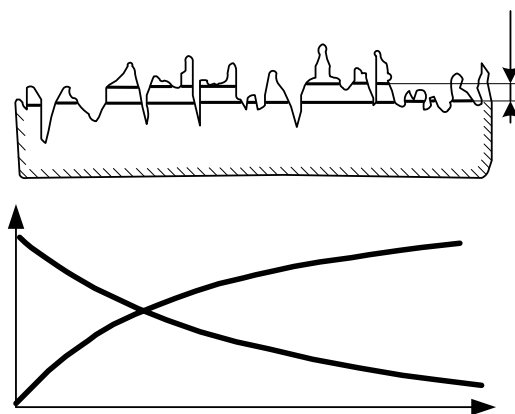


Рисунок 3.4 – Графік припрацьовування деталей:

1 – зміна поверхні контакту; 2 – зміна питомого тиску

Величина зазорів $\delta_{\max}$ для різних сполучень не однакова і визначається умовами роботи та службовими функціями сполучень.

З рис. 3.3 видно, що величина $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta_{\max} - \delta}{l_2}$ характеризує темп зношування деталі; звідси термін служби деталі

$$l = l_1 + \frac{\delta_{\max} - \delta}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (3.9)$$

де $\delta_{\max}$ – гранично допустимий зазор у сполученні;

δ – зазор у сполученні після його припрацювання;

$\operatorname{tg} \alpha$ – темп зношування;

l_1 – пробіг автомобіля за період припрацювання.

На підставі експериментальних даних по кожній деталі за допомогою методів теорії імовірностей можна визначити пробіг, при якому знос досягає величини $\delta_{\max}$ і, отже, з відомою вірогідністю прогнозувати настання відмови по даному сполученню.

Для підвищення довговічності автомобіля велике значення має збереження сталості оптимальних умов роботи деталей, при яких темп їхнього зношування буде мінімальним.

Якщо добре працююче сполучення розібрати, то після зборки інтенсивність зношування його деталей буде збільшена в порівнянні з первісною (рис. 3.5). Отже, термін служби сполучення після розбирання зменшується. Дослідження, проведені в НДІАТ, показали, що тільки одне розбирання і складання агрегату без якого-небудь ремонту знижує термін його служби на 25-30%. Підвищене зношування деталей в цьому випадку буде викликано зміною затягування кріплень, величини сталих зазорів, порушенням співвісності взаємозалежних частин, спотворенням форми деталей через монтажні напруги та ін. Тому розбирання автомобіля в процесі експлуатації повинно виконуватись тільки у випадку крайньої необхідності.

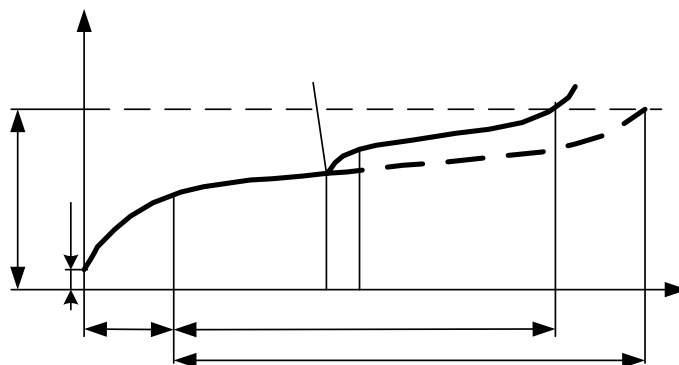


Рисунок 3.5 – Графік зношування деталей після розбирання сполучення: OAB – крива нормального зношування; $O'A'B'$ – зношування після розбирання.

Для визначення технічного стану деталей і механізмів без їхнього розбирання необхідно користуватися прийомами і методами технічної діагностики.

Таким чином, надійність і довговічність автомобіля в процесі експлуатації обумовлюється комплексним впливом цілого ряду факторів, найважливішими з яких є такі:

1. Конструктивно-технологічні, що включають у себе:
 - а) досконалість конструкції автомобіля і його елементів;
 - б) якість матеріалів, з яких виготовлені деталі, вузли й агрегати;
 - в) технологію виготовлення деталей, вузлів і агрегатів, якість складання та їх регулювання.
2. Якість застосовуваних експлуатаційних матеріалів (палива, мастильних матеріалів, охолоджувальних рідин та ін.).
3. Умови експлуатації, що визначаються:
 - а) дорожніми умовами;
 - б) кліматичними умовами;
 - в) транспортними умовами і режимом використання автомобіля.
4. Рівень технічної експлуатації, що визначається:
 - а) майстерністю водіння автомобіля;
 - б) якістю технічного обслуговування і збереження автомобіля;
 - в) якістю ремонту автомобіля.

4 ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

4.1 Конструктивні фактори

Розвиток автомобілебудування характеризується безперервним удосконалюванням якості автомобілів і, насамперед, підвищенням їхньої надійності і довговічності. При проектуванні автомобіля необхідно враховувати вимоги надійності, починаючи від вибору функціональної схеми і закінчуючи конструктивним оформленням кожного вузла і деталі. Конструкція автомобіля повинна бути відносно простою з мінімальною кількістю елементів. З погляду теорії надійності автомобіль представляє складну систему з послідовним з'єднанням елементів (виняток складають гальмова система і з'єднані паралельно мости в багатовісних автомобілях при роздільному їхньому приводі), у якій відмовлення будь-якого елемента є необхідною і достатньою умовою відмовлення автомобіля в цілому.

Якщо прийняти відмовлення кожного елемента (агрегату автомобіля) випадковою незалежною подією, то на підставі теореми множення імовірностей імовірність безвідмовної роботи автомобіля складе:

$$P_a(l) = P_o(l) \cdot P_z(l) \cdot P_{\kappa.n}(l) \cdot \dots \cdot P_i(l) = \prod_{i=1}^n P_i(l), \quad (4.1)$$

де $P_a(l)$ – імовірність безвідмовної роботи автомобіля;

$P_o(l)$ – імовірність безвідмовної роботи двигуна;

$P_z(l)$ – імовірність безвідмовної роботи зчеплення;

$P_{\kappa.n}(l)$ – імовірність безвідмовної роботи коробки передач;

$P_i(l)$ – імовірність безвідмовної роботи i -го послідовно з'єданого агрегату.

Якщо всі агрегати рівнонадійні:

$$P_o(l) = P_z(l) = P_{\kappa.n}(l) = P_i(l) = P,$$

тоді $P_a(l) = P^n$, де n – число агрегатів.

Аналогічно виразу (4.1) визначається імовірність безвідмовної роботи агрегату, системи, вузла (при послідовному з'єднанні деталей)

$$P_{az}(l) = P_1(l) \cdot P_2(l) \cdot P_3(l) \cdot \dots \cdot P_j(l) = \prod_{j=1}^m P_j(l), \quad (4.2)$$

де $P_1(l)$, $P_2(l)$, $P_3(l)$, – імовірність безвідмовної роботи деталей, що складають агрегат.

Імовірність безвідмовної роботи автомобіля, з урахуванням імовірності безвідмовної роботи деталей (беручи до уваги рівняння 4.1 і 4.2), визначають з виразу

$$P_a(l) = \prod_{i=1}^n \cdot \prod_{j=1}^m P_{ij}(l). \quad (4.3)$$

Аналіз виразу (4.1) показує, що чим складніша система (чим більше вона має агрегатів, вузлів, деталей), тим нижча її надійність за інших рівних умов. Отже, при проектуванні автомобіля велика увага повинна бути приділена виборів оптимальної структурної схеми.

У силу того, що у формулах (4.1) і (4.2) кожний зі співмножників менше одиниці, імовірність безвідмовної роботи автомобіля (агрегату) нижче надійності агрегату (деталі), що має найнижчу надійність. Для створення високонадійного автомобіля (агрегату) всі елементи його повинні мати високу надійність; застосовувати на одному автомобілі агрегати, що мають коливання надійності в значних межах, недоцільно.

Одним з ефективних методів підвищення надійності систем є резервування, для якого характерне паралельне з'єднання елементів. При паралельному з'єднанні відмова системи відбувається лише при відмові усіх вхідних до неї елементів. Імовірність безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням елементів визначається формулою

$$P_c(l) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_j(l)], \quad (4.4)$$

де m – число паралельно з'єднаних елементів.

У цьому випадку імовірність безвідмовної роботи системи вища імовірності безвідмовної роботи найненадійнішого елемента. Однак, резервування механічних систем застосовується обмежено.

При проектуванні автомобіля необхідно прагнути до того, щоб зношування сполучень не робило впливу (або робило незначний вплив) на надійність функціонування всього автомобіля (агрегату).

Необхідно широко реалізувати принципи рівної довговічності та рівнонадійності елементів автомобіля. При неможливості дотримання цієї умови необхідно прагнути до того, щоб були дотримані короткі терміни заміни при ремонті агрегатів, а в агрегаті – вузлів і основних деталей.

Підвищення надійності автомобіля може бути досягнуто застосуванням уніфікованих і стандартних вузлів і деталей, що добре відпрацьовані і показали високу надійність при типових умовах роботи.

Важливими конструктивними факторами, що впливають на надійність і довговічність автомобіля і його елементів, є:

1) *форма і розмір деталей*, від яких залежать питомі тиски на їхній поверхні, концентрація напруг, ударна й утомлювальна міцність металу;

2) *жорсткість конструкції*, тобто здатність деталей, особливо базових і основних, незначно деформуватися під впливом сприйманих ними експлуатаційних навантажень;

3) *точність взаємного розташування поверхонь і осей деталей*, які спільно працюють;

4) *правильний вибір посадок*, що забезпечують надійну роботу рухомих і нерухомих сполучень.

Автомобільний двигун є найбільш складним і важливим агрегатом, від стану якого залежать багато технічних та економічних показників

роботи автомобіля. Ресурс двигуна до капітального ремонту складає приблизно 60-70 % від ресурсу автомобіля, а витрати на підтримку його в працездатному стані – 20-22 % від усіх витрат.

В сучасних конструкціях автомобільних двигунів велика увага приділяється надійності роботи системи мащення. Це обумовлюється тим, що раптове припинення подачі змазки до тертьових поверхонь деталей може викликати такі поломки і зношування, для усунення яких будуть потрібні великі витрати часу і засобів.

Велика увага приділяється стабілізації температурного режиму, від якого залежить темп і характер зношування двигуна. З цією метою на усіх автомобільних двигунах застосовуються термостати в системі охолодження і регульовані жалюзі радіатора.

Для *підвищення терміну служби поршневої групи двигунів* застосовуються поршні з овальною юбкою, що допускають значне зменшення посадкових зазорів між поршнем і циліндром без небезпеки заклинювання поршня при перегріві двигуна; поршні покривають оловом, що поліпшує їх припрацьовування до циліндрів. З цією же метою застосовують поршневі кільця з корегованим розподілом тиску по колу. Широке застосування одержують поршневі кільця, покриті хромом, луджені кільця, конусні кільця зі змащувальною фаскою, кільця з розширниками (еспандерами), а також сталеві хромовані кільця.

Для *підвищення довговічності і надійності кривошипно-шатунного механізму* застосовують двошарові і тришарові тонкостінні прецизійні вкладиші колінчатого вала, які мають високу утомлювальну міцність і високу теплопровідність.

Полегшення пуску двигуна в умовах низьких температур і зниження пускових зношувань досягається шляхом застосування індивідуальних пускових підігрівників, стартерів підвищеної потужності, карбюраторів із змінним перерізом дифузора й ін.

Підвищення довговічності і надійності зчеплень досягається застосуванням високоякісних фрикційних матеріалів для накладок, ретельним балансуванням ведучих і ведених частин, установленням демпферів крутильних коливань ведених дисків і ін.

Надійність і довговічність коробок передач підвищується за рахунок збільшення жорсткості опор і валів, застосування спеціальної корекції зубів шестерень, шестерень з косими і спіральними зубами, примусового змащення підшипників, установлення синхронізаторів, що забезпечують безударне переключення передач.

Для зменшення забруднення мастил продуктами зносу пробки зливальних отворів картерів коробок передач забезпечуються магнітними уловлювачами.

Підвищення надійності карданних валів досягається правильним вибором типорозмірів голчастих підшипників, хрестовин, герметизацією підшипників, точним динамічним балансуванням валів і раціональним їхнім змащенням.

Для підвищення безпеки руху велика увага приділяється підвищенню *надійності гальм і рульового керування*. Ця робота йде по шляху вишукування нових фрикційних матеріалів гальмових накладок, підвищення терміну служби гальмових механізмів без регулювання, а також систематичного контролю гальмових якостей автомобіля в процесі експлуатації за допомогою спеціальних установок і приладів.

4.2 Технологічні фактори

Великий вплив на надійність автомобіля робить *стабільність кріпильних з'єднань* – здатність кріпильних деталей довгостроково зберігати попереднє затягування в умовах дії експлуатаційних навантажень. Вона досягається виготовленням деталей з високоякісних сталей, підвищенням точності обробки, застосуванням різних стопорних пристроїв (стопорні шайби, різні фіксатори і ін.).

На автомобільних заводах широко застосовуються шаблони і кондуктори для складання вузлів, механізмів і систем (обкатування і перевірка їх перед надходженням на складання), ключі з регламентованим затягуванням з'єднань й ін.

Важливе значення в справі підвищення надійності автомобілів має раціональна організація на автозаводах технічного контролю, що виключає можливість надходження на складання неякісних деталей. З цією метою застосовуються ультразвукова, магнітна і гамма-дефектоскопія деталей.

Для виробництва деталей автомобілів широко застосовуються спеціальні чавуни і сплави, леговані сталі, металокераміка, пластмаси й ін.

Зносостійкість деталей залежить від чистоти обробки тертьових поверхонь. Найменше зношування поверхонь тертя відбувається при їх оптимальній шорсткості для даних умов роботи. Зміна умов зношування викликає зміна оптимальної шорсткості поверхні.

Значний вплив на початкове зношування поверхонь деталей чинить їх здатність швидко припрацьовуватися. З цією метою застосовується електролітичне покриття поверхонь тертя деталей оловом, свинцем, міддю, залізом, а також їх фосфатування й оксидування.

На заводах автотракторобудування застосовуються поверхневе загартування шийок колінчатих валів нагріванням струмами високої частоти. Дослідження показали, що високочастотне загартування збільшує термін служби шатунних і корінних шийок у 3-5 разів. Високочастотному загартуванню піддаються також вісь блока шестерень проміжного вала, фланці кріплення карданного вала, вал сошки руля, пальці ресор, розподільні вали, зубчаті вінці маховика, валики масляного насоса, вали компресорів і ін.

У нових конструкціях двигунів сталеві колінчаті вали замінюються литими з магнієвого чавуна. Такі вали значно дешевші сталевих і більш прості у виробництві. Для напрямних втулок клапанів і інших деталей застосовуються металокерамічні сплави.

Обробка ресорних листів дробом підвищує термін служби ресор автомобілів. Крім листів ресор, такій обробці піддаються пружини клапанів, пружини незалежної підвіски переднього моста й інші деталі.

Підвищення жорсткості і зносостійкості цілого ряду деталей автомобіля досягається шляхом їхньої цементації, азотування і ціанування.

Значний розвиток одержують прогресивні методи заготовок і виготовлення деталей: лиття в оболонкові форми і за виплавлюваними моделями, лиття в постійні форми, точне кування і штампування деталей, холодне видавлювання деталей, накочування зубів шестерень і ін.

Таким чином, *вплив технологічних факторів визначається застосуванням прогресивних технологій виготовлення деталей та їх поверхневих обробок, якістю матеріалів виготовлюваних деталей та якістю складальних робіт.*

5 ВПЛИВ ЯКОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

5.1 Основні вимоги до експлуатаційних матеріалів

В процесі роботи і зберігання транспортної машини (автомобіля) її робочі деталі, механізми і агрегати знаходяться в постійній взаємодії з експлуатаційними матеріалами (змащувальними мастилами, паливом, охолоджувальною рідиною і ін.). Залежно від властивостей використовуваних матеріалів і умов їх застосування змінюється і характер цієї взаємодії: прискорюється або сповільнюється зношування і корозія деталей, змінюється витрата експлуатаційних матеріалів і продуктивність автомобіля.

Вживані експлуатаційні матеріали повинні відповідати конструктивним і технологічним особливостям транспортної машини, її технічному стану і умовам експлуатації.

Великий вплив на надійність і довговічність транспортної машини чинить якість змащувальних матеріалів, основне призначення яких – зменшити інтенсивність зношування деталей. Це досягається усуненням безпосереднього контакту поверхонь тертя і заміною тертя між поверхнями деталей тертям в шарі оливи.

Залежно від товщини шару оливи в найбільш вузькому місці зазору між поверхнями тертя, розрізняють три режими змащування або тертя: рідинний, граничний, сухий.

Науковою основою проектування системи змащування машин є гідродинамічна теорія змащування, розроблена проф. Н.П. Петровим (1883). Подальший розвиток гідродинамічної теорії змащування знайшов своє віддзеркалення в працях Н.Є. Жуковського, С.А. Чаплигіна, О. Рейнольдса, А. Зоммерфельда і Гюмбеля.

Згідно з гідродинамічною теорією змащування найменша товщина змащувального шару, яка розділяє поверхні тертя, при рідинному змащуванні визначається із співвідношення

$$h_{min} = A \cdot \frac{\eta \cdot v}{p}, \quad (5.1)$$

де A – величина, яка залежить від конструктивних розмірів деталей;

η – абсолютна в'язкість оливи;

v – відносна швидкість переміщення поверхонь тертя;

p – питомий тиск на поверхні тертя.

Для надійного і стійкого рідинного тертя необхідно, щоб мінімальна товщина шару оливи між поверхнями тертя була мінімум в 1,5 раза більше суми висот виступів на поверхні шийки вала і підшипника, тобто

$$h_{min} \geq 1,5 \cdot (\delta_1 + \delta_2), \quad (5.2)$$

де δ_1 і δ_2 – максимальна висота виступів на поверхнях шийки вала і підшипника.

Товщина шару оливи та її несуча здатність визначаються величиною гідродинамічного тиску в масляному клиновому зазорі, який пропорційний в'язкості оливи і відносній швидкості переміщення поверхонь тертя та обернено пропорційний навантаженню на ці поверхні. Тому безрозмірну величину $\eta \cdot \nu / p$ називають характеристикою режиму підшипника.

На рис. 5.1 показаний експериментальний графік роботи підшипника ковзання, який встановлює залежність коефіцієнта тертя f і товщини масляної плівки h від співвідношення $\eta \cdot \nu / p$, з якого видно, що мінімальному значенню коефіцієнта тертя f (точка A) відповідає мінімальне значення товщини плівки $h_{\min}$. Товщина масляної плівки залежить тільки від величини множників, які входять у вираз $\eta \cdot \nu / p$.

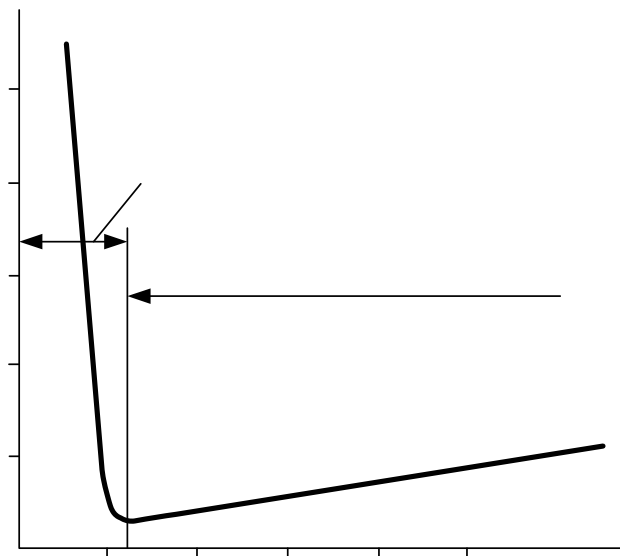


Рисунок 5.1 – Графік роботи підшипника ковзання

Отже, правильно сконструйований підшипник буде працювати в умовах стійкого рідинного тертя, якщо буде дотримана певна величина співвідношення $\eta \cdot \nu / p$. При цьому поверхні тертя практично не зношуються. Вплив збурюючих чинників на роботу підшипника буде виправлятися автоматично (в певних межах).

Це положення справедливе тільки за умови безперервного підведення оливи до підшипника в достатній кількості. Розрив масляної плівки на поверхнях тертя, і перехід рідинного тертя у фазу граничного може відбутися внаслідок різкого збільшення навантаження p , значного падіння числа обертів, при якому зменшується відносна швидкість ν , зменшення в'язкості оливи η в результаті її надмірного перегріву, розрідження паливом, або від будь-якого поєднання цих параметрів, при якому величина співвідношення $\eta \cdot \nu / p$ стає менше критичної.

Особливо небезпечний режим перевантажень, при яких одночасно із зменшенням швидкості відносного переміщення пар тертя сильно зростає навантаження на поверхні тертя і температура оливи.

Граничне, або напіврідинне, тертя буде в тому разі, якщо товщина масляної плівки недостатня для попередження безпосереднього зіткнення нерівностей поверхонь тертя, які виступають. Тому при граничному терті неминуче відбувається зношування поверхонь тертя.

При граничному терті тонкий шар змащувального матеріалу, що знаходиться біля стінки, має особливий фазовий стан, викликаний молекулярно-силовою взаємодією плівки з поверхнями тертя. Введення в звичайний змащувальний матеріал присадок, що мають активні (полярні) групи, різко поліпшує змащувальну ефективність при граничному терті і зменшує знос поверхонь. Основні закономірності граничного і адсорбційного змащування викладені в працях В.Б. Дерягіна, Ф.П. Боудена, Д. Тейбора і ін.

Сухе тертя відбувається при безпосередньому контакті поверхонь тертя і відсутності між ними будь-якого мастила. Але оскільки поверхні деталей тертя мають окисні плівки, то фактично процес тертя відбувається між цими плівками.

Перехід рідинного або граничного тертя у фазу сухого викликає аварійне зношування поверхонь деталей, що протікає з великою швидкістю.

5.2 Моторні оливи

Основними фізико-хімічними константами оливи, що впливають на знос двигуна, є: а) в'язкість; б) протизносні властивості; в) корозійна агресивність; г) хімічна стабільність; д) відсутність механічних домішок і води.

В'язкість олив залежить від їх хімічного складу і чистоти. Для поліпшення в'язкісних властивостей олив використовують різні присадки (поліізобутилені, полімери акрилової кислоти і ін.). В'язкість олив не залишається постійною і залежить від температури і тиску. Основною експлуатаційною характеристикою оливи є залежність її в'язкості від температури, тобто *в'язкісно-температурна характеристика*.

Для вираження цієї залежності користуються температурним градієнтом в'язкості ν_{50} / ν_{100} або так званим температурним коефіцієнтом в'язкості (ТКВ) чи індексом в'язкості

$$TKB = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}}, \quad (5.3)$$

де ν_0 , ν_{50} , ν_{100} – кінематичні в'язкості олив при температурах 0, 50 і 100 °С.

Чим менше величина градієнта в'язкості, тим кращі температурно-в'язкісні властивості оливи. Невелика зміна в'язкості оливи від зміни

температури є корисною її властивістю, оскільки вона дозволяє вирівнювати температурний режим пар тертя, і усувати їх місцеві перегріву.

В'язкість масел залежить також і від тиску. Проте це явище має місце при тискові вище 2 МПа, що рідко спостерігається в сучасних машинах.

Застосування малов'язких олив для двигунів має ряд переваг в порівнянні з оливами, що мають високу в'язкість. Малов'язка олива, маючи добру теплопровідність і здатність швидко проникати у вузькі зазори, забезпечує рівномірне охолодження поверхонь деталей тертя і усуває гарячі зони, а також, виносить продукти зносу із зазору. Внаслідок хорошої прокачуваності цих олив полегшується пуск холодного двигуна, знижується пусковий знос і зменшуються втрати потужності на тертя. Разом з тим застосування малов'язких олив має і істотні недоліки: збільшуються втрати оливи на чад, знижується тиск оливи в головній магістралі, збільшується схильність поршневих кілець до пригорання. Негативний вплив цих чинників особливо помітний в зношених двигунах. Тому для них краще застосовувати оливи з підвищеною в'язкістю.

Протизносні властивості мають великий вплив на швидкість зношування поверхонь деталей тертя. Протизносні властивості олив визначаються здатністю створювати на змащених поверхнях достатньо міцні плівки, що перешкоджають безпосередньому контакту поверхонь тертя. Ці плівки можуть утворюватися в результаті фізичних процесів – адсорбції на поверхні полярно-активних молекул або хімічної взаємодії металу з оливою. У ряді випадків ці явища супроводять один одного.

Для підвищення *протизносних властивостей* в оливу після очищення вводяться присадки, що містять поверхнево-активні речовини (асфальто-смолянисті речовини, високомолекулярні кислоти і з'єднання, що містять сірку).

Корозійна агресивність олив визначається вмістом в них водорозчинних кислот і луг, а також нерозчинних у воді органічних кислот.

Найбільшу корозійну небезпеку для двигуна являють кислоти, що утворюються в оливі в процесі роботи (низькомолекулярні карболові кислоти, а також сірчисті сполуки). Тому важливим показником якості оливи є її потенційна корозійність, яку визначають на спеціальних приладах.

Під хімічною стабільністю (стійкістю) змащувального матеріалу розуміють його здатність тривалий час зберігати свої фізико-хімічні властивості при дії окислювальних чинників. При тривалій роботі двигуна на поверхнях камери згоряння, поршнів і інших деталей утворюються нагар і лакове відкладення, а в картері двигуна, на поверхнях масляних фільтрів і маслопроводів – різні осадки (шлам). Нагар і лакові відкладення утворюються внаслідок окислення оливи при зіткненні її частинок з нагрітими до високої температури деталями двигуна і киснем повітря, яке міститься в повітряному просторі картера двигуна. Відкладення нагару в

камерах згоряння викликає перебої в запаленні (відбувається шунтування свічок запалювання), перегрів двигуна, інтенсивне зношування його і роботу з детонацією.

Експериментами встановлено, що гранична товщина нагару на днищі поршня обумовлюється тільки тепловим режимом роботи двигуна і не залежить від якості і витрати оливи. З підвищенням температури двигуна товщина шару нагару зменшується. Якість оливи і її витрата чинять вплив на швидкість нагароутворення тільки в початковий період роботи двигуна. Чим більша витрата оливи і чим менша її стабільність, тим швидше протікає процес утворення нагару. По досягненні певної товщини зростання його припиняється. Швидкість утворення нагару під час фази зростання залежить також від температури двигуна, якості палива і складу горючої суміші. Процес утворення нагару протікає більш інтенсивно при зниженій температурі двигуна і роботі на збагачених сумішах. Вміст в паливі домішок сірки і тетраетилсвинцю прискорює цей процес.

Лакові відкладення звичайно утворюються при окисленні тонких шарів оливи на поршнях і поршневих кільцях. В результаті цього поршневі кільця заклинюються в канавах поршня, втрачають свою рухливість і можуть пригорати. При цьому відбувається падіння компресії і потужності двигуна, збільшення витрати палива і мастила, а також прорив відпрацьованих газів в картер двигуна та збільшення інтенсивності старіння оливи. До складу лаку входять карбони і карбіди, нейтральні смоли, асфальтени і оксикислоти. Процес перетворення масляного шару в лакове відкладення залежить від якості оливи, товщини масляного шару, температури двигуна, тривалості його роботи і каталітичної дії металу. Дизельні двигуни, що мають велику схильність до лакоутворення (в порівнянні з карбюраторними), працюють при більш високому тепловому режимі. Властивості олив до шлакоутворення оцінюються термоокислювальною стабільністю і диспергуючими (миючими) властивостями. Для поліпшення диспергуючих властивостей картерних олив до них додаються багатофункціональні присадки, що мають миючі властивості в кількості 3-5%. Більшість багатофункціональних присадок мають чорний колір, тому і оливи з присадками набувають темного кольору.

Основні заходи попередження утворення нагару і лакових відкладень такі:

- підтримка оптимального теплового режиму двигуна;
- ретельне очищення палива і мастил від механічних домішок;
- підтримка в належному технічному стані деталей поршневої групи;
- застосування палива і мастил, відповідних типу двигуна і умовам його роботи;
- періодичне очищення системи охолодження двигуна від накипу і камер згоряння від нагару.

Окрім продуктів окислення оливи, шкідливу дію на роботу двигуна здійснюють осади (шлам), які утворюються при низькій температурі.

Утворення осадів в системі змащування частіше всього відбувається в карбюраторних двигунах. При цьому фільтри грубої і тонкої очистки оливи забиваються мазеподібними, липкими відкладеннями. Потім осадки забивають сітку маслоприймача насоса, маслопроводи і масляні канали. Якщо своєчасно не видаляти утворені осадки, то може відбутися припинення подачі оливи і виплавлення підшипників.

Осади є емульсією (вода в маслі), стабілізованою складними сполуками заліза, свинцю, кремнію. Основною причиною утворення осадків є попадання води в оливу. При низькій температурі стін циліндрів волога, що міститься в повітрі, і водяні пари, що утворюються при згорянні бензину конденсуються і стікають в картер.

Інтенсивність утворення осадків збільшується також при зменшенні коефіцієнта надлишку повітря (збільшується вміст водяних парів в продуктах згорання) і збільшенні вмісту механічних домішок в оливі (частинок вуглецю, пилу, тетраетилсвинцю і продуктів старіння оливи).

Для запобігання утворення осадків в двигуні при його експлуатації необхідно підтримувати оптимальну температуру рідини в системі охолодження і оливи в картері двигуна, а також забезпечувати ефективну вентиляцію картера; застосовувати оливи, відповідні типу двигуна і умовам його експлуатації; своєчасно міняти оливу в картері двигуна, ретельно промиваючи систему мащення і фільтри тонкого очищення оливи, а також дотримуватися належного догляду за фільтрами грубого очищення оливи (регулярне очищення їх, злив осаду з відстійників); оберігати оливи від попадання в них води.

Механічні домішки: наявність твердих механічних частинок в оливі викликає розрив масляної плівки і порушує рідинний режим тертя. В результаті цього деталі, що змащуються, піддаються інтенсивному абразивному зношуванню. Крупні тверді частинки попадають в м'який підшипниковий матеріал і дряпають шийки колінчастого вала, викликаючи утворення на них кільцевих канав. Тому при експлуатації машин необхідно вживати застережні заходи від попадання механічних домішок і води в оливу.

Оливи для дизельних двигунів, як правило мають більшу в'язкість порівняно з оливами для карбюраторних двигунів. Дизельні оливи також мають підвищену протиокисну стійкість, кращі миючі і антикорозійні властивості. Ці властивості забезпечуються введенням спеціальних присадок.

5.3 Трансмійні оливи та консистентні мастила

Механізми силової передачі автомобілів працюють в умовах великих навантажень і високих швидкостей. Основним режимом тертя для робочих поверхонь деталей силової передачі є граничне тертя.

Для захисту зубів шестерень і деталей підшипників від зносу і задирок при високому контактному тиску *трансмійні мастила* повинні

утворювати на їх поверхні міцну плівку. Протизносні властивості трансмісійних мастил залежать від якості вихідного матеріалу, з якого вони виготовлені, і технології їх виробництва. Разом з тим трансмісійні мастила повинні бути рухомими при низьких температурах, тобто мати невисоку в'язкість і низьку температуру застигання. Поліпшення змащувальних властивостей трансмісійних мастил досягається введенням в них сірчаних, свинцевих, хлорованих, фосфорних і інших присадок.

Велику небезпеку для трансмісійних мастил являють різні механічні домішки (пісок, окалина, іржа і ін.). Частини цих матеріалів, потрапляючи в підшипники агрегатів трансмісії викликають передчасний знос їх та навіть руйнування.

Для запобігання корозійно-механічному зносу деталей силової передачі трансмісійні мастила не повинні містити водорозчинних кислот і лугів.

Для гідромеханічних трансмісій, враховуючи важкі умови роботи мастил (висока температура, перемішування з великою швидкістю при високих навантаженнях), випускаються спеціальні мастила, що мають високу густину, хімічну стабільність і стійкість проти вспінення.

Консистентні мастила повинні задовольняти такі експлуатаційні вимоги: надійне надходження у вузли тертя, захист поверхонь тертя від зносу, відсутність корозійної дії, стабільність при роботі у вузлах тертя і зберіганні.

Експлуатаційні якості консистентних мастил в значній мірі залежать від реологічних властивостей (зміна форми мастил під дією механічних деформацій). Тому в консистентних мастилах необхідно визначати їх структурну в'язкість, яка залежить від градієнта швидкості, і ефективну в'язкість, залежну від напряду і швидкості зсуву шарів мастила.

Надходження консистентних мастил у вузли тертя автомобіля залежить від ефективної в'язкості цих мастил (рис. 5.2). При підвищенні ефективної в'язкості прокачуваність консистентних мастил погіршується. Для задовільного змащування підшипників маточин передніх коліс автомобілів ГАЗ-3307 і ЗІЛ-431410 ефективна в'язкість повинна бути

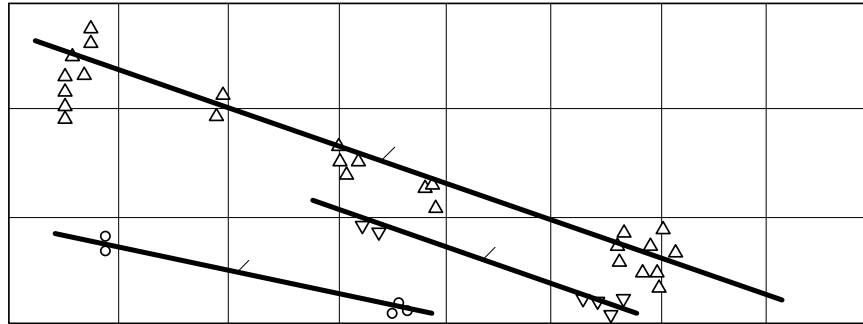
$$\eta_{50}^{400} \text{сек}^{-1} \leq 50 \div 60n$$

чи, відповідно,

$$\eta_{50}^{100} \text{сек}^{-1} \leq 20 \div 25n$$

де n – ефективна в'язкість мастила в пузах (с/см^2)

Основним показником, що характеризує надійність змащення вузлів тертя консистентними мастилами, є їх температура каплевипадання (температура плавлення). Якщо температура каплевипадання мастила нижча температури, при якій працює підшипник, то мастило витікає із зазорів і деталі інтенсивно зношуються. Звичайно температура каплевипадання повинна перевищувати температуру деталей тертя на 10-15°C.



$G, \text{г/хв}$

Рисунок 5.2 – Графік зміни інтенсивності надходження консистентних мастил у вузли тертя залежно від їх ефективної в'язкості:
 1 – мало зношений шворінь поворотної цапфи; 2 – сильно зношений ресорний палець; 3 – сильно зношений шворінь поворотної цапфи із зазором між шворнем і втулкою 0,35 мм

Надійність змащування вузлів тертя залежить також від хімічної стабільності консистентних мастил – здатності чинити опір окисленню і зміні своїх фізико-хімічних властивостей при роботі в вузлах тертя. Щоб уникнути розвитку корозійно-механічного зношування деталей консистентні мастила не повинні містити вільного луку і води, а для попередження абразивного зношування – механічних домішок. В захисних консистентних мастилах, вживаних для покриття деталей при зберіганні, не повинно бути корозійних компонентів і вологи. Ці мастила повинні створювати на поверхнях деталей щільну повітронепрохідну плівку.

5.4 Паливо для карбюраторних і дизельних двигунів

Основними фізико-хімічними константами бензину, що впливають на знос двигуна, є його фракційний склад і особливо температура кінця кипіння, антидетонаційна стійкість (визначувана октановим числом), вміст сірки, сірчистих сполук, водорозчинних і органічних кислот і лугів.

Підвищений знос двигуна при застосуванні бензину з високою температурою кінця кипіння є наслідком змивання масляної плівки з дзеркала циліндрів і розрідження картерної оливи частиною палива, що не випарувалася (рис. 5.3).

При підвищенні температури кінця кипіння бензину підвищується також витрата палива. Це пояснюється тим, що не випарені частинки палива, які є в суміші до початку її запалювання, згорають на лінії розширення при значних втратах тепла в охолоджувальну рідину.

Вплив октанового числа бензину на знос двигуна обумовлюється тим, що при роботі його з детонацією виникають високі динамічні навантаження в деталях кривошипно-шатунного механізму, підвищується

температура деталей, вигоряє олива в зазорах і ін. Відомо, що детонація викликає підвищений знос циліндрів двигуна у всіх поясах, особливо у верхньому.

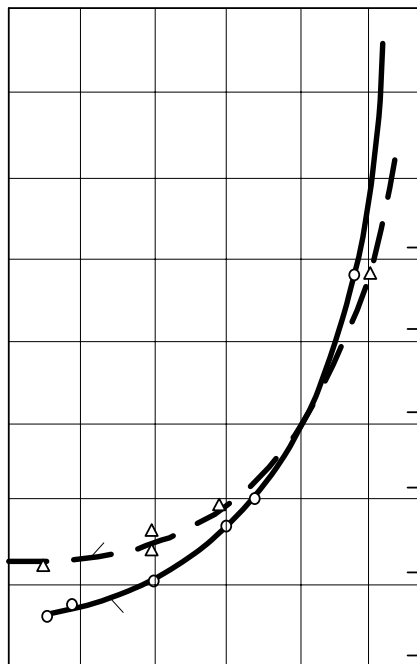


Рисунок 5.3 – Графік залежності загального зносу двигуна і витрати бензину від температури кінця кипіння бензину:

1 – витрата бензину; 2 – загальний знос двигуна

Окрім октанового числа палива і конструктивних особливостей двигуна, на розвиток і протікання детонаційного згорання впливають температура і склад суміші, тепловий і навантажувальний режими двигуна, наявність нагару в камерах згорання, кут випередження запалення, швидкість обертання колінчастого валу і інші чинники.

Великий вплив на знос двигуна має вміст сірки в бензині. Так, якщо при вмісті сірки в бензині 0,003% знос двигуна прийняти за 1, то при збільшенні вмісту сірки до 0,1% знос збільшується в 2,7 раза, а при вмісті сірки 0,2% – в 3,9.

Підвищений вміст сірки в бензині не тільки прискорює знос циліндрів, поршневих кілець і клапанів, шийок колінчастого вала, підшипників і інших деталей, але і збільшує нагароутворення в камерах згорання. При цьому інтенсивно протікає процес старіння картерної оливи (внаслідок утворення залізного мила, діючого як каталізатор), збільшуються діаметри жиклерів і, отже, підвищується витрата палива двигуном.

Деяке зменшення шкідливого впливу сірки на знос може бути досягнуто підвищенням теплового режиму двигуна.

При підвищеному вмісті в бензині смолянистих речовин і речовин, які легко осмолюються, збільшується кількість смолянистих відкладень у впускному трубопроводі двигуна, а також стимулюється процес утворення нагару. Тому бензин перевіряється на вміст так званих фактичних смол.

Залежно від хімічної і фізичної стабільності бензину (здібності осмолюватися і окислюватися, тривалий час зберігати легкі фракції) визначаються терміни і методи його зберігання в автогосподарствах.

Основні параметри *дизельного палива*, що впливають на знос двигуна: в'язкість, фракційний склад, вміст сірки, смол і механічних домішок.

В'язкість палива робить істотний вплив на процеси сумішоутворення і згоряння в двигуні, а також на знос прецизійних деталей паливного насоса і форсунок.

При використуванні палива з малою в'язкістю збільшується кут конуса струменя і зменшується глибина проникнення палива в камеру згоряння. Тому повітря, що міститься в камері згоряння використовується неефективно, збільшується знос прецизійних пар і витік палива в зазорах між прецизійними деталями паливного насоса і форсунок.

При використуванні палива з високою в'язкістю зменшується кут конуса струменя і збільшується її далекобійність; частина палива при цьому потрапляє на стіни камери згоряння, що сприяє утворенню нагару і лакових відкладень. Погіршення процесу сумішоутворення викликає підвищену витрату палива і димний вихлоп.

Великий вплив на знос двигуна має *наявність сірки* в дизельному паливі, особливо при роботі його з низькою температурою рідини в системі охолодження.

Експериментально встановлено, що при зниженні температури охолоджувальної рідини з 70°C до 35°C знос двигуна на сірчистому паливі збільшується в чотири рази. Тому дотримання оптимального температурного режиму двигуна є ефективним засобом зменшення корозійно-механічного зношування. При роботі двигунів на сірчистому паливі збільшується відкладення нагару лаків, інтенсифікується процес старіння картерної оливи і ін.

Зменшення шкідливої дії сірки в дизельному паливі досягається шляхом добавлення до нього спеціальних лужних присадок, а також застосуванням корозійностійких металів.

Основним параметром, що характеризує якість процесу згоряння дизельного палива, є *цетанове число*. В залежності від цетанового числа змінюється величина максимального тиску p і тиск за кутом повороту кривошипа $dp/d\alpha$.

Якщо дизельне паливо має невелике цетанове число, то двигун працює із стуком і з високим механічним навантаженням в деталях поршневої групи. При підвищенні цетанового числа знижується жорсткість роботи двигуна, зменшується навантаження на деталі поршневої групи і збільшується надійність і довговічність двигуна.

Наявність *механічних домішок* в дизельному паливі викликає серйозні неполадки в роботі двигуна: забивання паливних фільтрів і перебої в подачі палива, інтенсивне зношування прецизійних деталей паливної апаратури.

5.5 Вода і охолоджувальні рідини

Нормальний тепловий режим роботи двигуна забезпечує система охолодження. Як охолодний агент застосовують рідини або гази (двигун з повітряним охолодженням). Системи повітряного охолодження не потребують особливих заходів профілактики, за винятком тримання в чистоті зовнішніх поверхонь.

Як охолодний агент широко застосовують воду. Порівняно з іншими рідинами вона має деякі переваги – високі теплоємність і коефіцієнт теплопередачі. Це зумовлює мінімальну кількість охолодної рідини і компактність системи охолодження.

Для оцінювання якості води застосовують такі показники: прозорість, жорсткість, загальна мінералізація, лужність, кислотність і окислюваність.

Основним показником, що оцінює придатність води для використання її в системі охолодження автомобільних двигунів є жорсткість.

Застосування жорсткої води в системі охолодження викликає інтенсивне утворення накипу на внутрішніх стінах водяної сорочки, циліндрів і головки блока, а також в трубках і патрубках радіатора.

Жорсткістю води називається вміст в ній розчинених солей кальцію і магнію, виражений в міліграм-еквівалентах на літр. Розрізняють тимчасову жорсткість води, яка обумовлюється вмістом в ній переважно солей бікарбонату кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і бікарбонату магнію $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, постійну жорсткість, яка характеризується присутністю в ній сірчаноокислого кальцію CaSO_4 сірчаноокислого магнію MgSO_4 і інших солей, і загальною жорсткістю, що представляє собою суму тимчасової і постійної жорсткості.

Один міліграм-еквівалент відповідає вмісту 20,04 мг/л іонів Ca^{2+} або 12,16 мг/л іонів Mg^{2+} .

Умовно прийнята така градація води за жорсткістю: дуже м'яка – до 1,5 мг-екв/л; м'яка – від 1,5 до 3 мг-екв/л; середньої жорсткості – від 3 до 4,5 мг-екв/л; досить жорстка від 4,5 до 6,5 мг-екв/л; жорстка – від 6,5 до 11 мг-екв/л; дуже жорстка – вище 11 мг-екв/л. При нормальній температурі води солі жорсткості знаходяться в ній в розчиненому стані. При підвищенні температури води розчинність CO_2 у воді зменшується, що призводить до розкладання бікарбонатних сполук.

Термічне розкладання бікарбонату кальцію і магнію відбувається за такими реакціями:



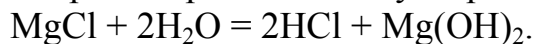
та



Потім вуглекислий магній легко піддається гідролізу з виділенням важкорозчинного гідрату окислу магнію



За наявності у воді хлористого магнію відбувається процес корозійного зношування радіатора внаслідок утворення соляної кислоти



Частина солей, що випали в осадок міцно пристає до стін водяної сорочки блока, головки блока, трубок і патрубків радіатора, а інша частина утворює осадок у вигляді мулоподібної каламуті – шламу. Шлам можна видалити з системи охолодження промивкою її чистою водою. В чистій воді накип не розчиняється і настільки міцно пристає до внутрішніх стін деталей системи охолодження що для видалення його необхідно застосовувати спеціальні засоби. Накип, що утворився на стінах деталей системи охолодження, має надзвичайно низьку теплопровідність, перешкоджає відведенню тепла від нагрітих стін в охолоджувальну воду і погіршує теплообмін радіатора, викликаючи перегрів двигуна.

В результаті нерівномірного відкладення накипу на окремих ділянках водяної сорочки циліндрів і головки блока ці деталі нагріваються нерівномірно, що є причиною виникнення в них термічних напруг і тріщин.

Автотранспортні підприємства проводять зм'якшування жорсткої води і періодичне очищення системи охолодження від накипу.

Щоб захистити систему охолодження від заморожування, забезпечити надійну експлуатацію і можливість тривалої стоянки автомобіля при низьких температурах, застосовують спеціальні низькозамерзаючі охолодні рідини (антифризи) типу «Тосол-А» (концентрат), «Тосол А-40», «Тосол А-65». Вони являють собою суміш основи (етиленгліколь) із включенням антикорозійних і антиспінювальних присадок. Співвідношення в рідині основи і води визначає температуру її застигання, яка входить у позначення антифризу. Основа антифризу має вищу температуру кипіння, ніж вода. У зв'язку з цим в процесі нормальної експлуатації із системи охолодження, заправленої антифризом, відбувається природна втрата води внаслідок випаровування. Найбільш поширений «Тосол А-40», який складається з 44 % води і 56 % етиленгліколю, замерзає при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, має голубий колір. Етиленгліколеві рідини отруйні. Тому треба додержувати заходів обережності при поводженні з ними. Коли вони потрапляють на шкіру, місця ураження треба старанно промити теплою водою с милом.

Один раз заправлена охолодна рідина, як правило, міститься в системі охолодження без заміни протягом усього сезону експлуатації. При зниженні її рівня внаслідок випаровування в етиленгліколеву рідину доливають дистильовану або дуже м'яку воду.

6 ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

6.1 Дорожні умови

Дорожні умови роботи автомобіля характеризуються типом і станом дорожнього покриття, величиною і тривалістю дорожніх ухилів, інтенсивністю прямого і зустрічного руху і ступенем запиленості повітря. Залежно від дорожніх умов в широких межах змінюються число обертів колінчастого вала, а також ступінь використання потужності і крутного моменту двигуна. Дорожні умови впливають також на навантажувальні режими агрегатів силової передачі, ходової частини і пружних елементів підвіски автомобіля.

Експериментальні дослідження показали, що на ґрунтових дорогах, які знаходяться у хорошому стані, середні технічні швидкості автомобіля менші в 1,3-1,4 раза, ніж на дорогах з вдосконаленим покриттям, а на дорогах з твердим зношеним покриттям середні технічні швидкості зменшуються більше ніж в 2 рази. При русі автомобіля по поганих дорогах збільшуються амплітуди швидкостей і число обертів колінчастого вала (по відношенню до середнього значення). Рух має імпульсний характер. Величина середньої технічної швидкості в умовах руху по поганих дорогах обмежується не динамічними якостями автомобіля, а поштовхами і коливаннями, які передаються через ресори кузова, і стійкістю автомобіля. Дослідження Н.Я. Говорущенко показали, що основний вплив на відносні переміщення кузова і коліс автомобіля має висота нерівностей. Зміна форми нерівностей надає менший вплив.

При погіршенні дорожніх умов збільшуються число обертів колінчастого вала на одиницю шляху, витрата палива і число включень зчеплення, гальм і передач. Аналогічно на роботу двигуна впливає і збільшення ваги причіпного навантаження.

При збільшенні середнього ефективного тиску інтенсивність зношування двигуна зростає унаслідок погіршення умов мащення поверхонь тертя і збільшення роботи сил тертя. Таке інтенсивне зношування двигунів обумовлюється різким зниженням несучої здатності масляної плівки між поршнем і стіною циліндра в результаті зменшення швидкості руху поршня.

При різкій зміні числа оборотів колінчастого вала карбюраторного двигуна також порушується процес сумішоутворення і інтенсивно утворюється рідка паливна плівка на внутрішніх стінах системи всмоктування. Якщо при сталому режимі кількість паливної плівки не перевищує 1-2% від загальної кількості палива, що подається, то при певних режимах кількість її може досягати 15-20%. При переміщенні цієї плівки від карбюратора до циліндрів (швидкість 0,2-1,0 м/с) частина її випаровується, а частина, що не випарувалася, поступає в циліндри, змиває оливу з їх дзеркала і розріджує її в картері двигуна. Це призводить до підвищеного зносу циліндрів, поршневих кілець і інших деталей.

Розпилювання рідкої плівки можна здійснювати спеціальним плівкорозпилювачем, встановлюваним у всмоктувальну систему.

При несталих режимах роботи двигуна інтенсивність його зношування збільшується також внаслідок ударного прикладення навантажень, нестабільного теплового режиму і режиму мащення поверхонь, що труться. Дорожні дослідження автомобілів при водінні їх способом розгін – накат показали, що інтенсивність зношування двигунів в цьому випадку збільшується на 30%, ніж при водінні із сталою швидкістю.

При використовуванні автомобілів на сухих ґрунтових або на твердих дорогах зі швидкозношуваним дорожнім покриттям відбувається інтенсивне зношування деталей циліндро-поршневої групи, кілець двигуна, а також пальців і втулок ресор, шворнів поворотних цапф і інших деталей в результаті попадання пилу на поверхні деталей тертя разом з повітрям, паливом або змащувальними матеріалами.

На рис. 6.1 показаний графік залежності зносу верхньої частини гільз циліндрів від розміру частинок пилу і ступеня запиленості повітря, що поступає в циліндри. Як видно з графіка, при збільшенні розмірів частинок пилу до 10^{-6} - 15^{-6} м знос гільзи при запиленості повітря 4 мг/м^3 збільшується більше ніж в 3 рази порівняно зі зносом при технічно чистому повітрі, а при збільшенні розмірів частинок до 20^{-6} - 30^{-6} м – на 18%. Очевидно, значна частина крупних частинок пилу викидається разом з відпрацьованими газами.

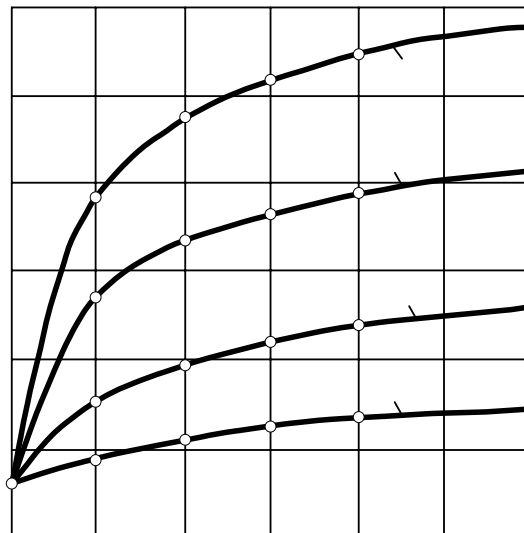


Рисунок 6.1 – Графік залежності зносу верхньої частини гільзи циліндра від розмірів частинок пилу і ступеня запиленості повітря:

1 – ступінь запиленості повітря 2 мг/м^3 ; 2- 4 мг/м^3 ; 3- 6 мг/м^3 ; 4- 8 мг/м^3

Найбільш агресивним компонентом пилу є кварц, частинки якого мають високу твердість (порядку $110\text{-}120 \text{ Н/мм}^2$).

Забруднення оливи, яка циркулює в системі мащення, абразивними частинками викликає також прискорений знос шийок колінчастого вала і підшипників розподільного вала, штовхачів та інших деталей. При роботі двигуна в умовах запиленого повітря збільшення зазору в підшипниках відбувається в 9-10 разів швидше, ніж в умовах чистого повітря.

Сучасні повітряні фільтри автомобілів при належному догляді за ними затримують 98-99% пилу, що міститься в повітрі. Таким чином, тільки 1-2% пилу поступає з повітрям в циліндри двигуна. При поганому догляді (забруднені фільтруючі сітки, недостатній рівень оливи в піддоні очисника повітря або дуже в'язка олива) очисник повітря затримує 80-85% пилу.

Дослідженнями встановлено, що тільки 1/6 частина пилу, який потрапив в циліндри, викидається при вихлопі, а решта затримується в двигуні. Один грам пилу, що потрапив в циліндр, може викликати збільшення його діаметра у верхньому поясі до 10^{-6} м.

Дорожні умови роботи автомобіля мають великий вплив на термін служби пружних елементів підвіски. Дослідження показали, що втомна міцність ресор залежить від меж зміни напруги в листах ресор при руху автомобіля по нерівній дорозі. Підвищення амплітуди напруг понад певну критичну величину різко скорочує термін служби ресор. При зростанні амплітуди напруг вдвічі (3 ± 150 Н/мм² до ± 300 Н/мм²) термін служби ресор вантажних автомобілів за кількістю циклів скорочується з 275 до 58 тис., або майже в 5,6 раза; при зміні прогинання ресори від нуля до максимуму, термін служби її змінюється обернено пропорційно до величини максимальної напруги.

Величина вертикальних навантажень залежить від дорожнього покриття, швидкості руху і ваги вантажу в кузові. При збільшенні нерівностей динамічні навантаження різко зростають, а термін служби ресор зменшується. Величина динамічних навантажень і деформації ресор більшою мірою залежать від жорсткості ресор і опору амортизації. Тому правильний вибір співвідношення цих параметрів має важливе значення при проектуванні підвіски автомобіля.

Окрім вертикального навантаження, листові ресори піддаються дії бічних і скручувальних навантажень, сприйманих вушками і першими листами ресор.

Основними експлуатаційними заходами, що забезпечують підвищення терміну служби ресор, є:

- дотримання встановлених норм навантаження автомобіля і рівномірний розподіл вантажу в кузові;
- зменшення сил міжлистового тертя ресор, яке залежить від чистоти листів, регулярного їх мащення, правильного затягування хомутів і драбин;
- запобігання корозії листів установленням захисних чохлів або фарбуванням.

Характер дороги також робить великий вплив на режим роботи механізмів силової передачі автомобіля. При русі автомобіля по важких дорогах збільшується шлях, пройдений на знижених передачах, а також різко збільшується число включень зчеплення і коробки передач, що впливає на надійність і довговічність цих механізмів.

Таким чином, залежно від дорожніх умов, особливо від рівності дорожнього покриття, змінюються ресурс автомобіля, середня технічна швидкість і продуктивність, що суттєво впливає на собівартість перевезень (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Залежність експлуатаційних показників автомобіля від рівності дорожнього покриття, %

Група рівності	Дорожні умови	Коефіцієнт рівності, см/км	Середня технічна швидкість	Витрата палива	Пробіг до капітального ремонту	Ходимість шин	Продуктивність автомобіля	Собівартість перевезень
1	Рівні удосконалені покриття в доброму стані	0-200	100	100	100	100	100	100
2	Щебеневі, гравійні, буличникові в рівному стані і покриття 1 групи в зношеному стані	200-600	75-80	125-130	75-80	75-80	90	120
3	Нижчі типи покриття і ґрунтові дороги, а також покриття 1, 2 групи в зношеному стані	Більше 600	50-60	160-180	55-60	55-60	65	160

Для зменшення впливу дорожніх умов на знос автомобіля необхідно вибирати і підтримувати постійні оптимальні швидкості руху, ретельно стежити за своєчасним і якісним змащенням деталей механізмів і агрегатів, не допускати перевантажень автомобіля понад встановлену норму і тривалої роботи з буксуванням, вживати ефективні заходи щодо захисту двигуна від пилу, дотримувати оптимальний тепловий режим двигуна і режим підігріву горючої суміші; при роботі на поганих дорогах не застосовувати паливо з високою температурою перегону, а також збагаченого складу горючої суміші.

6.2 Кліматичні умови

Кліматичні умови характеризуються середньорічною температурою навколишнього повітря та її максимальними і мінімальними значеннями, кількістю опадів, що випадають в рік, а також вологістю повітря і барометричним тиском. Відомо, що кліматичні умови мають великий вплив на стан і характер дорожнього покриття.

Вплив кліматичних умов на автомобіль обумовлюється перш за все тим, що під дією як низьких, так і високих температур змінюються фізико-механічні властивості конструкційних сталей, металевих сплавів, пластмас, гуми та інших матеріалів.

Особливо великий вплив мають кліматичні умови на фізико-хімічні константи змащувальних матеріалів, палива, гальмівної та амортизаторної рідини, електроліту та ін.

Деякі метали і металеві сплави при низьких температурах знаходять схильність до крихкого руйнування і підвищену чутливість до концентраторів напруг, до швидкого руйнування зварних швів або прилеглих до них ділянок.

Пониження температури знижує величину ударної в'язкості ряду металів і сплавів, що приводить до поломки рам, півосей, кулаків поворотних цапф та інших деталей.

У ряді випадків висока вологість повітря (в північних районах або в приморських південних районах) викликає інтенсивний розвиток атмосферної корозії деталей автомобілів. Сумісна дія корозійного середовища і навантажень знижує межу витривалості металу, міцність і пластичність металевих деталей, збільшує тертя між рухомими частинами машин і обумовлює швидке руйнування. Деталі, виготовлені з пластичних мас, при низьких температурах стають крихкими і ламаються від незначних зусиль.

Кліматичні умови мають істотний вплив на протікання робочих процесів двигуна, агрегатів силової передачі і ходової частини.

З ціллю зменшення впливу кліматичних умов на довговічність автомобіля створені спеціальні сезонні сорти палива і змащувальних матеріалів, охолоджувальних рідин морозостійких і теплостійких шин та ін.

Найбільш істотний вплив на термін служби автомобіля має тепловий режим двигуна і його агрегатів. Цей режим визначається температурою навколишнього повітря, ступенем завантаження автомобіля і його швидкістю та залежить від довжини їздки, тривалості простою автомобіля під завантаженням і вивантаженням та якості технічного догляду за ним в процесі роботи (застосування утеплювальних засобів, регулювання та ін.).

Дослідження показали, що температура навколишнього повітря більш істотно впливає на зміну температури охолоджувальної рідини і оливи в картері двигуна, ніж коливання навантаження і швидкості.

Між температурою охолоджувальної рідини і температурою стін циліндрів існує пряма залежність (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Залежність температури стінок циліндрів від температури охолоджувальної рідини

Температура охолоджувальної рідини, °С	Температура стінок циліндра, °С		
	зверху	знизу	по середині
80	125 – 150	95 – 100	95 – 100
50	105 – 125	70 – 75	75 – 80
20	85 – 105	50 – 55	55 – 60

На рис. 6.2 показаний графік залежності зносу стінок циліндрів автомобільного двигуна від їх температури. При пониженні температури стінок циліндрів нижче +80 °С інтенсивність їх зношування різко збільшується внаслідок зміни умов тертя на поверхні циліндрів і розвитку складних теплових і фізико-хімічних процесів – конденсації парів води і продуктів неповного згоряння, змивання оливи із стінок циліндрів і значного збільшення роботи тертя поршнів і поршневих кілець об стінки циліндрів (корозія і знос захоплюванням).

Великий вплив на характер та інтенсивність, зношування циліндрів має корозія. При певних режимах роботи двигуна на верхніх частинах внутрішніх поверхонь циліндрів є ділянки, температура яких t_k буде нижче критичної або близькою до неї. В результаті цього поверхня охолоджених ділянок зволожується конденсатом води при насиченні сірчаним, сірчистим і корозійно-активними газами, що містяться в продуктах згоряння; утворюється плівка електроліту. На межі розділу метал – електроліт починається процес електрохімічної корозії з утворенням оксидів. При переміщенні поршневих кілець ці оксиди легко відділяються від поверхні циліндрів, що сприяє інтенсивному розвитку корозійно-механічного зношування циліндрів.

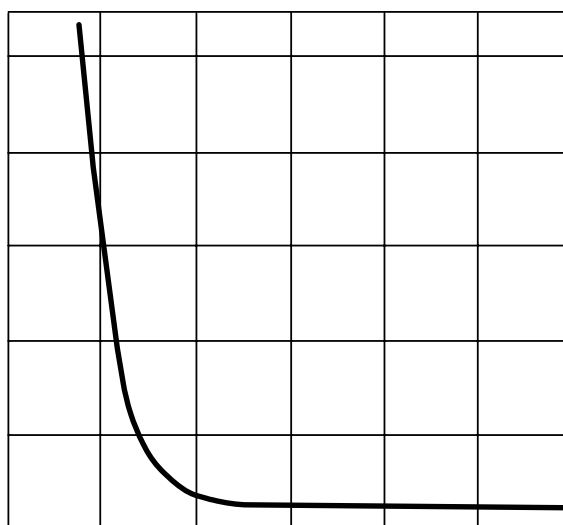


Рисунок 6.2 – Графік залежності зносу стінок циліндра двигуна від їх температури

Якщо температура стінок циліндрів вища критичної ($t_h > t_k$), при якій неможлива конденсація парів води і утворення плівки електроліту, то поверхня циліндрів піддається газовій корозії (рис. 6.3).

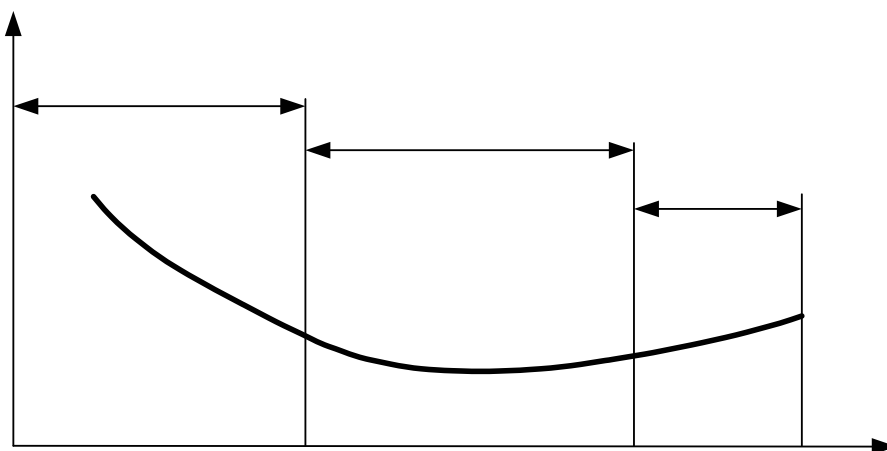


Рисунок 6.3 – Графік зносу стінок циліндрів двигуна в залежність від їх температури (при роботі на сірчистому паливі)

Електрохімічна корозія циліндрів протікає більш інтенсивно в порівнянні з газовою, тому вона представляє головну небезпеку для двигуна.

Окрім сірчистої і сірчаної кислот, в циліндрах двигуна можливе утворення вугільної, азотної та деяких органічних кислот (мурашиної, щавлевої). Тому при зниженому температурному режимі двигуна може відбутися підвищений знос циліндрів навіть при роботі на паливі, що не містить сірки.

Для захисту циліндрів двигуна від корозійно-механічного зношування у верхню частину їх встановлюють короткі гільзи з чавуну аустенітного класу.

Інтенсивність корозійно-механічного зношування залежить також від складу суміші, установлення моменту випередження запалення і конструктивних особливостей двигуна.

Великий фактичний матеріал, показує, що циліндри автомобільних двигунів зношуються нерівномірно як по висоті, так і по колу. На рис. 6.4 показаний графік типового зносу циліндрів автомобільних двигунів ГАЗ-53 і ЗІЛ-130. Найбільшому зносу піддається верхня частина циліндрів, розташована проти компресійних кілець в крайньому верхньому положенні.

Зона максимального радіального зносу стін циліндрів розташована в різних циліндрах неоднаково, проте спостерігається загальна тенденція: майже у всіх випадках зона найменшого зносу збігається із зоною максимального нагріву стінок циліндрів, розташованою в перемичках між клапанами або біля випускного клапана.

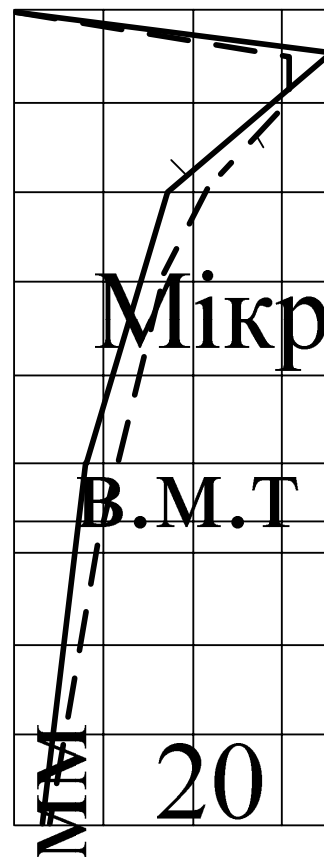
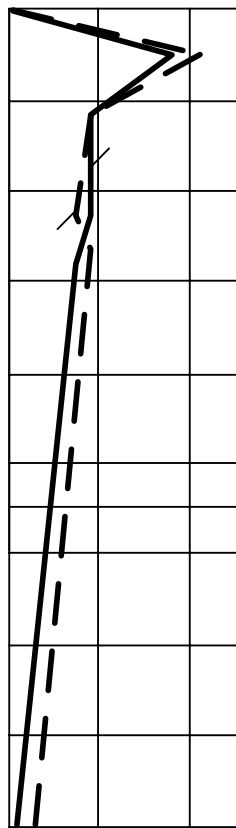


Рисунок 6.4 – Графік типового зносу циліндрів автомобільних двигунів:
a – двигун ГАЗ-53; *б* – ЗІЛ-130; 1 – в площині перпендикулярній до осі колінчастого вала; 2 – в площині паралельній осі колінчастого вала.

Більш інтенсивний знос стінок циліндрів, розташованих проти клапанів, дає підставу припускати, що характер радіального зносу в тому або іншому ступені визначається напрямом потоку горючої суміші, що поступає в циліндри, кородуванням робочої поверхні і змивом оливи із стінок не випареною частиною палива, що міститься в горючій суміші. Отже, характер і швидкість зношування циліндрів автомобільного двигуна при низькій температурі води в системі охолодження обумовлюється сумісною дією таких основних чинників:

а) наявністю напівсухого тертя між стінками циліндрів і поршневими кільцями;

б) корозійним руйнуванням поверхневих шарів металу електролітом, що утворюється в результаті взаємодії парів води з корозійно-активними газами, які містяться в продуктах згоряння;

в) високим питомим тиском між поршневими кільцями і стінами циліндрів в їх верхній частині (при низькій температурі двигуна індикаторна потужність його значно збільшується внаслідок підвищення внутрішніх і зовнішніх опорів) з розвитком зносу і скоплюванням.

При низькій температурі навколишнього повітря різко зростають опори в силовій передачі автомобіля, особливо в початковий період руху. Величина цих опорів залежить від температури навколишнього повітря і якості змащувальних матеріалів, вживаних для коробки передач, головної передачі, підшипників коліс. Правильним підбором трансмісійних олив для експлуатації автомобіля в зимових умовах можна зменшити витрату палива, знос силової передачі та агрегатів.

Підтримання оптимальної температури рідини в системі охолодження підвищує довговічність автомобільного двигуна. Для карбюраторних автомобільних двигунів ця температура складає 80-85°C для двигунів із запалюванням від стиснення 85-90°C. На всіх автомобілях і особливо на тих, які працюють на коротких рейсах з тривалими зупинками, необхідно застосовувати шторки радіаторів і утеплювальні чохли в зимовий і осіннь-весняний період (при температурах від 5 до 10°C).

Для контролю температурного режиму двигуна на всіх автомобілях повинні бути справні показчики температури в системі охолодження. Правильність показання приладів необхідно систематично перевіряти.

Наявність термостата в системі охолодження в 5-6 раз скорочує час прогрівання двигуна і, отже, зменшує його знос в період пуску. Крім того, термостат є дроселем, який зменшує інтенсивність циркуляції рідини в системі охолодження. При його видаленні інтенсивність циркуляції охолоджувальної рідини значно збільшується, двигун постійно буде переохолоджуватися та інтенсивно зношуватися.

Експлуатація стандартних автомобілів в районах країни з жарким кліматом має свої специфічні особливості: висока температура навколишнього повітря обумовлює роботу двигуна на граничному тепловому режимі, викликаючи перегрів двигуна та інших агрегатів автомобіля: при цьому розріджується мастило та інтенсифікуються процеси зношування агрегатів, збільшується витрата палива. Велика концентрація абразивного пилу в повітрі вимагає ретельного захисту двигуна від попадання пилу, а також всіх зовнішніх ущільнень.

Наявність в пилу різних солей, окрім підвищеного абразивного зношування, приводить до посиленої корозії деталей. В цих умовах особливу увагу необхідно приділяти своєчасному і якісному проведенню технічного обслуговування і експлуатаційного ремонту. Велику увагу необхідно приділяти також догляду за приладами системи живлення електроустаткування автомобіля, елементами ходової частини і шинами.

6.3 Транспортні умови і режими використання машин

Транспортні умови і режими експлуатації автомобіля залежать від типу автотранспортного підприємства і його виробничих функцій, дорожніх і кліматичних умов і визначаються об'ємом і відстанню перевезень, видом вантажу, способом завантаження і розвантаження

транспортних засобів, інтенсивністю експлуатації автомобіля (середньою і максимальною швидкістю руху, ступенем використання потужності двигуна, добовим, сезонним і річним пробігом автомобіля).

Вітчизняні і зарубіжні дослідники відзначають підвищений знос автомобільного двигуна в процесі його пуску (особливо при низьких температурах), а також в період прогрівання.

Підвищене зношування двигуна в процесі його пуску обумовлюється недостатнім надходженням оливи до тих поверхонь тертя і роботою їх при граничному терті з розвитком корозійно-механічного зношування. Цей процес інтенсифікується посиленням змивання оливи із стінок циліндрів і поршневих кілець, паливною плівкою і рідкою фазою палива, що міститься у великій кількості в горючій суміші при пуску і прогріванні холодного двигуна.

Маслонасос в процесі пуску не може забезпечити подачу оливи до поверхонь тертя в кількості, достатній для утворення масляної плівки необхідної товщини. Спочатку олива повинна заповнити корпус маслонасоса і маслофільтра, головну магістраль, масляні канали і зазори між деталями, і лише після цього вона почне витікати з підшипників і потрапляти на нижню частину циліндрів. Тому подача оливи у верхню частину циліндрів і до поршневих кілець здійснюється із запізнюванням на декілька хвилин (залежно від в'язкості оливи, її температури, пускових обертів).

Ефективним засобом зменшення пускового зносу двигуна є максимальне скорочення періоду роботи поверхонь деталей, що труться при недостатньому мащенні. Це досягається:

- 1) примусовою подачею оливи в систему мащення перед пуском двигуна;
- 2) застосуванням малов'язких олив, які мають хорошу прокачуваність і сприятливу температурно-в'язкісну характеристику;
- 3) попереднім підігрівом картерної оливи перед пуском двигуна;
- 4) скороченням періоду прогрівання двигуна в процесі пуску;
- 5) поліпшенням процесу розпилення палива.

Не слід допускати великих обертів двигуна і перезбагачення горючої суміші в процесі пуску і розігрівання двигуна.

Режим експлуатації автомобіля, як було відзначено вище, робить також значний вплив на знос агрегатів силової передачі, ходової частини і механізмів управління. В автомобілях, які працюють переважно в місті, швидше зношуються шестерні коробки передач, витискний підшипник зчеплення, ведений диск зчеплення, підшипник колінчастого вала, фрикційні накладки гальм. На автомобілях-самоскидах найбільший знос спостерігається у рам, ресор, пальців і втулок ресор, шин, шестерень І-ї передачі, підшипників карданного вала. В легкових автомобілях-таксі швидко зношуються сидіння, дверні замки і ручки.

Виключно великий вплив на надійність і довговічність рами, ходової частини, елементів підвіски автомобіля і шин (особливо автомобілів-самоскидів) здійснюють способи навантаження. Підконтрольна експлуатація автомобілів КрАЗ-256 в одному із залізничних кар'єрів в Кривому Розі показала, що автомобілі-самоскиди, завантаження яких виконувалось екскаваторами з великою місткістю ковша (за 1,5-2 циклу), мали пробіг до капітального ремонту на 22-27% менший, ніж автомобілі, завантаження яких здійснювалася за 3-4 цикли. В першій групі автомобілів спостерігалися також підвищені об'єми поточних ремонтів ресор, амортизаторів, осей балансиру і шин.

Дослідження, проведені в НДІАТ, показали, що при постійній роботі автомобіля ЗІЛ-130 з одним причепом знос циліндрів двигуна збільшується приблизно на 30%. Збільшується також знос агрегатів силової передачі і шин. Проте з цього не можна робити висновок про недоцільність застосування причепів. Навпаки, при збільшенні зносу циліндрів на 30% продуктивність автомобіля при роботі з причепом збільшується на 60-70% і, природно, відносний знос автомобіля на одиницю транспортної роботи при використуванні причепа буде значно нижчий, ніж при роботі одиночного автомобіля. Застосування причепів підвищує продуктивність праці водія, знижує витрату палива, веде до різкого зниження собівартості перевезень.

7 ВПЛИВ ЯКОСТІ ВОДІННЯ, ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТУ І ЗБЕРІГАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

7.1 Якість водіння

Поняття *водіння автомобіля* включає процес керування автомобілем при русі (дотримання правил руху, вибір раціональних режимів руху та ін.), а також технічне обслуговування автомобіля в дорозі (догляд за механізмами та агрегатами автомобіля, усунення дрібних несправностей і т.д.). Від якості водіння в значній мірі залежать величини динамічних навантажень у деталях силової передачі і ходової частини, тепловий режим двигуна і число його пусків. Відомі випадки, коли автомобілі однієї марки, які працюють в одному автогосподарстві при однакових режимах експлуатації, технічного обслуговування і зберігання, мають різні міжремонтні пробіги, які відрізняються між собою в 1,5-2 рази і більше.

Відомо, що при керуванні автомобілем різними водіями середня технічна швидкість його руху може змінюватися в межах 9,3-11,1% від середнього значення. Однак при порівняно невеликій зміні середньої технічної швидкості значно змінюється режим руху автомобіля. Для досвідчених водіїв характерним є водіння автомобіля зі сталою швидкістю переважно на прямій або прискорювальній передачах при плавних змінах ступеня відкриття дросельної заслінки. При цьому знижується сумарне число обертів колінчатого вала на одиницю шляху.

Рух накатом застосовується досвідченими водіями переважно на спусках і перед зупинками, коли це допускається умовами руху, і припиняється при порівняно високих швидкостях. У цей час звичайно виключається передача, а двигун працює на мінімальних обертах холостого ходу. При такому способі руху не відбувається різкої зміни теплового режиму двигуна і змивання змащення зі стінок циліндрів паливом, як у випадку вимикання запалювання.

Досвідчені шофери швидко і плавно здійснюють розгін автомобіля до заданої швидкості, починаючи його на низьких передачах, роблять невелике число включень зчеплення, прямої передачі і гальм, строго дотримують правила пуску і прогріву двигуна, його оптимальний тепловий режим у процесі роботи, режим змащення, чистоту палива і мастильних матеріалів, застосовуваних при заправленні автомобіля.

Великий вплив на довговічність автомобіля чинять методи користування зчепленням і гальмами. Центральне гальмо, яке встановлюють на вантажних автомобілях, призначене для загальмовування автомобіля під час стоянки. Тільки в екстрених випадках можна користуватися для гальмування автомобіля центральним гальмом. До всіх деталей силової передачі (від центрального гальма до коліс) прикладається гальмовий момент M_r , величина якого визначається за формулою

$$M_T = \frac{G_{зч} \cdot b \cdot \varphi \cdot r_K}{i_0 \cdot \eta_c}, \quad (7.1)$$

де $G_{зч}$ – зчіпна вага автомобіля;

b – коефіцієнт перерозподілу навантаження при гальмуванні;

φ – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою;

r_K – радіус кочення колеса;

i_0 – передатне число головної передачі;

η_c – ККД силової передачі.

При екстреному гальмуванні автомобіля на сухій дорозі з твердим покриттям максимальне значення моменту M_T може перевищувати максимальний крутний момент двигуна у 6-8 разів. Тому у випадку частого користування центральним гальмом швидко зношуються голчасті підшипники хрестовин карданного вала, підшипники і шестерні головної передачі, підшипники вторинного вала коробки передач, хрестовина і сателіти диференціала та інші деталі.

При гальмуванні автомобіля колісним гальмом без вимикання зчеплення до деталей його силової передачі прикладається інерційний момент двигуна, величина якого може бути визначена за формулою:

$$M_j = J_m \frac{d\omega_m}{dt} = J_m \frac{j_c}{r_K} i_0 \cdot i_K, \quad (7.2)$$

де J_m – момент інерції маховика двигуна, Н·м/с²;

$\frac{d\omega_m}{dt}$ – сповільнення маховика двигуна, с⁻²;

i_K – передаточне число коробки передач, при якому здійснюється гальмування;

j_c – сповільнення автомобіля при гальмуванні, м/с².

При наявності гальм на всіх колесах сповільнення на межі юзу можна визначити за формулою

$$j_c = \frac{g}{\delta} \varphi, \quad (7.3)$$

де δ – коефіцієнт, що враховує вплив оберткових мас автомобіля.

При гальмуванні автомобіля до юзу на першій передачі максимальний інерційний момент двигуна може в 2-3 рази перевищувати його максимальний крутний момент, а при гальмуванні на прямій передачі з високою швидкістю руху – у 15-20 разів. Однак максимальний момент, що прикладається до деталей силової передачі, не може перевищувати максимальний момент, переданий через зчеплення (зчеплення буде пробуксовувати). Отже, зчеплення виконує функції запобіжної муфти, що захищає деталі силової передачі від надмірно високих напруг, які можуть з'явитися в механізмах силової передачі при різкому гальмуванні автомобіля без вимикання зчеплення. Гранична величина напруг у деталях

силової передачі визначається значенням коефіцієнта запасу зчеплення і його регулюванням. Пробуксовування зчеплення при виконанні ним запобіжних функцій може призвести до надмірного нагрівання фрикційних накладок і виведення його з ладу. Коли гальмування автомобіля відбувається центральним гальмом (без вимикання зчеплення), до деталей коробки прикладається інерційний момент двигуна. У цьому випадку може відбутися вигин валів і поломка підшипників.

Дослідження, навантажувальних режимів силової передачі автомобіля за допомогою електро-тензометрування показали, що зчеплення автомобілів не завжди може захищати силову передачу від перевантажень. Найбільш небезпечні для силової передачі режими рушення у випадку застрягання автомобіля. Для цього водій, використовуючи кінетичну енергію обертових мас двигуна, робить «розгойдування» автомобіля різким включенням і вимиканням зчеплення при високому числі оборотів колінчатого вала, внаслідок чого виходить ударне прикладання крутного моменту до механізмів силової передачі. При різкому включенні зчеплення крутний момент, що прикладається до силової передачі, може значно перевищити максимальний крутний момент двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу. Цим обумовлюються поломки деталей силової передачі автомобілів, що працюють в умовах поганих доріг, а також автомобілів-самоскидів, що працюють у кар'єрах.

Зниження динамічних навантажень у силовій передачі автомобіля досягають правильним регулюванням зчеплення, плавним відпусканням педалі при рушенні з місця, а також введенням додаткових пружних елементів у конструкцію силової передачі.

7.2 Технічне обслуговування транспортних машин

Технічне обслуговування складається з комплексу організаційно-технічних заходів, що підвищують надійність, довговічність і технічну готовність транспортної машини (автомобіля) в процесі експлуатації.

Найнезначніша несправність у механізмах і агрегатах автомобіля, якщо вона вчасно не усунута, може викликати інтенсивне зношування деталей або поломку. Тому технічне обслуговування повинно бути організоване так, щоб повністю усувалася можливість випуску автомобіля на лінію з будь-якими несправностями. Для дотримання цієї умови необхідно регулярно здійснювати технічне обслуговування автомобілів за заздалегідь складеним графіком з виконанням певного комплексу контрольно-оглядових, кріпильних, регулювальних і мастильних робіт.

Лінії або пости діагностики в автотранспортному підприємстві повинні періодично піддавати автомобілі діагностиці для об'єктивного оцінювання їхнього технічного стану і встановлення точного обсягу і характеру необхідних ремонтів.

Для досягнення максимальної ефективності у використанні автомобілів і скорочення непродуктивних витрат часу і засобів необхідно, щоб режим технічного обслуговування (номенклатура видів технічних обслуговувань, періодичність і перелік робіт, виконуваних при кожному обслуговуванні) найбільшою мірою відповідав типові рухомого складу, його технічному станові, умовам експлуатації, якості експлуатаційних матеріалів і водіння. Отже, для різних умов експлуатації не може бути прийнято єдиний режим технічного обслуговування.

Велике число видів технічних обслуговувань при малій періодичності між ними утрудняють організацію їхнього виконання, знижують коефіцієнт технічної готовності парку, збільшують простой автомобіля в обслуговуваннях і матеріальні витрати. Велика періодичність технічних обслуговувань збільшує простой автомобіля на лінії через технічні несправності і обсяги заявочних ремонтів.

Отже, режим технічного обслуговування, прийнятий для середніх умов експлуатації, повинний у кожному конкретному випадку коректуватися з урахуванням специфічних умов роботи кожного автотранспортного підприємства. Доцільність такого коректування підтверджується досвідом роботи передових автотранспортних підприємств, який показує, що для підвищення довговічності і технічної готовності автомобілів вирішальне значення має своєчасне і ретельне виконання щоденного і першого технічних обслуговувань. Неякісне і несвоєчасне проведення цих обслуговувань приводить до значного збільшення обсягу експлуатаційних ремонтів і підвищення собівартості перевезень. Важливе значення має якість виконання робіт і, насамперед, чистота застосовуваних палив і мастильних матеріалів, методика діагностування та усунення технічних несправностей, що виникають у процесі роботи автомобіля, і методика виконання регулювальних робіт.

7.3 Ремонт транспортних машин

За амортизаційний пробіг транспортна машина (автомобіль) кілька разів піддається різним видам ремонтів.

Досвід автотранспортних підприємств показує, що в ряді випадків пробіг нових автомобілів у 2,5-3 рази перевищує пробіг автомобілів після капітального ремонту. Значне зменшення пробігу автомобіля після капітального ремонту обумовлюється низькою якістю ремонту. Складання автомобіля після ремонту виконується з придатних деталей (установлюваних без ремонту), відремонтованих і нових деталей. Якщо вважати, що нові деталі, застосовувані при ремонті, за своїми якостями не уступають деталям, застосовуваним на автомобільних заводах, то якість ремонту автомобіля буде залежати насамперед від якості придатних і відремонтованих деталей, монтажних і регулювальних робіт.

Придатність деталей визначається діючими технічними умовами на контроль-сорткування деталей при ремонті. Тому мають місце випадки, коли в з'єднаннях, зібраних із придатних деталей, установлюються такі зазори, які у 2,5-3 рази перевищують відповідні зазори в нових деталях. Крім розмірів і форми, в деяких придатних деталях змінюється також і структура вихідного матеріалу. Отже, зносостійкість з'єднань і вузлів, складених із придатних деталей, буде менше зносостійкості таких же з'єднань і вузлів, складених з нових деталей.

Зниження якості обробки поверхонь тертя деталей при ремонті приводить до того, що після їхнього припрацьовування в з'єднаннях установлюються великі початкові зазори, що сприяють інтенсивному зношуванню деталей. Необхідно, щоб чистота обробки поверхонь деталей при ремонті була не нижче чистоти, прийнятої на автомобільних заводах.

Винятково великий вплив на надійність і довговічність автомобіля після ремонту робить технологія складання. Досвід показує, що в ряді випадків допускаються такі дефекти, як зміни зазорів і натягів в з'єднаних деталях, неправильна орієнтація деталей (биття, перекося), статична і динамічна неврівноваженість, деформація деталей, а також засмічення порожнин і каналів при складанні двигуна, коробки передач, ведучих мостів і т.д. Наприклад, при нерівномірному затягуванні кріплень головки блока збільшується еліпсність циліндрів. При нагріванні циліндрів у процесі роботи ці зміни зростають у 1,5-2 рази, що викликає стукіт поршнів або їхнє заклинювання, задирки дзеркал циліндрів і інші дефекти. Тому при складанні механізмів і агрегатів автомобіля необхідно строго дотримуватися встановлених норм затягування кріпильних деталей, для чого варто застосовувати динамометричні рукоятки і ключі з обмеженим моментом затягування кріплень. Для дотримання правильної орієнтації деталей необхідно при складанні застосовувати різні контрольні і настановні прилади, шаблони і пристосування, а також строго витримувати вагові групи (поршнів, шатунів) і зберігати заводське балансування маховиків, зчеплень, гідромуфт, карданних валів і ін. Всі агрегати і механізми перед надходженням на складання повинні попередньо проходити обкатування, перевірку і регулювання на спеціальних стендах і установках.

Особливу увагу необхідно звертати на дотримання чистоти ремонту автомобіля на всіх стадіях виробничого процесу. Для цього повинні широко застосовуватися різні промивні рідини і розчини, обдування деталей стисненим повітрям, вібраційний, ультразвуковий і інший методи очищення деталей і механізмів.

7.4 Зберігання транспортних машин

Експлуатація транспортних машин (автомобіля) повинна бути організована так, щоб основну частину календарного часу він працював на

лінії. Для цього необхідно впроваджувати в практику роботи автотранспортних підприємств, де дозволяють умови, дво- і тризмінну роботу, усіляко заохочувати збільшення часу перебування автомобіля на лінії при високопродуктивному його використанні. Однак у ряді випадків значну частину часу автомобіль знаходиться на зберіганні. Основна вимога до зберігання полягає в тому, щоб у цей період не погіршувався технічний стан автомобіля.

При зберіганні автомобілів на відкритих площадках атмосферні опади викликають корозію металу, руйнування фарбування і дерев'яних частин, інтенсифікуються процеси старіння шин і гумових виробів. Особливо шкідливий вплив чинять на автомобіль низькі температури навколишнього повітря. В цих умовах виникає небезпека замерзання води в системі охолодження, зниження ємності акумуляторної батареї, утрудняється пуск двигуна і збільшуються пускові зноси. В залежності від конкретних умов автомобілі зберігають у закритих приміщеннях (опалюваних і неопалюваних), під навісами, а також на відкритих площадках, передбачаючи заходи, що забезпечують захист автомобілів від зносу і руйнування, постійну готовність до виїзду, надійну і довговічну роботу.

Для полегшення пуску автомобільного двигуна і зниження пускових зносів застосовують різні засоби підігріву і розігріву двигунів перед пуском, спеціальні зимові оливи і палива, рідини, що замерзають при низьких температурах, індивідуальні підігрівники, утеплювальні чохли та ін.

Оптимальність вибору способу зберігання автомобіля обумовлюється кліматичними умовами, типом автомобіля, режимом його використання на лінії і виробничо-господарськими умовами.

8 СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ЗА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

8.1 Загальна характеристика існуючих систем

Технічна підготовка транспортних машин до експлуатації – це комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на підтримання високої технічної готовності рухомого складу для підвищення ефективності та якості його роботи і безпеки дорожнього руху. Основні з них (технічне обслуговування, ремонт і зберігання автомобільної техніки) умовно можна поділити на дві групи робіт: планові профілактичні, пов'язані в основному з попередженням відмов і несправностей, і роботи щодо усунення раптових відмов і несправностей.

Залежно від прийнятих критеріїв оптимальності і методу проведення між групами робіт на практиці існують різні співвідношення. Але в будь-якому випадку основна вимога, що пред'являється до технічної підготовки автомобілів до експлуатації в цілому, складається з того, щоб при обмежених затратах праці і засобів забезпечити найбільшу ймовірність того, що в потрібний момент автомобіль виявиться справним і виконає встановлені завдання.

Рік у рік з різних причин (підвищення інтенсивності роботи автомобілів, швидкостей руху, тисків, розширення інтервалу температур та ін.) підвищуються вимоги до конструкції автомобілів, які стали значно складнішими, викликавши в ряді випадків випереджальне зростання безвідмовності. Через це різко збільшуються труднощі у забезпеченні надійної роботи автомобілів, ускладнюється контроль за параметрами технічного стану через їх різноманітність, збільшуються час і засоби на підготовку їх до експлуатації.

Технічну підготовку автомобілів до експлуатації слід розглядати як єдину систему, що складається з технічної підсистеми (автомобіль), операторів (водій) та виконавців робіт (ремонтно-профілактичні робітники та механіки, майстри). Це дозволяє оволодіти методами підвищення якості ремонтно-профілактичних робіт, проаналізувати трудові процеси профілактики та ремонту автомобілів, врахувати експлуатаційно-технічні характеристики та психофізіологічні особливості людей – виконавців робіт.

Можна виділити системи профілактичного обслуговування і ремонту за напрацюванням (пробігом) до окремих видів впливів, за технічним станом і змішану систему, що поєднує у собі елементи перших двох систем.

Суть системи за напрацюванням полягає в тому, що через певний пробіг, незалежно від технічного стану агрегатів, виконується відповідний вид технічних впливів (ТО, ремонт, заміна). Ця проста модель через значну вартість може застосовуватися тільки для спеціальних машин, а на транспорті для окремих вузлів і механізмів, від яких залежить безпека руху. При такій системі значна частина ресурсу не використовується, тому вона

дуже дорога (неощадлива). Вона не може забезпечити високої надійності і мінімальних витрат на підтримку агрегатів у працездатному стані.

Суть системи за технічним станом інша – технічні впливи виконуються при досягненні критичного рівня контрольованих параметрів (гранично допустимого стану). Ця система дозволяє не робити "зайвих" ремонтів, якщо ризик відмов невеликий, вона дозволяє підвищити середнє напрацювання агрегатів без збільшення кількості відмов. Вона більш економічна, але вимагає уміння вимірювати безупинно або періодично контрольовані (діагностичні) параметри. Для її здійснення необхідно сучасне і дороге спеціальне контрольно-діагностичне устаткування ("тактична зброя").

Транспортні машини – складні системи, що складаються з тисяч деталей з різними виробничими та експлуатаційними допусками. Працюють вони в різних умовах і кожна з них старіє по-своєму. Тому до них повинний бути індивідуальний підхід. Справжній технічний стан можна визначити тільки при індивідуальному обстеженні (контролі, діагностуванні) кожного агрегату. При цьому будуть враховані різні умови роботи, кваліфікація водія та інші фактори, що впливають на зміну технічного стану.

Для діагностичної системи потрібні трохи інші методи досліджень і інший математичний апарат. В основу повинна бути покладена теорія надійності, що поєднує у розумних межах детерміновані та імовірнісні розрахунки. Особлива увага повинна приділятися вивченню фізики відмов, зношування і старіння.

Основою технічної експлуатації машин повинна бути ефективна система керування (регулювання) технічним процесом. Кінцева мета всякого регулювання – одержання певного значення вихідного параметра. Для цього необхідно його вимірювати і контролювати. У протилежному випадку його неможливо і регулювати.

Організацію профілактичного обслуговування і ремонту машин на транспортних підприємствах необхідно розглядати як замкнуту систему управління (регулювання) зі зворотним зв'язком (рис. 8.1), що складається з об'єкта управління O , датчика D , органа управління U та виконавчого органа BO . Ця система складається з двох частин: контролю (об'єкт-датчик-орган управління) і управління (орган управління-виконавчий орган-об'єкт). Якщо в системі здійснюється одна зі згаданих функцій, така система називається розімкнутою.

Система профілактичного обслуговування і ремонту машин за технічним станом припускає в основному три види робіт: обов'язкові (ОР), контрольно-діагностичні (Д) та усунення виявлених несправностей (УН). Умовно цю систему робіт можна позначити ОР-Д-УН [4, 9]. Якщо прийняти сумарну трудомісткість робіт на 1000 км за 100 %, то за видами робіт вона розподіляється приблизно так: 15...25 % – обов'язкові роботи, 8...12 % – діагностування за допомогою сучасного устаткування, 65...75 % – усунення несправностей.

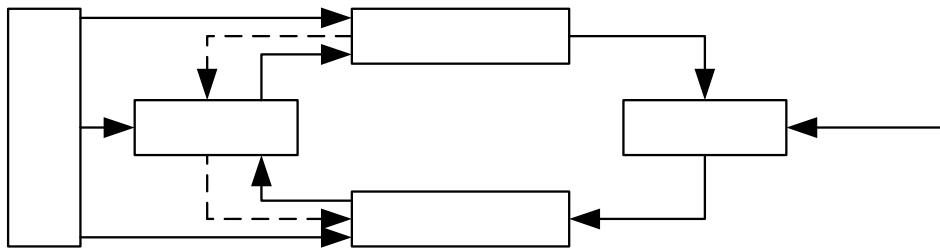


Рисунок 8.1 – Структурна схема управління технічною службою

В практиці система ОР-Д-УН має декілька варіантів свого застосування:

1. *Технічне обслуговування і ремонт автомобілів за технічним станом з контролем рівня надійності елементів автомобіля.* Застосовуючи цей метод, елементи автомобіля експлуатують без обмеження ресурсу до відмови. Фактичний рівень надійності елементів автомобіля (наприклад, параметр потоку відмов) не повинен перевищувати встановленого верхнього статистичного рівня. У разі перевищення цього рівня за інших однакових умов для певних елементів автомобіля направляють на обслуговування або на ремонт; тимчасово встановлюють міжремонтний ресурс, який розглядають як сигнал про необхідність виконання спеціальних заходів для підвищення надійності певних елементів автомобіля.

Для застосування цього методу необхідно чітко організувати систему збору і обробки інформації про відмови і несправності елементів автомобіля в АТП.

2. *Технічне обслуговування і ремонт автомобілів за технічним станом з контролем параметрів агрегатів.* Після відпрацювання встановленого ресурсу передбачається неперервний або періодичний контроль і вимірювання параметрів, що визначають технічний стан тих чи інших агрегатів. За результатами контролю приймається рішення про продовження експлуатації автомобіля до наступної перевірки. Функціональні та діагностичні параметри агрегатів змінюють з певною періодичністю в русі та під час технічного обслуговування або ремонту автомобіля.

Основні вимоги до вимірюваних параметрів: інформативність, однозначність, широта поля вимірювання, доступність і зручність вимірювання.

Прогноз технічного стану або надійності агрегату встановлюється на період не менший ніж до наступної перевірки значень параметрів. Паралельно використовується статистична інформація про надійність елементів автомобіля. Дані прогнозу слугують технічною основою для прийняття рішення про допущення агрегату до подальшої експлуатації.

Технічне обслуговування і ремонт автомобілів за технічним станом з контролем параметрів експлуатованих агрегатів автомобіля належить до

найефективніших, а в ряді випадків, для особливо складних і відповідальних агрегатів, – єдино можливим для застосування.

Теоретичні основи цієї системи і задачі діагностики, як якісно нової ступіні удосконалювання профілактичного обслуговування і ремонту, були вперше сформульовані на Першій Всесоюзній конференції по діагностиці автомобілів (1967 р., м. Харків). За рубежем ця система контролю і коректування рівня надійності одержала назву "Condition Monitoring" (обслуговування за станом).

8.2 Методи визначення періодичності обслуговування транспортних машин за характеристиками експлуатаційної надійності

8.2.1 Загальні положення

Найважливіша умова підтримування заданого рівня надійності автомобілів в умовах експлуатації – призначення оптимальних режимів їхнього ТО: періодичності, переліку та трудомісткості операцій або виду обслуговування.

Під оптимальним треба розуміти такий режим, який забезпечує надійну роботу автомобіля та його елементів при мінімальних затратах коштів на ТО і ремонт.

Проблема оптимізації ТО дуже складна і її можна розглядати в різних аспектах. Проте при будь-якому її розв'язуванні треба враховувати надійність і готовність автомобілів, вплив на них профілактичних робіт. Розв'язанню цієї проблеми присвячено багато досліджень, виконаних науково-дослідними і навчальними закладами, а також автомобільними заводами і автотранспортними підприємствами. Вони покладені в основу діючої системи ТО і ремонту автомобілів у нашій країні.

До складу профілактичних робіт входять контрольно-діагностичні, кріпильні, регулювальні, електротехнічні, мастильні та інші роботи. Контрольно-діагностичні роботи виконуються в обов'язковому порядку через певний пробіг, а всі інші – після контрольно-діагностичних робіт (за потребою). Таким чином, періодичність ТО автомобілів, яка є основним питанням при обґрунтуванні режимів профілактики, визначається періодичністю контрольно-діагностичних робіт.

Проблема періодичності контрольно-діагностичних робіт не може бути розв'язана у відриві від надійності окремих вузлів і агрегатів автомобіля в конкретних умовах експлуатації у зв'язку з випадковим характером виникнення його відмов.

За час експлуатації автомобіля спостерігається три характерних періоди: *припрацювання, нормальна експлуатація, інтенсивне спрацьовування*, які можна наближено знайти за закономірністю зміни параметра потоку відмов. На етапі припрацювання виникають відмови, спричинені технологічними і конструктивними недоліками. Період

нормальної експлуатації найбільш тривалий і характеризується в основному раптовими відмовами. Період інтенсивного спрацьовування характеризується відмовами, спричиненими спрацьовуванням деталей автомобіля. Крім тривалості і причин виникнення відмов, ці періоди характеризуються також різними значеннями параметра потоку відмов, що мають найбільше і нерівномірне значення в період інтенсивного спрацьовування. Треба зазначити також і те, що надійність різних агрегатів автомобіля не однакова. Таким чином, *періодичність ТО автомобіля має визначатися для кожного агрегату й окремо для кожного періоду його експлуатації*.

Як критерії для визначення оптимальної періодичності контрольно-діагностичних робіт можуть бути використані такі характеристики експлуатаційної надійності автомобілів: *імовірність безвідмовної роботи і справного стану* (з урахуванням відновлення), *параметр потоку відмов, середнє напрацювання на відмову* та ін. Це пояснюється тим, що вони охоплюють багато конструктивно-технологічних і експлуатаційних факторів і, отже, досить повно характеризують надійність автомобіля в заданих умовах експлуатації.

При обґрунтуванні режимів ТО автомобілів застосовують й інші методи визначення періодичності ТО автомобілів: за зміною зовнішнього вигляду автомобіля та його елементів; потребою гарантування безпеки руху; найбільшою продуктивністю рухомого складу; закономірністю зміни і допустимим значенням параметрів технічного стану елементів автомобіля; питомими затратами на ТО і ремонти (техніко-економічний метод); допустимим рівнем імовірності безвідмовної роботи; економіко-ймовірнісним методом та за іншими критеріями.

8.2.2 Ймовірність безвідмовної роботи

Припустимо, що в період нормальної експлуатації автомобіля потік його відмов має стаціонарність, ординарність і не має післядій (рис. 8.2). Беручи до уваги ці властивості і застосовуючи теорему про повторення дослідів, неважко довести, що ймовірність появи n відмов на відрізку l виражається формулою (закон рідкісних подій Пуассона)

$$P_n = \frac{(\omega l)^n}{n!} e^{-\omega l} \quad (8.1)$$

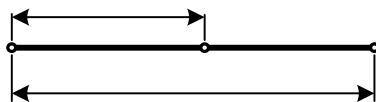


Рисунок 8.2 – Схема випадкового виникнення відмов автомобіля

Під параметром потоку відмов ω , що входить до формули (8.1), розуміють граничне значення відношення ймовірності появи хоча б однієї відмови (у потоці відмов) за інтервал пробігу до довжини цього інтервалу:

$$\omega = \lim_{\Delta l \rightarrow \infty} \frac{P_1(l, \Delta l) + P_{>1}(l, \Delta l)}{\Delta l},$$

де $P_1(l, \Delta l)$ – ймовірність появи однієї відмови за інтервал пробігу $l, l + \Delta l$;

$P_{>1}(l, \Delta l)$ – ймовірність появи двох, трьох і більше відмов за інтервал пробігу $l, l + \Delta l$.

Очевидно, що сума ймовірностей $P_1(l, \Delta l) + P_{>1}(l, \Delta l)$ – ймовірність появи хоча б однієї відмови за інтервал пробігу $l, l + \Delta l$.

Ймовірність

$$P_{>1}(l, \Delta l) = \sum_{k=2}^{\infty} P_k(l, \Delta l) = 1 - [P_0(l, \Delta l) + P_1(l, \Delta l)],$$

де $P_0(l, \Delta l)$ – ймовірність не появи жодної відмови за інтервал пробігу $l, l + \Delta l$.

Для ординарного потоку відмов

$$\lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{P_{>1}(l, \Delta l)}{\Delta l} = 0.$$

Отже, рівняння ординарних потоків для параметра потоку відмов має вигляд

$$\omega = \lim_{\Delta l \rightarrow \infty} \frac{P_1(l, \Delta l)}{\Delta l} = \frac{1}{N_0} \frac{dn(l)}{dl}.$$

Вираз (8.1) дає змогу визначити характеристики експлуатаційної надійності ($n = 0$) і надійності ($n = 1, 2, \dots$) автомобіля (рис. 8.3). Аналіз цих характеристик дає змогу вибрати оптимальну періодичність ТО, яка визначається медіанним значенням M_e , відрізка $0l_1$ – осі абсцис (імовірність появи двох і більше відмов автомобіля на відрізку $0l_1$ – практично дорівнює нулю). Імовірність безвідмовної роботи при цьому значенні періодичності визначається ординатою точки C , абсцисою якої буде вибрана періодичність ТО автомобіля.

При визначенні періодичності ТО автомобілів під час нормальної експлуатації припускають, що кількість відмов протягом розглядуваного інтервалу пробігу визначається законом рідкісних подій Пуассона. Це можливо, коли елементи автомобіля мають експоненціальні функції надійності, тобто якщо $P(l) = e^{-\omega l}$, де $\omega = \text{const}$. Відповідно до граничної теореми Пальма, це правомірно при будь-яких функціях надійності елементів, якщо кількість останніх в автомобілі достатньо велика.

Проте в деяких агрегатах автомобіля кількість змінних елементів, які треба враховувати при оцінюванні надійності, порівняно невелика. Функції їхньої надійності можуть помітно відрізнятися від експоненціальних.

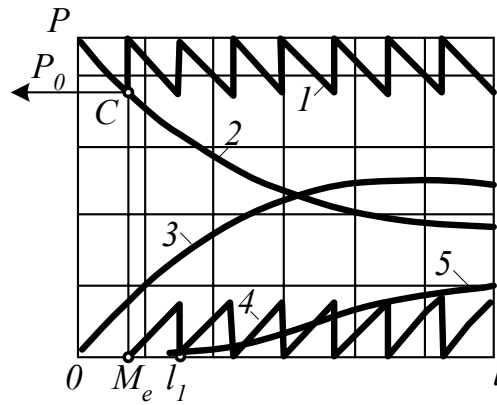


Рисунок 8.3 – Залежність періодичності ТО автомобіля від імовірності безвідмовної роботи:

1, 2 – імовірність безвідмовної роботи автомобіля з урахуванням і без урахування профілактики, відповідно; 3, 4 – імовірність виникнення однієї відмови автомобіля без урахування і з урахуванням профілактики, відповідно; 5 – імовірність виникнення двох відмов автомобіля без урахування профілактики

Аналогічне становище складається і при резервуванні, коли окремі елементи об'єднують в один складний і при цьому вважають, що він виходить з ладу за умови поломки всіх його складових елементів. Функція надійності такого елемента не буде експоненціальною навіть тоді, коли функції надійності окремих елементів експоненціальні. У подібних ситуаціях доцільно враховувати відхилення розподілу кількості відмов від закону Пуассона при оцінюванні надійності автомобіля.

Для цього треба спочатку визначити функцію $R_n(l, u)$, яка є ймовірністю не менш як n відмов у розглядуваному інтервалі пробігу для заданого агрегату автомобіля, що складається з K елементів:

$$R_n \approx H(n, a) + \varepsilon \delta^2 H(n, a), \quad (8.2)$$

де a – математичне сподівання (або середня кількість відмов).

Перший член виразу (8.2) є звичайним пуассонівським наближенням для шуканої ймовірності R_n . Другий член можна розглядати як поправку до пуассонівського наближення. Множник враховує відхилення дисперсії кількості відмов цього потоку від дисперсії відповідного пуассонівського потоку (дорівнює a).

Значення функцій $H(n, a)$ і $\delta^2 H(n, a)$ табульовані:

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(D - a),$$

де D – дисперсія кількості відмов у розглядуваному інтервалі пробігу $(u, u + l)$ (рис. 8.4).

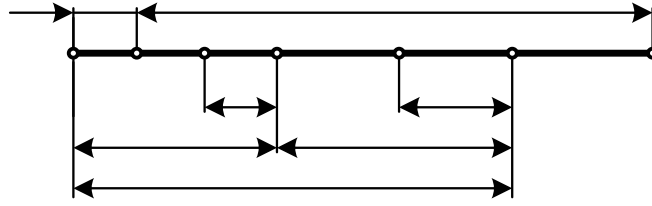


Рисунок 8.4 – Обчислення дисперсії кількості відмов

Множник ε наближено визначають за виразами:

– для суміжних елементів та елементів із поступовими відмовами:

$$\varepsilon(l, u) \approx -\frac{a^2(l, u)}{2K};$$

– для елементів із раптовими відмовами:

$$\varepsilon(l, u) \approx -\frac{a^2(l, u)}{2K} \left(\frac{\omega}{\omega(u)} - 1 \right),$$

де ω_0 , $\omega_1(u)$ – відповідно початкове і в інтервалі u значення параметра потоку відмов.

Після відшукування функцій $R_n(l, u)$ визначають характеристики експлуатаційної надійності і ненадійності:

$$P_0 = 1 - R_1;$$

$$R_n = R_n - R_{n+1}, \quad n > 0.$$

Періодичність ТО автомобіля в період припрацювання (враховуючи тривалість його) можна знайти, коректуючи періодичність для періоду нормальної експлуатації (порівнюючи параметри потоку відмов відповідних періодів).

Для періоду інтенсивного спрацювання автомобіля, коли функції $H(n, a)$ і $\delta^2 H(n, a)$ стають близькими до відповідних функцій при нормальному розподілі, характеристики експлуатаційної надійності і ненадійності агрегатів автомобіля треба визначати за такими формулами:

$$R_m \approx F\left(\frac{m-a}{\sqrt{a}}\right) + \frac{\varepsilon}{a} \varphi'\left(\frac{m-a}{\sqrt{a}}\right);$$

$$P_n \approx \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi \frac{n-a}{\sqrt{a}} + \frac{\varepsilon}{a\sqrt{a}} \varphi'' \frac{n-a}{\sqrt{a}};$$

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2},$$

де $F(x)$, $\varphi'(x)$ і $\varphi''(x)$ – відповідно інтервал від $-\infty$ до x , перша і друга похідні від функції $\varphi(x)$. Усі ці функції табульовані.

Розглянемо тепер питання про вплив кількості елементів в автомобілі (агрегаті) на близькість потоку відмов до пуассонівського потоку.

Для елементів автомобіля з раптовими відмовами досліджуваний потік можна вважати пуассонівським, якщо

$$K/a > 10(\omega_0/\bar{\omega} - 1) \text{ при } a \geq 1;$$

$$K/a > 10a(\omega_0/\bar{\omega} - 1) \text{ при } a < 1;$$

де $\bar{\omega}$ – усталене значення параметра потоку відмов.

Для складних елементів та елементів з поступовими відмовами потік відмов можна вважати пуассонівським, якщо

$$K/a > 10 \text{ при } a \geq 1;$$

$$K/a > 10a \text{ при } a < 1.$$

У решті випадків доцільно вводити поправки до відповідних пуассонівських наближень викладеними вище методами.

Метод визначення періодичності ТО за ймовірністю безвідмовної роботи простий і зручний для користування, оскільки параметр потоку відмов досить просто визначають із статистичної вибірки, а решта функцій табульована.

8.2.3 Імовірність справного стану

При оцінюванні надійності автомобіля з урахуванням відновлення не можна оперувати поняттям «імовірність безвідмовної роботи». Треба користуватися поняттям «імовірність справного або несправного стану автомобіля» протягом заданого інтервалу робочого часу.

Імовірність справного стану автомобіля $P(t)$ у довільний момент часу t для періоду нормальної експлуатації можна визначити за формулою

$$P(t) = K_r + (1 - K_r) \cdot e^{-\frac{t}{K_r T_q}},$$

де K_r , T_q – відповідно коефіцієнт готовності і час відновлення автомобіля.

Цей вираз дає змогу визначити характеристику експлуатаційної надійності автомобіля (рис. 8.5).

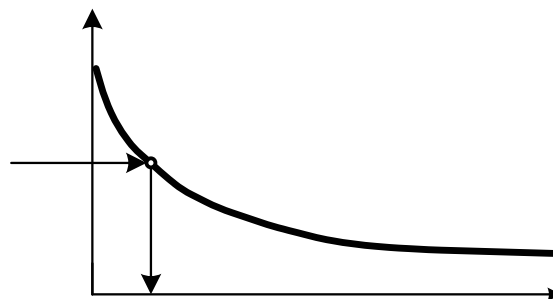


Рисунок 8.5 – Залежність періодичності ТО автомобіля від імовірності справного стану

Оскільки експлуатаційну надійність автомобіля з урахуванням профілактики оцінюють коефіцієнтом готовності K_r , оптимальну періодичність ТО визначають відрізком осі абсцис $0t_1$ – добутим у результаті перетину ординати (значення якої дорівнює прийнятому K_r) з віссю абсцис.

Визначення періодичності ТО за справного стану дуже трудомістке при проведенні експериментальних досліджень (додатково до збирання матеріалів з відмов треба робити хронометраж трудомісткості відновлення кожної відмови автомобіля). Тому його можна рекомендувати, в основному, для періодичного користування.

8.2.4 Середнє напрацювання на відмову

Для деяких агрегатів автомобіля, які безпосередньо не впливають на безпеку руху, періодичність їхньої профілактики можна визначити за середнім напрацюванням на відмову за формулою

$$\omega_{cp} = \lim_{l \rightarrow \infty} \bar{\omega}(l) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{1}{l} \int_0^l \omega(l_i) dl = \frac{1}{L}, \quad (8.3)$$

де $\bar{\omega}(l)$ – усереднений за пробіг параметр потоку відмов автомобіля.

Формула (8.3) справедлива для будь-якого закону розподілу пробігу безвідмовної роботи автомобілів, оскільки при її доведенні ніде не накладається ніяких обмежень на щільність розподілу пробігу безвідмовної роботи $f(l)$. З урахуванням того, що $L_{TO} \leq L$ (де L_{TO} – періодичність ТО автомобіля), вираз (8.3) дає змогу визначити періодичність ТО агрегатів автомобіля, що не впливають на безпеку його руху.

Визначення періодичності ТО автомобілів за середнім напрацюванням на відмову не становить особливих труднощів – для цього досить знати значення параметра потоку відмов. Проте застосування цього методу обмежене, оскільки він дає добрі результати тільки тоді, коли автомобіль має добре відпрацьовану конструкцію, в протилежному випадку не забезпечується його висока експлуатаційна надійність, що суперечить умові поставленого завдання.

8.2.5 Техніко-економічний метод

Критерієм для визначення періодичності ТО за техніко-економічним методом є економічна доцільність його виконання, що коректується технічними критеріями (безпекою руху, легкістю проведення технічного обслуговування і т. п.). Техніко-економічний метод (рис. 8.6) досить універсальний і враховує разом із економічними критеріями також і технічні. Його застосовують при обґрунтуванні режимів ТО автомобілів у нашій країні і за кордоном.

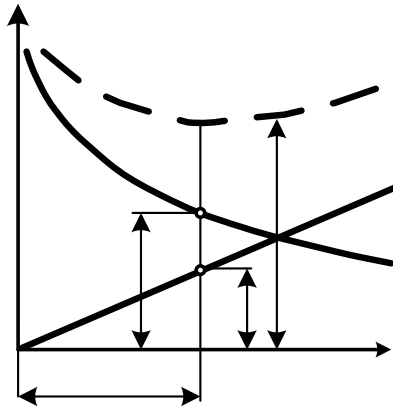


Рисунок 8.6 – Залежність витрат на ТО і ремонт автомобіля від періодичності їхнього виконання:

C_p – питома вартість ремонтних робіт; C_{TO} – питома вартість робіт з ТО автомобіля; $C_{TO,p}$ – сумарна питома вартість профілактичних і ремонтних робіт автомобіля; l_{opt} – оптимальна періодичність ТО автомобіля

8.2.6 Допустимий рівень безвідмовності

Метод визначення періодичності ТО за допустимим рівнем імовірності безвідмовної роботи ґрунтується на теорії імовірності та математичної статистики і враховує випадковий характер виникнення відмов автомобіля. Критерієм для визначення періодичності ТО є допустимий рівень імовірності безвідмовної роботи (рис. 8.7), установлений із технічних, економічних та інших міркувань. Рекомендуються рівні ймовірності 0,90...0,98 для елементів автомобіля, які створюють безпеку руху, для інших – 0,85...0,90.

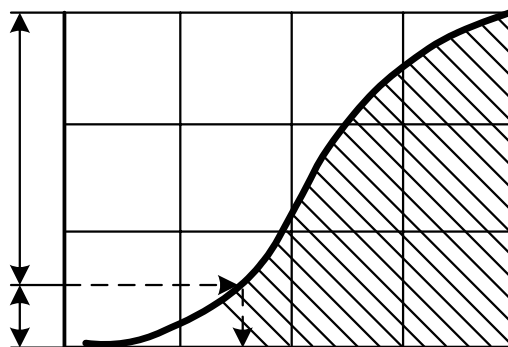


Рисунок 8.7 – Визначення періодичності ТО за допустимим рівнем імовірності:

I, II – випадки з фактичною періодичністю, що менша від ($q = 1 - P_q$ випадків) і більша від установленної (P_q випадків), відповідно

8.2.7 Економіко-імовірнісний метод

Визначення періодичності ТО за допомогою економіко-імовірнісного методу враховує водночас питання техніки, економіки і імовірнісний характер процесів. Його розглядають для найзагальнішого випадку, а саме для розширення номенклатури робіт ТО за рахунок застосування так званого примусового ремонту. Ця загальна постановка завдання охоплює й окремий випадок – визначення періодичності ТО за формулою

$$l_p \varphi(l_p) - q + \frac{\varphi(l_p)}{P} \int_{l_{\min}}^{l_p} l \varphi(l) dl = \frac{d}{c - d},$$

де l_p – періодичність ТО, км; q – імовірність передчасного ТО (від $l_{\min}$ до l_p на рис. 8.8); P – імовірність ТО з пробігом, який більший від установленного (від l_p до $l_{\max}$); d – витрати на одне ТО з періодичністю l_p ; c – фактичний рівень питомих витрат на ТО. Це рівняння дає змогу для будь-якого типу розподілу визначити періодичність ТО при відомих характеристиках розподілу і співвідношеннях витрат c і d .

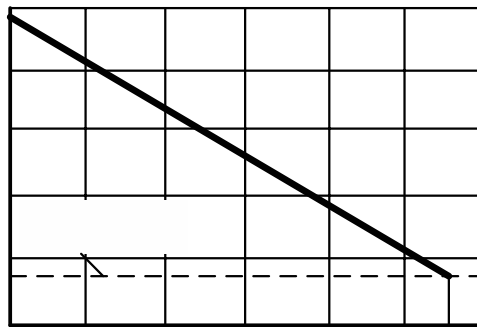


Рисунок 8.8 – Крива розсіювання фактичних пробігів до обслуговування

8.2.8 Параметр технічного стану

Суть методу визначення періодичності ТО за закономірністю зміни і допустимим значенням параметрів технічного стану автомобіля та його елементів полягає ось у чому. Припускають, що технічний стан автомобіля змінюється здебільшого досить плавно без різких стрибків і ця зміна може бути виражена залежно від часу або пробігу так званою раціональною функцією n -го порядку:

$$y = a_0 + a_1 l^1 + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_n l^n,$$

де y – параметр технічного стану; a_0 – початкове значення параметра технічного стану (при $l = 0$); l – пробіг; $a_1 \dots a_n$ – коефіцієнти, що визначають характер і ступінь залежності параметра y від пробігу або часу.

Знаючи закономірність зміни технічного стану $y = \psi(l)$ і допустиме значення параметра y_d , можна визначити оптимальну періодичність ТО l_0 графічно (рис. 8.9) або аналітично, підставивши у рівняння значення y_d :

$$y_d = a_0 + a_1 l_0 + a_2 l_0^2 + a_3 l_0^3 + \dots + a_n l_0^n.$$

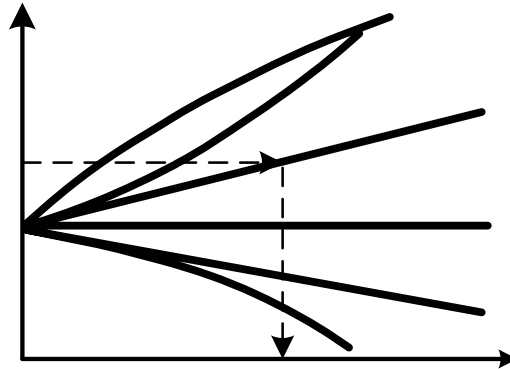


Рисунок 8.9 – Схема типових закономірностей зміни технічного стану елементів автомобіля

У разі прямолінійної залежності допустимого параметра

$$y_d = a_0 + a_1 l_0,$$

звідки періодичність ТО

$$l_0 = (y_d - a_0) / a_1.$$

Беручи до уваги, що для більшості елементів автомобіля тепер не визначений достовірний характер зміни їхнього технічного стану за часом або за пробігом і визначити y_d практично важко, застосування цього методу поки що обмежене і можливе тільки для деяких елементів автомобіля (гальмові накладки та ін). Однак у перспективі цей метод може стати одним із основних.

8.2.9 Найбільша продуктивність

Визначення періодичності ТО за найбільшою продуктивністю рухомого складу ґрунтується на припущенні, що зміна технічного стану автомобіля безпосередньо впливає на його продуктивність. Щоб відновити продуктивність, треба періодично на якийсь час зупиняти автомобіль на ТО і ремонт. За цей час автомобіль не виконає роботу A (рис. 2.10), пропорційну часу простою і невиконаному за цей час пробігу l' , а продуктивність буде відновлена з приростом B , що пропорційний l_0 : $B = b \cdot l_0$.

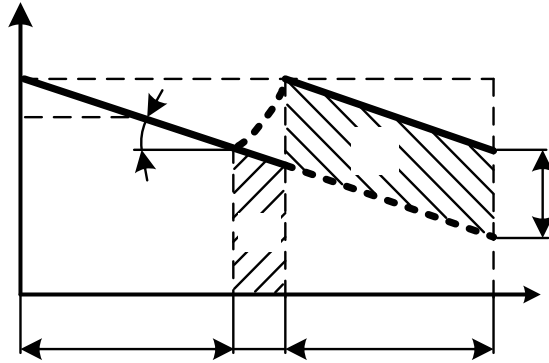


Рисунок 8.10 – Визначення періодичності ТО автомобіля з урахуванням продуктивності

Отже, при оптимальному режимі ТО приріст продуктивності B має дорівнювати або бути більшим від втрати продуктивності при простоях A . З урахуванням цих припущень періодичність l_0 (кілометрів або годин) визначають за формулою

$$l_0 = \sqrt{\frac{2l'N_e^M}{d_1}},$$

де l_0 – найвигідніша періодичність ТО; l' – тривалість простою в ТО або ремонті; N_e^M – максимальна ефективна потужність; d_1 – інтенсивність спадання потужності на кілометр пробігу або годину роботи двигуна.

Проте за час роботи автомобіля від одного ТО до іншого потужність змінюється мало і практично її визначити важко. Тому застосування описаного методу обмежене.

8.2.10 Зовнішній вигляд автомобіля. Створення безпеки руху

Використання як критерію оптимального зовнішнього вигляду автомобіля можливе для визначення періодичності проведення прибирально-мийних операцій, деяких кріпильних робіт, періодичності зміни мастильних матеріалів (без присадок) для двигунів (краплинна проба) при роботі в конкретних умовах експлуатації.

Визначення періодичності ТО для створення безпеки руху базується на суб'єктивному уявленні і дає лише орієнтовні результати. Цей метод має обмежене застосування.

До найважливіших нормативів технічного забезпечення транспортного процесу належить витрата запасних частин, експлуатаційних матеріалів, обмінного фонду агрегатів та ін. Ці нормативи використовують для планування робіт з ТО і ремонту автомобілів в автотранспортних і автообслуговуючих підприємствах.

9 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

9.1 Оцінювання впливу дорожніх і транспортних умов на швидкість руху машин

Мета роботи: навчитись визначати групу умов експлуатації та обчислювати границі зміни параметрів; дослідити вплив умов експлуатації на характер зміни середніх технічних швидкостей транспортних машин.

Теоретичні відомості

Основні теоретичні відомості щодо впливу дорожніх і транспортних умов на швидкість руху машин подані в 1 розділі даного навчального посібника.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) класифікацію дорожніх і транспортних умов;
- б) методику оцінювання впливу дорожніх і транспортних умов на швидкість руху транспортних машин;
- в) загальну методику класифікації дорожніх і транспортних умов;
- г) механізовані способи обліку роботи автомобіля.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) розрахунок впливу сумарного дорожнього опору, ступеня рівності дороги, інтенсивності руху автомобілів, середнього повздовжнього ухилу дороги і висоти над рівнем моря на швидкість руху транспортної машини згідно виданого викладачем варіанту;
- в) порядок вибору групи умов експлуатації, меж зміни параметрів та відносних коефіцієнтів зміни швидкостей;
- г) графіки отриманих залежностей та їх аналіз.

Контрольні запитання

- 1. Загальна характеристика дорожніх і транспортних умов експлуатації машин.
- 2. Вплив параметрів дорожніх і транспортних умов експлуатації машин на їх швидкість.
- 3. Поняття про порядок класифікації умов роботи транспортних машин.
- 4. Показники роботи транспортних машин та способи їх обліку.
- 5. Лічильник мотогодин та схема його підключення.

9.2 Нормування витрати палива транспортних машин

Мета роботи: дослідити вплив умов експлуатації на величину основних і додаткових норм витрати палива транспортних машин

Теоретичні відомості

При експлуатації автомобілів застосовуються різні види норм витрати палива і мастильних матеріалів (базова лінійна норма, норма на виконання транспортної роботи, норма на одну тону спорядженої маси, питомі норми в г/т·км і г/т, індивідуальні норми й ін.).

Нижче розглядаються різні моделі нормування. При розробці науково-обґрунтованих норм витрати палива варто виходити з такого рівняння:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C(G_0 + G_{np}) \cdot \psi + 0.077C \cdot kF \cdot V_a^2 \right] \text{ л/100 км, } (9.1)$$

де G_0 і G_{np} – вага порожнього автомобіля і причепа, Н; i_k – передаточні числа головної передачі і коробки передач; kF – фактор обтічності автомобіля, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; A , B , C – постійні для даного автомобіля коефіцієнти, η_i – індикаторний ККД двигуна ($3600/(H_n \cdot g_i)$), де H_n – нижча теплотворна спроможність палива, кДж/кг (для бензину – 44000, для дизельного палива – 43000); g_i – індикаторна витрата палива (дизелі – 220...240 г/кВт·год, карбюраторні двигуни – 330...350 г/кВт·год)).

Середнє передаточне число коробки передач i_k та середній сумарний опір ψ знаходимо шляхом їх вираження через середню технічну швидкість автомобіля V_a :

$$i_k = \frac{n_M}{n_N} \cdot i_{kn} \cdot \frac{V_{\max}}{V_a}, \quad (9.2)$$

$$\psi = 0.01 \cdot \frac{V_{\max}}{V_a}, \quad (9.3)$$

де $V_{\max}$ – максимальна швидкість автомобіля, км/г;

i_{kn} – передаточне число прямої (підвищеної) передачі;

n_M – число обертів двигуна при максимальному моменті;

n_N – число обертів двигуна при максимальній потужності.

Коефіцієнти A , B і C будуть мати такі вирази: $C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_n \cdot \eta_{\text{тр}}}$,

$$\text{для дизелів } A_0 = \frac{381 \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k}, \quad B_0 = \frac{11 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k^2}, \quad (9.4)$$

для карбюраторних двигунів $A_k = \frac{358 \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k}$, $B_k = \frac{9 \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k^2}$,

де V_h – об'єм циліндрів двигуна, л; S_n – хід поршня, м; i_0 – передаточне число головної передачі; ρ_n – густина палива, г/см³; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії; r_k – радіус колеса, м (для діагональних шин $r_k = 0.51 \cdot d_{ш} + 0.91 \cdot B_{ш}$, для радіальних шин $r_k \approx 0.52 \cdot d_{ш} + 0.93 \cdot B_{ш}$, де $d_{ш}$ – діаметр обода, $B_{ш}$ – ширина (висота) профілю).

З рівняння (9.1) неважко одержати формули для визначення основної і додаткової норм.

Основна норма H_0 , л/100 км, обчислюється за формулою

$$H_0 = \frac{1}{\eta_i} [A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot G_0 \cdot \psi + D \cdot V_a^2], \quad (9.5)$$

де D – постійний для даного автомобіля коефіцієнт ($0.077C \cdot kF$).

Додаткова норма на кожну тонну вантажу (10^4 Н), перевезеного на 100 км, обчислюється за формулою

$$H_{\partial} = \frac{10^4 C \cdot \psi}{\eta_i} = \frac{10^6}{\eta_i \cdot H_n \cdot \rho_n \cdot \eta_{тр}} \cdot \psi. \quad (9.6)$$

Для бензинових автомобілів – $H_{\partial} = (106 \dots 118) \cdot \psi$, для дизельних – $H_{\partial} = (62 \dots 65) \cdot \psi$.

З метою більш точного обліку атмосферно-кліматичних і гірських умов основну і додаткову норми варто помножити на величину, рівну добуткові $K_t \cdot K_h = (1 - 0.5 \cdot 10^{-2} t) \cdot (1 + 0.067 \cdot 10^{-3} h)$.

З урахуванням останніх залежностей основна норма витрати палива, л/100 км, для порожнього автомобіля визначається за формулою

$$H_0 = (K_1 / V_a + K_2 \cdot V_a^2), \quad (9.7)$$

де $K_1 = (A \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kn} + B \cdot K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot i_{kn}^2 + 0.01C \cdot G_a \cdot V_{\max}) / \eta_i$,

$K_2 = 0.077C \cdot kF / \eta_i$.

Додаткова норма на перевезення вантажу для карбюраторних автомобілів розраховується за формулою

$$H_{\partial} = (1.06 \dots 1.18) V_{\max} / V_a, \quad (9.8)$$

для дизельних

$$H_{\partial} = (0.62 \dots 0.65) V_{\max} / V_a. \quad (9.9)$$

Отримані рівняння враховують швидкість руху автомобіля, а, отже, дорожні і транспортні умови експлуатації. При наявності приведених вище розрахункових залежностей нормування витрати палива можна вести

індивідуально для кожного автомобіля з обліком фактичних середніх швидкостей. У цьому випадку відпадає необхідність установлювати середні норми для кожної групи умов експлуатації.

Основну і додаткову норми можна, у разі потреби, розрахувати для кожної групи умов експлуатації (за класифікацією приведеною в 1 розділі). Для цього варто установити по групах доріг середні (розрахункові) значення сумарного опору ψ і технічної швидкості V_a .

У табл. 9.1 приведені розрахункові дані для ЗІЛ-431410. Значення середніх швидкостей і сумарного опору дороги узяті з приведеної вище класифікації.

В остаточному вигляді аналітичне рівняння нормування витрати палива, що враховує дорожні, транспортні й атмосферно-кліматичні умови експлуатації вантажних автомобілів, буде мати такий вигляд:

$$H = 0.01(1 - 0.5 \cdot 10^{-2} t) \cdot (1 + 0.067 \cdot 10^{-3} h) \cdot \left[(K_1 + K_2 \cdot V_a^3) \cdot l_c + K_3 \cdot V_{\max} \cdot W \right] / V_a, \text{ л} \quad (9.10)$$

де t - температура навколишнього повітря (зі знаком "+" або "-" °C); h - висота над рівнем моря, м; K_3 - постійний для даного автомобіля коефіцієнт (1.06... 1.18 для карбюраторних двигунів і 0.62... 0.65 для дизельних); W - виконана транспортна робота, т·км.

Основні і додаткові норми повинні більш точно враховувати кліматичні умови. Зараз у зимовий час в Україні можна підвищувати норми до 15 %. На АТП їх часто встановлюють по "верхньому" рівню. Точність нормування можна істотно підвищити, якщо строго враховувати щоденну зміну температури навколишнього повітря.

Таблиця 9.1 – Розрахункові норми для ЗІЛ-431410

Група умов експлуатації	Розрахункові значення		Основна норма H_0 , л/100 км	Додаткова норма H_d , л/100 т·км	Витрата палива з вантажем H , л/100 км	Відносний коеф. K
	III	V_a , км/год				
1	0.016	54	24.13	1.8	28.2	1.0
2	0.020	43	26.15	2.2	31.1	1.1
3	0.025	34	30.35	2.8	36.6	1.3
4	0.030	29	34.38	3.3	41.8	1.5
5	0.034 і >	25 і <	39.07	3.8	47.6	1.7

На АТП крім лінійних норм розраховують і питомі норми витрати бензину і дизельного палива вантажних автомобілів, автобусів і легкових таксі. За питомою витратою палива можна досить глибоко аналізувати організацію транспортного процесу і вибрати найбільш економічний тип рухомого складу.

Нижче приведені основні залежності, що рекомендуються для розрахунку питомої витрати палива в л/т·км і г/т·км.

Для вантажних (відрядних) автомобілів

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + H_\partial \right), \text{ л/т·км.} \quad (9.11)$$

Якщо в останній вираз для визначення питомих норм витрати палива на одиницю транспортної роботи підставити приведені вище рівняння для H_0 і H_∂ , одержимо нову формулу для розрахунку питомих норм, л/т·км, для карбюраторних і дизельних автомобілів

$$Q_n = \frac{0.01K_t \cdot K_h}{V_a} \left(\frac{K_1 + K_2 \cdot V_a^3}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + K_3 \cdot V_{\max} \right), \text{ л/т·км.} \quad (9.12)$$

Остання формула враховує швидкість руху автомобіля. З формули випливає, що зі збільшенням швидкості руху питомі норми знижуються за законом гіперболи. В даний час при розрахунку питомих норм швидкість руху автомобіля не враховується.

Для автомобільних потягів, л/т·км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0 + H_\partial \cdot G_{np}}{q_{an} \cdot \gamma \cdot \beta} + H_\partial \right), \text{ л/т·км.} \quad (9.13)$$

де G_{np} – власна маса причепа (напівпричепа), т;

q_{an} – загальна вантажопідйомність автомобіля і причепа, т.

Для автомобілів-самоскидів, л/т км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \frac{H_0 + H_e \cdot Z_e}{q_c \cdot \gamma \cdot \beta}, \text{ л/т·км.} \quad (9.14)$$

де Z_e – число їздок автомобіля-самоскида з вантажем;

H_e – надбавка за кожну їзду самоскида (0.25 л).

Додаткова норма для автосамоскидів і самоскидних автопоїздів враховує маневрування при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт за одну їзду з вантажем.

При погодинній оплаті роботи вантажних автомобілів норма при погодинному обліку, л/100·км – $Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \cdot H_0 / (q \cdot \gamma \cdot \beta)$.

За аналогічними формулами визначають питому витрату палива пасажирських автомобілів.

Для автобусів (відрядних) так само, як і для вантажних автомобілів, можна установити основну норму порожнього автобуса і додаткову норму за перевезення пасажирів, л/пас·км, беручи середню масу пасажирів 75 кг:

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{q_a \cdot \gamma_{cp} \cdot \beta} + H_\partial \right), \quad (9.15)$$

де H_0 – основна норма для порожнього автобуса, л/100 км; q_a – пасажиромісткість автобуса, пас; γ_{cp} – середній коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса; β – коефіцієнт використання пробігу; H_∂ – додаткова норма за перевезення одного пасажирів на відстань 100 км, л/100 пас·км.

Середній коефіцієнт використання пасажиромісткості

$$\gamma_{cp} = \frac{Q_{cp}}{q_a} = \frac{N_n \cdot l_n}{q_n \cdot l_m}, \quad (9.16)$$

де N_n – загальна кількість перевезених автобусом пасажирів на даному маршруті, пас.; l_n – середня довжина поїздки пасажирів, км; l_m – загальна довжина маршруту, км.

Додаткова норма за перевезення одного пасажирів, л/100пас·км: для карбюраторних автобусів $H_\partial = (2 \cdot 75) / 1000 = 0.15$; для дизельних автобусів $H_\partial = (1.3 \cdot 75) / 1000 = 0.10$.

В останніх двох виразах цифри 2 і 1.3 означають додаткову норму за перевезення 1 т вантажу на 100 км (за діючими нормами), 75 – маса одного пасажирів, кг.

Така методика розрахунку питомих норм для автобусів на автотранспортних підприємствах поки не застосовується. У діючих нормах затверджена одна середня норма витрати палива на 100 км пробігу. Але при більш глибокому аналізі витрати палива і з метою удосконалення методики нормування варто розраховувати основну і додаткову норми для автобусів.

Для таксі питома норма витрати палива, л/100пас·км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \frac{H}{q_T \cdot \gamma_T \cdot \beta_T}, \quad (9.17)$$

де H – норма витрати палива, л/100 км; q_T – кількість місць у таксі, γ_T – коефіцієнт наповнення таксі, β_T – коефіцієнт платного пробігу.

Питома витрата палива на один платний кілометр, л/пл·км

$$Q_n = 0.01K_t \cdot K_h \cdot H / \beta_T, \quad (9.18)$$

На АТП питомі норми витрати палива виражаються звичайно в масових одиницях г/т·км, г/пас·км, г/пл·км. Для одержання масових одиниць необхідно питому витрату палива помножити на $1000 \cdot \rho_T$, де ρ_T – щільність палива, т/м³. Наприклад, якщо для карбюраторного автомобіля питома витрата палива, л/(т·км), складає 0.12, то в інших одиницях він дорівнює $1000 \cdot 0.74 \cdot 0.12 \approx 89$ г/(т·км).

Якщо питомі норми розраховуються для усього автопідприємства, варто брати середньозважені лінійні норми витрати палива з урахуванням планових значень коефіцієнтів використання вантажопідйомності і пробігів. Як видно з приведених раніше формул для розрахунку питомих

витрат палива, у першому доданку вантажопідйомність (пасажиромісткість), коефіцієнти використання вантажопідйомності (пасажиромісткості) і пробігу входять у знаменник. При їхньому збільшенні питома витрата палива зменшується за законом гіперболи. Практично вантажопідйомність автомобіля можна підвищити в 2...3 рази, застосовуючи автопоїзди. Варто прагнути до того, щоб коефіцієнт використання вантажопідйомності був більше одиниці, а коефіцієнт використання пробігу – більше 0.5 за рахунок завантаження автомобіля в зворотному напрямку. Практично підвищення даних коефіцієнтів на 1 % знижує питому витрату палива в середньому на 0.6... 0.8 г/(т·км).

При зміні вантажопідйомності вантажних автомобілів від 0.75 до 7.5т питомі норми витрати палива для карбюраторних автомобілів змінюються в межах 95 ... 340 г/(т·км), у дизельних автомобілях при зміні вантажопідйомності від 7 до 12 т – 55...65 г/(т·км).

Нормування витрати палива, г/т·км, має і негативні сторони – сприяє, наприклад, непрямому ростові тоннокілометрів за рахунок необґрунтованого збільшення відстані перевезень або приписок.

Можна також вести нормування витрати палива в грамах на тонну перевезеного вантажу (г/т). При цьому транспортна задача повинна формулюватися так: необхідно, щоб обсяг перевезень P_a прагнув до максимуму, а середня відстань перевезень дорівнювала або була менше визначеної величини ($l_{cp} \leq const$). При такій постановці задачі автопідприємства не будуть прагнути до штучного збільшення т·км.

Питома витрата палива в г/т дорівнює питомій витраті в г/(т·км), помноженій на середню відстань перевезень вантажів l_{cp} . За удосконаленою методикою нормування остання формула запишеться так:

$$Q_n = 10\rho_T \cdot t_{cp} \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{K_1 + K_2 \cdot V_a^3}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + K_3 \cdot V_{\max} \right), \text{ г/т.} \quad (9.19)$$

У цій формулі фігурує $t_{cp} = l_{cp} / V_a$. Це середній час доставки вантажу. Його необхідно розраховувати при плануванні автомобільних перевезень і витрати палива. Він також повинен бути рівним або менше визначеної величини ($t_{cp} \leq const$). Скорочувати час доставки вантажу – головна мета будь-якого виду транспорту. Користуючись питомими нормами, можна визначити річну, квартальну і місячну потреби палива для виконання встановленого плану перевезень.

З досвіду роботи різних автотранспортних підприємств випливає, що питома витрата палива на вантажних перевезеннях коливається в межах 70...100 г/(т·км), на пасажирських перевезеннях автобусами – 14...17 г/(пас·км), на перевезеннях легковими таксі – 110 ... 150 г/(пл·км). Питома витрата дизельного палива приблизно в 1.5 раза менше. Вона коливається в

межах 40...60 г/(т·км) для вантажних автомобілів і 10...12 г/(пас·км) для автобусів.

У перспективі цілком реально відмовитися від звичних середніх лінійних норм витрати палива, що переглядаються звичайно раз у кілька років. При наявності сучасного діагностичного устаткування можна періодично встановлювати індивідуальні норми для кожного автомобіля з обліком його фактичного технічного стану, кваліфікації водія й умов роботи.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику нормування витрати палива;
- б) методику формування моделей нормування витрати палива конкретної моделі автомобіля з урахуванням впливу умов експлуатації;
- в) методику розрахунку питомих витрат палива для різних типів транспортних машин та підприємства в цілому.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) розрахунок основної і додаткової норми витрати палива заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації;
- в) розрахунок питомих норм витрати палива заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації;
- г) аналіз виконаних розрахунків та порівняння величин розрахованих норм з діючими

Контрольні запитання

- 1. Види норм витрати палива і змащувальних матеріалів.
- 2. Як врахувати атмосферно-кліматичні і дорожні умови при встановленні норм витрати палива.
- 3. Як нормується витрата палива індивідуально для кожного автомобіля з врахуванням фактичних середніх швидкостей.
- 4. Як визначити основну і додаткову норми для кожної групи умов експлуатації.
- 5. Які параметри впливають на величину питомих норм витрати палива, з якою метою їх обчислюють на АТП?

9.3 Керування рухом транспортних машин за мінімумом витрати палива

Мета роботи: провести оптимізацію режимів руху транспортних машин за критерієм мінімуму витрати палива на заданому маршруті

Теоретичні відомості

Важливою практичною задачею на автомобільному транспорті є оптимальний вибір швидкості автомобіля, що рухається в різних дорожніх умовах. У цьому випадку необхідно затрачувану потужність двигуна і витрату палива виразити через швидкість руху автомобіля і коефіцієнт опору коченню. Потім шукається такий режим руху автомобіля і закон зміни швидкості автомобіля або потужності двигуна, що забезпечував би мінімум витрати палива на даному маршруті довжиною l_m за час t_p .

Розглянемо приклад керування рухом автомобіля за мінімумом витрати палива. Витрату палива, л, на маршруті довжиною l_m за час t_p

визначимо за допомогою інтеграла $Q = \int_0^T Q_1 \cdot dt$, де Q_1 – витрата палива,

л/год. Введемо в приведене вище рівняння витрати палива додатковий доданок сили, затрачуваної на розгін автомобіля $G_a \cdot \dot{V}_a / g$, і коефіцієнт сумарного опору рухові ψ , що враховує додатковий опір на дорогах з різним ступенем рівності

$$\psi = f_0 + \Delta_1 \cdot S^2 \cdot V_a / G_a + \Delta_2 \cdot S / G_a \pm i, \quad (9.20)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню на рівній дорозі; S – ступінь рівності покриття за поштовхоміром, см/км; Δ_1 і Δ_2 – постійні коефіцієнти для підвіски даного автомобіля.

З урахуванням цих доповнень рівняння витрати палива, л/100 км, у загальному вигляді запишеться

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left\{ A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \left[G_a \left(f_0 + \Delta_1 \cdot S^2 \cdot V_a / G_a + \Delta_2 \cdot S / G_a \pm i \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2 + G_a \cdot \dot{V}_a / g \right] \right\} \quad (9.21)$$

Годинна витрата палива $Q_i = 0.01 Q \cdot V_a$. У рівняння (9.21) входить індикаторний ККД, що змінюється в залежності від швидкості автомобіля. З метою спрощення розв'язування задачі приймаємо, що $\eta_i \approx \text{const}$. Увівши постійні коефіцієнти $K_1 \dots K_4$ і виразивши швидкість V_a через $\dot{l}$, в остаточному вигляді одержимо таке рівняння:

$$Q = K_1 \int_0^T \left(\dot{l} \cdot \dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3 \right) \cdot dt, \quad (9.22)$$

$$\text{де } K_1 = \frac{0.01C \cdot G_a}{g \cdot \eta_i},$$

$$K_2 = \frac{g}{C \cdot G_a} (A \cdot i_k + C \cdot G_a \cdot f_0 + C \cdot \Delta_2 \cdot S \pm C \cdot G_a \cdot i),$$

$$K_3 = \frac{g}{C \cdot G_a} (B \cdot i_k^2 + C \cdot \Delta_1 \cdot S^2), \quad K_4 = \frac{0.077g \cdot kF}{G_a}.$$

Коефіцієнти K_2 , K_3 у загальному випадку не можна вважати постійними величинами. Їх варто розглядати як функцію шляху l . Отримане рівняння є математичною моделлю оптимального керування швидкістю автомобіля.

Оптимальний закон руху автомобіля визначиться, якщо буде знайдена функція $l(t)$, що доставляє мінімум функціоналові:

$$l = \int_0^T (\ddot{l} \cdot \dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3) \cdot dt, \quad (9.23)$$

Обчислимо рівняння Ейлера-Пуасона для останнього функціонала при

$$F = \ddot{l} \cdot \dot{l} + K_2 \cdot \dot{l} + K_3 \cdot \dot{l}^2 + K_4 \cdot \dot{l}^3. \quad (9.24)$$

З останнього виразу випливає, що $F_l = 0$; $F_{\dot{l}} = \ddot{l} + K_2 + 2K_3 \cdot \dot{l} + 3K_4 \cdot \dot{l}^2$; $\frac{dF_{\dot{l}}}{dt} = \ddot{l} + 2K_3 \cdot \ddot{l} + 6K_4 \cdot \ddot{l} \cdot \dot{l}$; $F_{\ddot{l}} = \dot{l}$; $\frac{dF_{\ddot{l}}}{dt} = \ddot{l}$. Сума доданків, що входять у рівняння Ейлера-Пуасона, дорівнює: $0 - \ddot{l} - 2K_3 \cdot \ddot{l} - 6K_4 \cdot \ddot{l} \cdot \dot{l} + \ddot{l} = 0$. Звідси $\ddot{l} \cdot (2K_3 + 6K_4 \cdot \dot{l}) = 0$. Останнє рівняння розпадається на два: $\ddot{l} = 0$ і $(K_3 + 3K_4 \cdot \dot{l}) = 0$. З першого рівняння випливає, що $\dot{l} = \text{const}$, тобто швидкість повинна бути постійною величиною. Екстремальним режимом є рух автомобіля з постійною швидкістю. Цей висновок справедливий для будь-яких значень сили опору $K_2(l)$ – функції від поточного значення шляху (на підйомі, на спуску, на нерівній дорозі). Якщо $K_2(l)$ не є постійною величиною, то сталість швидкості руху автомобіля можна забезпечити, регулюючи потужність двигуна.

Проведені в ХНАДУ експерименти підтверджують теоретичний висновок, що найекономічнішим за витратою палива є режим руху автомобіля з постійною швидкістю. При всяких інших режимах руху при витримуванні однієї і тієї ж середньої швидкості витрата палива збільшується. Середній ефект оптимізації швидкісного режиму автомобіля коливається в межах 7...8 %. Ефективність оптимізації зростає зі збільшенням навантаження і погіршенням дорожніх умов.

На рис. 9.1 показані можливі режими руху при обмеженні за потужністю. Якщо опір дороги постійний, то швидкість на всьому маршруті буде також постійна (рис. 9.1 а). Якщо на інтервалі $t_1 - t_2$

внаслідок збільшеного опору рухові відбудеться зниження швидкості, то з метою скорочення попереднього значення інтервала треба збільшити швидкість на інших ділянках маршруту. Доцільно, наприклад, перед крутим підйомом завчасно збільшувати швидкість руху.

При розрахунку оптимального швидкісного режиму на даній дорозі її необхідно розбити на окремі ділянки і для кожної з них визначити оптимальну швидкість. Оптимальне керування може здійснюватися водієм при наявності режимних карт (для постійних маршрутів), активних дорожніх знаків, зумерів для сигналізації про перевищення установленної швидкості і т.д.

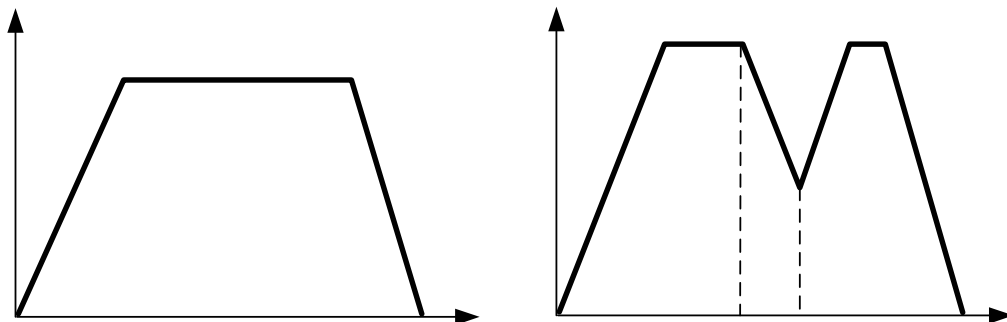


Рисунок 9.1 – Режими руху автомобіля

Автоматична реалізація режимів оптимального керування здійснюється всережимними або екстремальними регуляторами, що керують подачею палива в залежності від навантаження і дорожніх умов. У США випускаються автомобілі з аналогічними пристроями. При малій інтенсивності руху автомобілів на дорозі (менш 300 авт./ч) алгоритми керування рухом застосовні для одиночних автомобілів. При більш високій інтенсивності керування повинне здійснюватися всім потоком за допомогою автоматизованих систем.

Для того, щоб визначити конкретну швидкість руху, при якій витрата палива буде мати мінімальну величину, необхідно рівняння витрати палива в загальному вигляді про диференціювати за V_a і прирівняти до нуля.

Рівняння витрати палива на основі (9.1) у загальному вигляді записується в такий спосіб:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \left(\frac{D}{V_a} + E \cdot V_a^2 \right) \text{ л/100 км,} \quad (9.25)$$

де $D = K_c \cdot V_{\max} \cdot A + K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot B + 0.01 V_{\max} \cdot C \cdot G_a$; $E = 0.077 C \cdot kF$.

Якщо про диференціювати витрату палива за V_a і прирівняти її до

нуля, одержимо $Q = \frac{1}{\eta_i} \left(-\frac{D}{V_a^2} + 2E \cdot V_a \right) = 0$. Звідси $V_a = \sqrt[3]{\frac{0.5D}{E}}$.

Для автомобіля ЗІЛ-431410 коефіцієнти A , B , C відповідно рівні 0.85, 0.026 і 0.0035. Приймаємо, що $V_{\max} = 90$ км/год, фактор обтічності $kF = 2.41 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$, швидкісний коефіцієнт $K_c = 0.6$ і вага автомобіля $G_a = 80000 \text{ Н}$. Підставивши ці значення у вирази для D й E , одержимо $D = 373.7$ і $E = 6.49 \cdot 10^{-4}$. Швидкість, що відповідає мінімальній витраті палива,

$$V_a = \sqrt[3]{\frac{373.7 \cdot 10^4}{12.98}} = \sqrt[3]{28.8 \cdot 10^4} \approx 66 \text{ км/год.}$$

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику визначення витрати палива на маршруті;
- б) методику оптимізації режимів руху транспортних машин з врахуванням умов експлуатації.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) побудову математичної моделі швидкості руху заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації та визначення її оптимальної величини за критерієм мінімуму витрати палива;
- в) аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

1. Основні принципи вибору оптимальної швидкості автомобіля в різних дорожніх умовах за мінімумом витрати палива.
2. Способи автоматичної реалізації режимів оптимального керування.
3. Алгоритм пошуку оптимальної швидкості за критерієм мінімуму витрати палива для заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації.

9.4 Прогнозування ресурсу машин за зношенням основного вузла

Мета роботи: побудувати математичну модель визначення ресурсу основного вузла заданої транспортної машини і знайти оптимальні режими експлуатації цієї машини за критерієм максимуму ресурсу.

Теоретичні відомості

Найбільший вплив на довговічність машин мають дорожні і транспортні умови. Ці умови визначають режим роботи агрегатів автомобіля (діапазон навантажень і швидкостей, крутий момент, частоту обертання колінчастого вала, передаточні числа головної передачі та коробки передач, динамічні навантаження від нерівностей доріг і т.д.), від яких залежить зношування і працездатність окремих елементів автомобіля.

Знос двигуна при постійних частотах збільшується пропорційно середньому ефективному тиску. У випадку постійного навантаження – за ступеневою залежністю від частоти обертання колінчастого вала.

Знаючи знос двигуна γ в мг/хв, в залежності від середнього ефективного тиску P_e і частоти обертання колінчастого вала n , можна отримати аналітичний вираз зносу в мг/хв. та мг/км. Якщо сумарний знос двигуна розділити на знос в мг/км, отримуємо строк служби двигуна до капітального ремонту $L_{кр}$. В кінцевому вигляді вираз для визначення пробігу двигуна запишеться таким чином:

$$L_{кр} = \frac{0.0087 \cdot S_n \cdot D_{\psi} \cdot \rho_m \cdot X_{\psi} \cdot \delta_{\max} \cdot V_a}{0.5 \cdot 10^{-4} \frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} - 2.53 \cdot 10^{-7} \left(\frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} \right)^2 + 5.21 \cdot 10^{-10} \left(\frac{i_0 \cdot i_k \cdot V_a}{r_k} \right)^3 + \dots} \rightarrow \dots$$
$$\dots \rightarrow \frac{r_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{mp}} \left(G_a \cdot \psi + 0.077 kF \cdot V_a^2 \right) \quad \text{км}, \quad (9.26)$$

де S_n , D_{ψ} – хід поршня і діаметр циліндра;

ρ_m – густина металу, мг/мм³;

X_{ψ} – кількість циліндрів двигуна;

$\delta_{\max}$ – максимальне зношення циліндрів двигуна (0.33 ... 0.35 мм);

r_k – радіус кочення колеса, м;

V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

η_{mp} – ККД трансмісії автомобіля;

i_0 – передаточне число головної передачі;

G_a – вага автомобіля, Н.

На рис. 9.2 показані криві зміни терміну служби двигуна ЗІЛ-431410, побудовані за допомогою останнього виразу.

Найбільший термін служби двигуна ЗІЛ-431410 до капітального ремонту спостерігається при русі на прямій передачі зі швидкістю 50...60 км/год. Зі зменшенням середнього ефективного тиску (навантаження) термін служби двигуна збільшується.

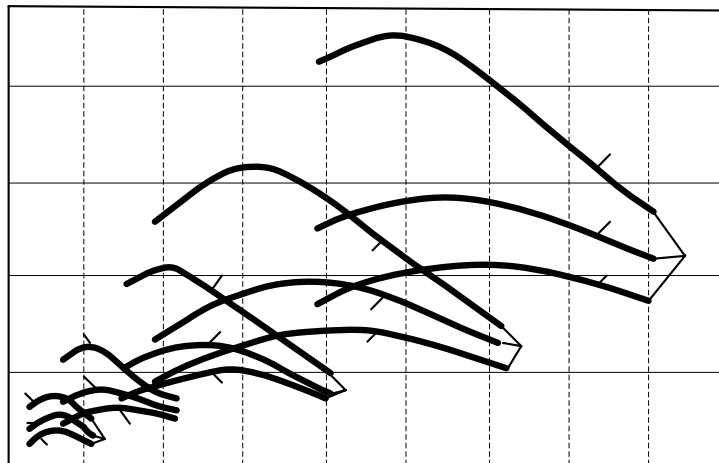


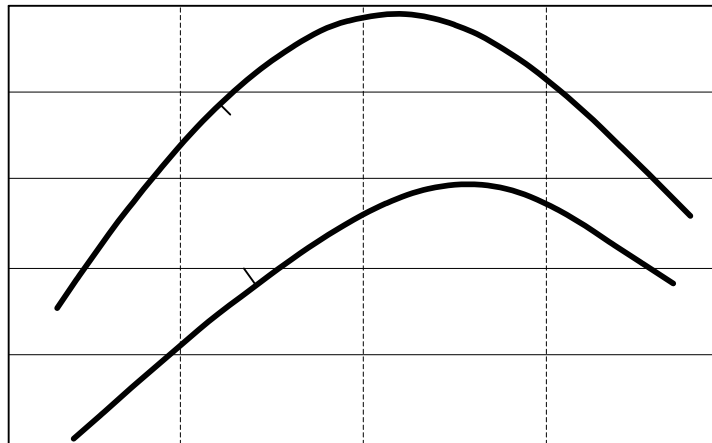
Рисунок 9.2 – Термін служби двигуна ЗІЛ-431410 в залежності від швидкості, передач (I, II, III, IV) і навантаження (1 - 200, 2 - 400, 3 - 600 кПа)

Якщо для ЗІЛ-431410 середнє передаточне число коробки передач i_k та середній сумарний опір ψ виразити через середню технічну швидкість і підставити в формулу (9.26), одержимо такий спрощений вираз

$$L_{кр} = \frac{1756 \cdot V_a}{(0,081 + 0,149 \cdot 10^{-5} G_a + 0,59 \cdot 10^{-6} V_a^3)}, \text{ км.} \quad (9.27)$$

На рис. 9.3 приведений графік, побудований за допомогою останньої формули для навантаженого (10,5 т) і порожнього (4,5 т) автомобілів.

З графіка видно, що максимальний пробіг для навантаженого (1) автомобіля спостерігається при 60 км/год, а для порожнього (2) при 50 км/год. При русі з більш високими середніми технічними швидкостями пробіг автомобіля до капремонту буде знижуватися. При середніх навантаженнях і при експлуатації автомобіля в гарних дорожніх умовах ($V_{cp} \approx 50...60$ км/год) пробіг автомобіля до капремонту складе приблизно 350 тис км.



400

350

Рисунок 9.3 – Пробіг автомобіля ЗІЛ-431410 при різних середніх технічних швидкостях

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику визначення ресурсу основного вузла транспортних машин;
- б) методику оптимізації режимів руху транспортних машин з врахуванням умов експлуатації за критерієм максимуму ресурсу.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) побудову математичної моделі визначення ресурсу основного вузла заданої транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації та графічне визначення оптимальних режимів експлуатації цієї машини за критерієм максимуму ресурсу;
- в) аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

1. Основні фактори, що впливають на ресурс транспортних машин.
2. Принципи вибору оптимальної швидкості транспортних машин в різних дорожніх умовах за максимумом ресурсу основного вузла.
3. Алгоритм пошуку оптимальної швидкості за критерієм максимуму ресурсу основного вузла для заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації.

9.5 Прогнозування ресурсу машин за енергетичними параметрами

Мета роботи: побудувати математичну модель визначення ресурсу транспортної машини за сумарною витратою палива, оцінити вплив умов експлуатації транспортної машини на її ресурс.

Теоретичні відомості

Вище був розглянутий метод розрахунку довговічності за зносом основного вузла двигуна – циліндро-поршневої групи. Нижче розглядається інший метод розрахунку, що враховує сумарну витрату палива. Цей метод у перспективі може одержати широке поширення в АТП. Витрата палива – енергетичний показник, що визначає витрати енергії на тертя в агрегатах автомобіля і на переміщення вантажу в конкретних умовах експлуатації.

В раніше виконаних дослідженнях встановлено, що пробіг автомобіля до КР $L_{кр}$ і витрата палива Q в основному залежать від середнього ефективного тиску P_e , що визначається масою автомобіля, його швидкістю, сумарним опором дороги й іншими конструктивними й експлуатаційними параметрами. Це дозволяє припустити, що при роботі автомобілів у даних дорожніх і транспортних умовах пробіг автомобіля можна оцінювати за сумарною витратою палива за даний період часу і, навпаки, знаючи загальний пробіг автомобіля в конкретних умовах експлуатації, можна досить точно прогнозувати сумарну витрату палива. На підставі виконаних досліджень можна вважати, що при роботі автомобіля в даних умовах експлуатації добуток його пробігу до капремонту на витрату палива є величина постійна, тобто $L_{кр} \cdot Q = const$.

Постійна величина може бути визначена, якщо відомий пробіг автомобіля і норма витрати палива, наприклад, у середніх дорожніх умовах. В загальному вигляді формула записується так

$$L_{cp} \cdot Q_{cp} / 100 = L_1 \cdot K_{\partial} (H_0 + H_{\partial} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta) / 100, \text{ л}, \quad (9.28)$$

де L_1 – пробіг до капремонту на дорозі 1 групи; K_{∂} – коефіцієнт коректування пробігу автомобіля (для середніх умов ~ 0.77), H_0 – основна норма для порожнього автомобіля в л/100 км, H_{∂} – додаткова норма в л/100 т-км, q , γ , β – відповідно номінальна вантажопідйомність і коефіцієнти використання вантажопідйомності і пробігу. Для ЗІЛ-431410 постійна величина для середніх умов роботи (3 група) обчислюється за формулою

$$\frac{L_{cp} \cdot Q_{cp}}{100} = \frac{350000 \cdot 0,77(30,35 + 2,8 \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 0,5)}{100} \approx 98,6 \cdot 10^3, \text{ л}.$$

У цій залежності $98,6 \cdot 10^3$ є сумарна витрата палива Q_c за весь пробіг автомобіля до капремонту.

Таким чином, постійна величина $const$ дорівнює $100 \cdot Q_c$ л, а добуток $L_{cp} \cdot Q_{cp} = 98.6 \cdot 10^5$.

В останній формулі пробіг до капремонту в середніх умовах експлуатації визначається множенням пробігу на дорозі 1 групи (350000 км) на коефіцієнт коректування (0.77) для цих умов. Коефіцієнти γ і β , відповідно, прийняті в середньому 0.75 і 0.5 Основна (H_0) і додаткова (H_d) норми узяті з табл. 9.1

У загальному вигляді пробіг автомобіля до капремонту з урахуванням атмосферно-кліматичних умов варто визначати за формулою

$$L_{кр} = \frac{100 \cdot Q_c}{(1 - 0,5 \cdot 10^{-2} t) \cdot (1 + 0,067 \cdot 10^{-3} h) \cdot (H_0 + H_d \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta)}, \text{ км} \quad (9.29)$$

де Q_c – сумарна витрата палива в л.

Сумарна витрата палива для різних автомобілів складає ЗІЛ-431410 – $98.6 \cdot 10^3$ л; КамАЗ-5320 – $65 \cdot 10^3$ л; КрАЗ-260 – $88 \cdot 10^3$ л; МАЗ-500 – $50 \cdot 10^3$ л і т.д.

Якщо для кожної групи доріг відомі норми витрати палива, то можна, користаючись останньою формулою, обчислити пробіги ЗІЛ-431410 до КР для різних дорожніх умов (табл. 9.2).

Таблиця 9.2 – Результати розрахунків

Група доріг	Витрата палива, л/100 км (при $\beta = 0.5$, $\gamma = 0.75$)	Пробіг до КР, тис. км	Відносні коефіцієнти	
			з розрахунку	з "Положення-84"
1	28.2	349.8	1.0	1.0
2	31.1	317.2	0.90	0.9
3	36.6	269.5	0.77	0.8 ... 0.7
4	41.8	236.0	0.67	0.7 ... 0.6
5	47.6	207.2	0.59	0.6 ... 0.5

З отриманих даних випливає важливий висновок, що коефіцієнти коректування пробігів до КР і періодичності ТО можна визначити, знаючи пробіги до капремонту чи витрату палива. Для цього необхідно, наприклад, норму витрати палива для доріг 1-ї групи розділити на норму витрати палива для іншої групи умов експлуатації. Так, для умов 3-ї групи відносний коефіцієнт буде $28.2 : 36.6 = 0.77$, а для 5-ї групи 0.59.

Відносні коефіцієнти коректування витрати запасних частин є зворотна величина відносних коефіцієнтів і їх можна визначити діленням норми витрати палива на даній дорозі на норму витрати палива для доріг 1-ї групи. Наприклад, для умов 2-ї групи цей коефіцієнт буде $31.1 : 28.2 = 1.1$, для 5-ї групи 0.68.

З табл. 9.2 видно, що розрахункові дані за викладеною методикою досить близькі до даних, приведених у "Положенні про технічне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту" (1984 р.).

Розробка досить точних моделей, що відбивають зміну ресурсів агрегатів автомобілів у різних умовах експлуатації, є найважливішою науковою і практичною задачею. Тому що тривалі експериментальні дослідження зміни ресурсів при стабільних умовах експлуатації практично неможливі, то необхідно розробляти аналітичні методи.

Пропонований аналітичний метод розрахунку розглянемо на прикладі визначення терміну служби автомобіля ЗІЛ-431410 до капітального ремонту при різних навантаженнях, дорожніх умовах, середніх технічних швидкостях руху, температурах навколишнього повітря і висотах над рівнем моря (тиску повітря).

При аналізі впливу швидкостей руху на ресурс автомобіля беремо усталені (задані) швидкості при визначених передаточних числах і середні технічні при різних середньозважених передаточних числах.

У першому випадку пробіг автомобіля $L_{кр}$ при нормальних атмосферних умовах визначається за формулою

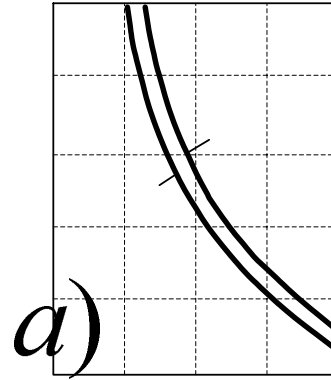
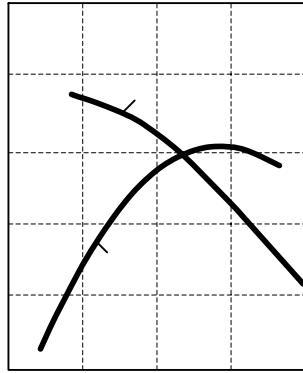
$$L_{кр} = \frac{98,6 \cdot 10^5 \eta_i}{\left(0,85 \cdot i_k + 0,026 \cdot i_k^2 \cdot V_a + 0,0035 \cdot G_a \cdot \psi + 0,00065 V_a^2\right)} \text{ км.}$$

При зміні швидкостей у діапазоні 30...40 км/год i_k можна брати рівним 1.47 (четверта передача), а при великих швидкостях $i_k = 1$ (пряма передача). З рис. 9.4 а видно, що при збільшенні швидкостей V_a від 30 до 90 км/год (крива 1) пробіг автомобіля знижується з 337 тис. до 216 тис. км. Зниження пробігу зі збільшенням швидкостей руху пояснюється різким зростанням навантаження двигуна на подолання опору повітря і сумарного опору дороги.

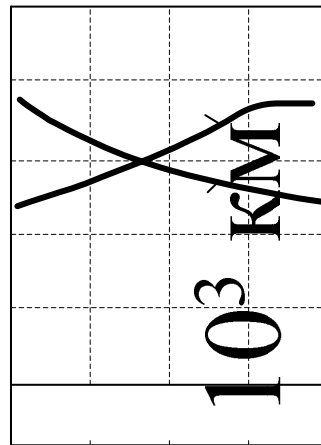
В другому випадку i_k і ψ приймаємо не постійними величинами, а змінними і визначаємо за формулами $i_k = 0.6 V_{\max} / V_a$ і $\psi = 0.01 V_{\max} / V_a$.

$$\text{Тоді } L_{кр} = 98,6 \cdot 10^5 \eta_i / \left(436,7 / V_a + 0,00065 \cdot V_a^2\right) \text{ км.}$$

Вага автомобіля в обох випадках вважається рівною 100000 Н, а $\eta_i = 0.3$. Характер зміни пробігу двигуна від середньої технічної швидкості V_a різко змінюється (крива 2): при збільшенні середньої швидкості від 20 до 60 км/год пробіг зростає до 318 тис. км, а потім трохи знижується. Найбільший пробіг спостерігається при 55...60 км/год. Збільшення пробігу зі зростанням середніх технічних швидкостей пояснюється поліпшенням дорожніх умов і зниженням передаточних чисел коробки передач. При швидкостях, більших ніж 60 км/год, різко підвищується опір повітряного середовища, зростає навантаження на двигун і тому знос двигуна збільшується, а термін його служби скорочується на 10...15 %.



$G_a \cdot \psi, 10^3 \text{ Н}$
400



350

300

$L_{кр}, \text{ км}$
250
200
150
100
30

Рисунок 9.4 – Графіки залежностей пробігу автомобіля $L_{кр}$ від:
а) сталої V_a (1) і середньої технічної швидкостей руху V_a (2); б) ваги автомобіля і дорожніх умов при $V_a = 30 \text{ км/год}$ (1) і 50 км/год (2);
в) температури t навколишнього повітря (1) і висоти h над рівнем моря (2)

Розглянемо вплив ваги автомобіля і сумарного опору дороги. Сила, затрачувана на переміщення автомобіля вагою G_a по дорозі із сумарним опором ψ , визначається добутком $G_a \cdot \psi$, що для ЗІЛ-431410 може змінюватися в межах $1000 \dots 4000 \text{ Н}$. З приведених вище формул видно, що між пробігом і силою $G_a \cdot \psi$ існує гіперболічна залежність. Зі збільшенням ваги автомобіля і погіршенням дорожніх умов пробіг двигуна зменшується майже в 2.5 раза (рис. 9.4 б). При більш високих середніх технічних швидкостях (у кращих дорожніх умовах) пробіг буде на 13...15 % вищий.

Атмосферно-кліматичні умови також значно впливають на термін служби двигунів. При низькій температурі повітря переохолоджується

30
10
30
 V_a

двигун, підвищується в'язкість палива, стає густим мастило, а олива змивається зі стінок циліндрів рідким паливом, що не випарувалося. При охолодженні стінок циліндрів від 80° до 40°C знос різко збільшується.

Загальний коефіцієнт, що враховує вплив температури і тиску повітря на роботу двигуна і витрата палива, визначається за приведеними вище формулами.

На рис. 9.4 в показані графіки, побудовані за результатами розрахунків зміни пробігу автомобіля ЗІЛ-431410 при різних температурах і висотах над рівнем моря. При розрахунку приймалися: $G_a \cdot \psi = 1500$ Н, середня технічна швидкість 50 км/год и $\eta_i = 0.3$. Розрахункова формула в загальному вигляді записується так:

$$L_{kp} = \left(\frac{328 \cdot 10^3}{(1 - 0,5 \cdot 10^{-2} t) \cdot (1 + 0,067 \cdot 10^{-3} h)} \right), \text{ км.}$$

При зниженні температури повітря до -45°C пробіг автомобіля зменшується з 340 до 275 тис. км.. Зі збільшенням висоти над рівнем моря до 4000 м пробіг знижується до 270 тис. км.

Аналогічним образом за витратою палива можна обчислювати пробіги й інші агрегати (елементів, вузлів, деталей). Наприклад, пробіг шин з урахуванням умов експлуатації визначиться за приведеною вище формулою

$$L_{ш} \cdot H_n = 100 \cdot Q_c, \text{ км,} \quad (9.30)$$

де $L_{ш}$ – пробіг автомобільних шин у даних умовах експлуатації;

H_n – норма витрати палива в л/100 км для цих умов.

Для шин 260-508Р (радіальні з металокордом), установлюваних на ЗІЛ-431410, середній термін служби можна прийняти 90 тис. км. Норма витрати палива для середніх умов $H_n = 36.6$ л/100 км. Добуток $L_{ш} \cdot H_n = 90 \cdot 10^3 \cdot 36.6 \approx 33 \cdot 10^5$.

Тоді

$$L_{ш} = \left(\frac{33 \cdot 10^5 \cdot \eta_i}{(0,85 \cdot i_k + 0,026 \cdot i_k^2 \cdot V_a + 0,0035 \cdot G_a \cdot \psi + 0,00065 \cdot V_a^2)} \right) \text{ км.}$$

Підставивши чисельні значення витрати палива для 1...5 груп доріг (табл. 9.1), одержимо такі пробіги шин для різних дорожніх і транспортних умов: 1 група – 117; 2 група – 106; 3 група – 90; 4 група – 79 і 5 група – 69 тис. км. Якщо прийняти відносний пробіг для 3 групи умов експлуатації за одиницю, то для 1 групи він складе 1.3, а для п'ятої – 0.76. Ці цифри досить точно погоджуються з діючими нормами пробігу шин. У них передбачається зниження пробігу до 30 % при роботі "в особливо тяжких умовах" і підвищення на 30 % при роботі "в особливо сприятливих умовах".

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику визначення ресурсу агрегатів, вузлів і деталей транспортних машин за енергетичними параметрами;
- б) методику оптимізації режимів руху транспортних машин з врахуванням умов експлуатації за критерієм максимуму ресурсу.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) побудову математичних моделей визначення ресурсу заданої транспортної машини за енергетичними параметрами з урахуванням впливу умов експлуатації та графічне визначення оптимальних режимів експлуатації цієї машини за критерієм максимуму ресурсу;
- в) аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

- 1. Основні фактори, що впливають на ресурс транспортних машин.
- 2. Принципи вибору оптимальних режимів експлуатації транспортних машин за енергетичними параметрами.
- 3. Алгоритм пошуку оптимальних режимів за критерієм максимуму ресурсу для заданої марки транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації.
- 4. Як впливає величина усталеної швидкості та середньої технічної швидкості руху на ресурс транспортної машини?
- 5. Як впливає величина ваги автомобіля і сумарного опору дороги на ресурс транспортної машини?
- 6. Як впливають атмосферно-кліматичні умови та висота над рівнем моря на ресурс транспортної машини?

9.6 Вибір періодичності технічних впливів за енергетичними параметрами

Мета роботи: проаналізувати вплив умов експлуатації на вибір періодичності технічного обслуговування і ремонту транспортної машини за сумарною витратою палива.

Теоретичні відомості

За витратою палива можна також прогнозувати періодичності технічних впливів при експлуатації автомобілів у різних дорожніх і транспортних умовах. Більшість автомобілів протягом дня, тижня і місяця експлуатуються в різних дорожніх умовах з різними швидкостями і навантаженнями. Тому визначити періодичність впливу в кілометрах для кожного автомобіля практично неможливо, а усереднення пробігів приводить до грубих помилок.

Періодичності впливів можна визначити, виходячи з існуючих нормативів. Оскільки періодичності впливів щодо пробігу задані для першої категорії умов експлуатації, а діючі норми витрати палива – для середніх умов, необхідно привести їх до однієї категорії. Дані нормативи зручніше приводити до середніх умов.

У цьому випадку сумарна витрата палива за пробіг між впливами визначиться за формулою

$$Q_c = 0,01 \cdot 0,77 \cdot l_{B_1} \cdot Q_{cp} = 0,0077 \cdot l_{B_1} \cdot Q_{cp}, \text{ л}, \quad (9.31)$$

де 0.77 – коефіцієнт коректування періодичності для середніх умов експлуатації; l_{B_1} – періодичність даного впливу для першої категорії умов експлуатації, км; Q_{cp} – витрата палива в л/100 км для середніх умов експлуатації (лінійна норма витрати палива за діючою методикою нормування).

Для всіх вантажних автомобілів (базових моделей і самоскидів) сумарна витрата палива за пробіг до капітального ремонту в середніх умовах експлуатації буде дорівнювати

$$Q_{cp} = 0,0077 \cdot l_{кр} \cdot (H_0 + H_\partial \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta), \text{ л}, \quad (9.32)$$

де H_0 – основна норма витрати палива для порожнього автомобіля, л/100 км; H_∂ – додаткова норма витрати палива, л/100 т-км, q – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т; γ і β – коефіцієнти використання відповідно вантажопідйомності і пробігу.

Аналогічно визначаються періодичності за сумарною витратою палива між впливами ОР-1 і ОР-2

$$\begin{aligned} Q_{cOP-1} &= 0,0077 \cdot l_{OP-1} (H_0 + H_\partial \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta), \text{ л} \\ Q_{cOP-2} &= 0,0077 \cdot l_{OP-2} (H_0 + H_\partial \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta), \text{ л} \end{aligned} \quad (9.33)$$

де l_{OP-2} і l_{OP-1} – періодичності ОР-2 і ОР-1 (рівні відповідно періодичностям ТО-2 і ТО-1 за рекомендаціями заводів-виготовлювачів) для першої категорії умов експлуатації, км.

Для автомобіля ЗІЛ-431410 (при середніх статистичних значеннях коефіцієнтів $\gamma = 0.75$ і $\beta = 0.5$):

$$\text{для } l_{KP} \rightarrow Q_{CKP} = 0,0077 \cdot 350000(30,35 + 2,8 \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 0,5) \approx 98,6 \cdot 10^3 \text{ л,}$$

$$\text{для } l_{OP-2} \rightarrow Q_{COP-2} = 0,0077 \cdot 16000(30,35 + 2,8 \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 0,5) \approx 4,51 \cdot 10^3 \text{ л,}$$

$$\text{для } l_{OP-1} \rightarrow Q_{COP-1} = 0,0077 \cdot 4000(30,35 + 2,8 \cdot 6 \cdot 0,75 \cdot 0,5) \approx 1,12 \cdot 10^3 \text{ л.}$$

Для автобусів і легкових автомобілів.

$$Q_{CKP(OP)} = 0,0077 \cdot l_{KP(OP)} \cdot H_{cp}, \text{ л,} \quad (9.34)$$

Для автобуса Ікарус-280:

$$l_{KP} \rightarrow Q_{CKP} = 0,0077 \cdot 350000 \cdot 43 = 119,2 \cdot 10^3 \text{ л,}$$

$$l_{OP-2} \rightarrow Q_{COP-2} = 0,0077 \cdot 16000 \cdot 43 = 5,29 \cdot 10^3 \text{ л,}$$

$$l_{OP-1} \rightarrow Q_{COP-1} = 0,0077 \cdot 4000 \cdot 43 = 1,32 \cdot 10^3 \text{ л.}$$

Технічні впливи повинні виконуватись після досягнення автомобілем відповідних значень витрати палива.

На рис. 9.5 показана зміна пробігів автомобіля ЗІЛ-431410 до капремонту, ОР-2 і ОР-1 в залежності від витрати палива. Як видно з графіка, пробіги до окремих технічних впливів змінюються в 1.5... 2.0 рази в залежності від дорожніх і транспортних умов експлуатації (легкі умови 25...27, важкі – 50...55 л/100 км).

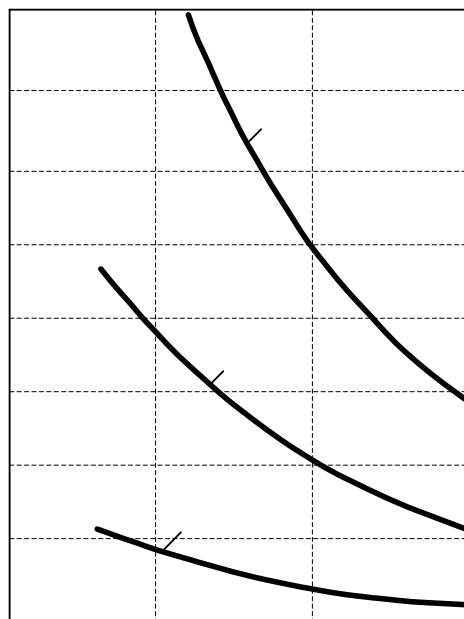


Рисунок 9.5 – Вплив умов експлуатації на періодичність ТО і ремонту транспортних машин

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- а) методику визначення періодичності технічного обслуговування і ремонту транспортних машин за енергетичними параметрами;
- б) вплив умов експлуатації на зміну періодичності ТО і ремонту транспортних машин за сумарною витратою палива.

2. Записати :

- а) вихідні дані;
- б) порядок розрахунку періодичності ТО і ремонту заданої транспортної машини з урахуванням впливу умов експлуатації;
- в) графічне відображення результатів розрахунку, їх аналіз та висновки.

Контрольні запитання

- 1. Основні фактори, що впливають на зміну періодичності технічних впливів транспортних машин.
- 2. Принципи вибору періодичності ТО і ремонту транспортних машин за сумарною витратою палива.
- 3. Як визначити періодичність технічних впливів за енергетичними параметрами для вантажних автомобілів?
- 4. Як визначити періодичність технічних впливів за енергетичними параметрами для легкових автомобілів і автобусів?

9.7 Керування собівартістю транспортної роботи

Мета роботи: сформулювати модель собівартості роботи транспортної машини та проаналізувати вплив умов експлуатації машини на собівартість транспортної продукції.

Теоретичні відомості

Калькуляція собівартості являє собою визначення витрат за статтями собівартості.

Об'єктом калькулювання є продукція чи послуги, собівартість яких обчислюється.

Калькуляційною є одиниця кількісного вимірювання продукції (штуки, тонни, метри тощо).

Розглянемо більш докладно, як складають калькуляцію собівартості транспортної продукції за методикою проф. М.Я. Говорущенко.

Для більш глибокого аналізу впливу умов експлуатації на вартість транспортної роботи необхідно вміти досить точно розраховувати та аналізувати окремі складові затрат при роботі транспортних засобів при різних дорожніх, транспортних та атмосферно-кліматичних умовах.

Формулу собівартості в загальному вигляді можна записати так:

$$C_{mn} = (C_z + C_{nm} + C_{ш} + C_{TP} + C_a + C_n + C_d + C_e) \text{ коп./т·км}, \quad (9.35)$$

де C_z – затрати на заробітну плату водіїв;

C_{nm} – затрати на паливо, мастильні матеріали;

$C_{ш}$ – затрати на шини;

C_{TP} – затрати на технічне обслуговування та ремонт автомобілів;

C_a – амортизаційні відрахування;

C_n – накладні витрати;

C_d – дорожня складова;

C_e – екологічна складова.

Затрати на заробітну плату водіїв розраховуються за єдиними нормами та розцінками за 1 т вантажу та 1 т·км, які враховують час простою під навантаженням і розвантаженням та швидкість руху автомобіля (погодинні норми пробігу).

Відрядні розцінки за тонну перевезеного вантажу (коп./т) та за 1 т·км (коп./т·км) визначаються відповідно за формулами

$$C'_z = \frac{T_m \cdot t_{np}}{q \cdot \gamma} \text{ коп./т}, \quad C''_z = \frac{T_m \cdot (60 + t_{nz})}{V_a \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т·км}, \quad (9.36)$$

де T_m – хвилинна тарифна ставка водіїв 3-го класу автомобіля даної групи на відрядних роботах, коп./хв.;

t_{np} – регламентний за прейскурантом час простою під навантаженням та розвантаженням на одну їздку з вантажем, хв.;

t_{nz} – підготовчо-кінцевий час (2,5 хв. за 1 год. роботи);

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності для даного класу вантажу;

β – коефіцієнт використання пробігу;

q – вантажопідйомність автомобіля, т;

V_a – розрахункова норма пробігу автомобіля (середня технічна швидкість для відповідної групи доріг, км/год.);

60 – розрахунковий час руху, хв.

Норма часу простою вантажного автомобіля ($q = 6$ т) при ручному способі навантаження приймається 8,58 хв./т. Час простою на повну вантажопідйомність автомобіля визначається множенням норми часу на 1 т вантажу на вантажопідйомність автомобіля ($8,58 \cdot 6 = 51,5$ хв.).

Норма часу простою автомобіля-самоскида при навантаженні екскаватором або іншою навантажувальною машиною для автомобіля з $q = 6$ т складає приблизно 3 хв./т. Відрядні розцінки за нормами для бортового автомобіля складають 8,52 коп./т, для самоскида 3.29 коп./т.

Встановлені норми часу та відрядні розцінки на 1 т·км для груп автомобілів (бортові автомобілі загального призначення; спеціалізовані та спеціальні автомобілі; автомобілі комунального призначення для перевезення вантажів, що чинять шкідливу дію на організм водія) і відповідно складають: 59.6 коп./год., 65.9 коп./год. та 72.9 коп./год. Тарифні ставки водіїв 2-го класу підвищуються на 10 %, 1-го класу на 25%.

Сумарна заробітна плата водіїв, віднесена до 1 т·км, визначається за формулою

$$C_3 = 1.25 \left(\frac{C'_3}{l_{\theta}} + C''_3 \right) \approx \frac{1.25 \cdot T_m}{q \cdot \gamma} \left(\frac{t_{np}}{l_{iv}} + \frac{60 + t_{nz}}{V_a \cdot \beta} \right) \text{ коп./т·км}, \quad (9.37)$$

де 1,25 – коефіцієнт, що враховує різні доплати та нарахування;

l_{iv} – довжина їздки з вантажем, км.

Затрати на автомобільне паливо та мастильні матеріали на один т·км можна розрахувати за формулою

$$C_{nm} = 1,1 C_n \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{100 \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} + \frac{H_d}{100} \right) \text{ коп./т·км}, \quad (9.38)$$

де C_n – вартість 1 л палива, коп.;

1,1 – коефіцієнт, що враховує затрати на мастильні матеріали та гаражну витрату палива;

K_t і K_h – коефіцієнти, що враховують атмосферно-кліматичні умови;

H_0 – основна норма витрати палива для порожнього автомобіля, л/100 км;

H_{∂} – додаткова норма, л/100 т·км.

В закінченому вигляді собівартість за витратою палива запишеться так:

$$C_{nm} = \frac{0,011 C_n (1 - 0,05 \cdot 10^{-2} t) \cdot (1 + 0,067 \cdot 10^{-3} h)}{\eta_i} \times \left(\frac{A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot G_o \cdot \psi + 0,077 C \cdot kF \cdot V_a^2}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + 10^4 C \cdot \psi \right) \text{ коп./т} \cdot \text{км.} \quad (9.39)$$

Затрати на відновлення та ремонт шин можуть бути визначені за формулою

$$C_{ш} = 0,92 \cdot 10^2 \frac{C_{ш} \cdot n_{ш}}{l_{ш} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т} \cdot \text{км}, \quad (9.40)$$

де $C_{ш}$ – ціна однієї шини, грн.;

$n_{ш}$ – число однотипних комплектів шин (без врахування запасних);

$l_{ш}$ – пробіг шин в даних дорожніх умовах, км;

0,92 – коефіцієнт, що враховує збільшення пробігу шин після ремонту на 25% та витрати на ремонт шин, що складають біля 15% вартості нових шин (1,15:1,25).

На пробіг шин здійснюють вплив дорожні та транспортні умови, швидкість руху, навантаження, температура та інші фактори. Величину пробігу шин можна визначити із загальної формули, що враховує витрату палива:

$$l_{ш} \cdot H_n = \Omega_{ш} = 100 Q_c \text{ л}, \quad (9.41)$$

де $\Omega_{ш}$ – постійна для даної шини величина, пропорційна сумарній витраті палива Q_c в л;

H_n – витрата палива в л/100 км.

Складова собівартості з врахуванням останньої формули запишеться так:

$$C_{ш} = 0,92 \cdot 10^2 \frac{C_{ш} \cdot n_{ш} \cdot H_n}{\Omega_{ш} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т} \cdot \text{км}. \quad (9.42)$$

З останньої залежності випливає, що затрати на шини будуть зростати пропорційно збільшенню витрати палива.

Затрати на технічне обслуговування та ремонт автомобілів в коп./т·км визначаються за формулою

$$C_{TP} = \frac{100}{q \cdot \gamma \cdot \beta} \left(\frac{C_{ЩО}}{l_{сд}} + \frac{(N_{ТО-1} \cdot C_{ТО-1} + N_{ТО-2} \cdot C_{ТО-2}) K_{\partial}}{L_p} + \frac{C_{ПР} \cdot K_{\partial}}{10^3} \right), \quad (9.43)$$

де $N_{ТО-1}$, $N_{ТО-2}$ – кількість ТО-1 та ТО-2, що виконуються протягом одного року;

$C_{ЩО}$, $C_{ТО-1}$, $C_{ТО-2}$ – відповідно вартість одного ЩО, ТО-1 та ТО-2, грн.;

l_{cd}, L_p – відповідно середньодобовий пробіг та пробіг за рік;

C_{IPR} – вартість поточного ремонту на 1000 км пробігу, грн.;

K_∂ – коефіцієнт, що враховує вплив дорожніх умов.

Коефіцієнт K_∂ визначається поділом витрати палива $H_{n\partial p}$ в даних дорожніх умовах на витрату палива $H_{1\partial p}$ на дорозі 1-ої групи.

Наприклад, для ЗІЛ-431410 з вантажем

$$K_\partial = \frac{H_{n\partial p}}{H_{1\partial p}} = \frac{(1461/V_{n\partial p} + 0,0021V_{n\partial p}^2)}{(1461/0,0021 \cdot 54^2)} \approx (44/V_{n\partial p} + 6,3 \cdot 10^{-5} V_{n\partial p}^2)$$

Наприклад, при $V_a = 54$ км/год. (1-ша група) $K_\partial = 1$, при $V_a = 25$ км/год. (5-та група) $K_\partial = 1,8$.

Норми амортизаційних відрахувань встановлені окремо на повне відновлення автомобіля (реновацію) та на капітальний ремонт. Розрахунковий пробіг до повної амортизації для автомобілів вантажопідйомністю понад 2 т прийнятий 300 тис. км. Для автомобілів вантажопідйомністю понад 2 т норма відрахувань на повне відновлення встановлена 0,3% від вартості автомобіля на 1000 км та 0,2% на капітальний ремонт від вартості автомобіля на 1000 км пробігу. З врахуванням встановлених норм амортизаційних відрахувань затрати на амортизацію одного автомобіля за рік можна визначити за формулою

$$C_a = 10^{-2} C_{на} (H_\partial + 10^{-3} H_{KP} \cdot L_p) \cdot K_\partial \text{ грн}, \quad (9.44)$$

де $C_{на}$ – ціна нового автомобіля, грн.;

H_∂ та H_{KP} – норми амортизаційних відрахувань, % на 1000 км;

L_p – річний пробіг автомобіля, км;

Затрати, віднесені до 1 т·км, визначаються за формулою

$$C_a = \frac{C_{на}}{q \cdot \gamma \cdot \beta} \left(\frac{H_\partial}{L_p} + 10^{-3} H_{KP} \right) \cdot K_\partial \text{ коп./т·км}. \quad (9.45)$$

Накладні витрати, що не залежать від пробігу автомобіля, мають значну питому вагу в собівартості перевезень. Вони мають розраховуватись з врахуванням умов роботи автомобілів, режиму експлуатації та оснащеності матеріально-технічної бази. Зі збільшенням розмірів автотранспортного підприємства накладні витрати, віднесені до одного автомобіля, знижуються. Зі збільшенням вантажопідйомності автомобіля зростають його габарити та площа, яку він займає. Це призводить до зростання затрат на ремонт та утримання будівель, опалення, електроенергію тощо. Все це викликає значне збільшення накладних витрат. Формула для розрахунку накладних витрат:

$$C_a = K_n \frac{l_a \cdot b_a}{V_a \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т·км}, \quad (9.46)$$

де K_n – емпіричний коефіцієнт для різних автомобілів за 1 годину (0,6 ... 1,7 коп./м²);

l_a , b_a – відповідно габаритна довжина та ширина автомобіля, автопоїзда, м.

В ряді випадків враховується дорожня складова собівартості, величина якої визначається ступенем зношення дорожнього покриття. Знос та строк служби доріг залежить від ваги, швидкості руху, габаритів, гальмівних властивостей та інших конструктивних особливостей рухомого складу. Найбільший вплив на зношення дорожнього покриття здійснює осьове навантаження. З достатньою точністю дорожню складову експлуатаційних витрат можна визначити за формулою

$$C_d = \frac{100C_{б.у} \cdot \omega_d}{365N_c \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т·км}, \quad (9.47)$$

де $C_{б.у}$ – затрати на будівництво та утримання 1 км дороги за один рік, грн.;

ω_d – коефіцієнт, що враховує дію автомобіля на дорогу;

N_c – середньодобова кількість автомобілів, що проходять по дорозі в обох напрямках.

Щорічні витрати на 1 км дороги визначаються за формулою

$$C_{б.у} = (C_d/m_d + C_{КР.д} + C_{ТР.д}) \text{ грн./рік}, \quad (9.48)$$

де C_d – вартість будівництва 1 км дороги, грн.;

m_d – строк служби дороги в роках;

$C_{КР.д}$ – витрати на капітальний ремонт 1 км дороги в рік, грн.;

$C_{ТР.д}$ – витрати на утримання, середній та поточний ремонт 1 км дороги в рік, грн.

Чисельні значення ω_d рекомендується визначати за формулою

$$\omega_d = \sqrt{G_{ом}^3} / G_{зд}, \quad (9.49)$$

де $G_{ом}$ – осьова маса найбільш навантаженої осі автомобіля, т;

$G_{зд}$ – граничнодопустима маса, т.

Зі зміною осьової маси до 10 т при граничнодопустимій осьовій масі 6 і 10 т коефіцієнт зношування дороги відповідно змінюється в межах 0...5,5 та 0... 3,0.

Середньодобова кількість автомобілів, що проходять по дорозі в двох напрямках, наближено визначається залежністю:

$$N_{сд} = 24000/l_a \text{ од/добу}, \quad (9.50)$$

де l_a – габаритна довжина автомобіля, м.

При зміні габаритної довжини від 4 до 8 м інтенсивність руху на добу в двох напрямках складе 3...6 тис. од., що відповідає встановленим розрахунковим нормам для доріг II категорії.

В кінцевому вигляді після відповідних підстановок дорожня складова визначиться за формулою

$$C_d = \frac{0.1 \cdot l_a \sqrt{G_{om}^3}}{G_{zd} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} \text{ коп./т·км,} \quad (9.51)$$

В середньому дорожня складова для різних типів автомобілів коливається в межах 0,3...0,65 коп./т·км та збільшується зі збільшенням вантажопідйомності рухомого складу.

Постановою Кабінету Міністрів України від 1.03.1999р. встановлені порядок та норми збору за забруднення навколишнього середовища стаціонарними та пересувними джерелами забруднення.

Для рухомого складу автомобільного транспорту встановлені такі норми збору: за етилований бензин та зріджений нафтовий газ – 4 грн. за одну тонну; за дизельне паливо та неетилований бензин – 3 грн./т, за стиснений газ – 2 грн./т.

В залежності від кількості населення та народногосподарського значення населених пунктів введені коефіцієнти корегування: для міст з населенням понад 1 млн. чол. – 1,8; для промислових та обласних центрів – 1,25 та для населених пунктів, віднесених до курортних – 1,65. Наприклад, для м. Вінниці норма збору за 1 т етилованого бензину дорівнює $3 \cdot 1,25 = 3,75$ грн.

При розрахунках собівартості перевезень екологічні затрати, віднесені до 1 т·км, необхідно визначати за формулою

$$C_e = 10^{-3} \rho_n \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{H_0}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + H_d \right) \cdot H_e \cdot K_{e1} \cdot K_{e2} \text{ коп./т·км,} \quad (9.52)$$

де H_e – норма збору в грн./т за даний вид палива;

K_{e1} , K_{e2} – коефіцієнти корегування.

Наприклад, для автомобіля ЗІЛ-431410 при роботі в умовах м. Вінниці екологічна складова собівартості

$$C_e = 10^{-3} \cdot 0.74 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{31}{6 \cdot 1 \cdot 0.65} + 2 \right) \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1.25 = 0.03 \text{ коп./т·км.}$$

Із приведенного прикладу видно, встановлені збори за забруднення навколишнього середовища рухомим складом автомобільного транспорту не роблять суттєвого впливу на збільшення собівартості перевезень (собівартість зростає на 0,3 ... 0,5 %).

Загальна модель собівартості транспортної продукції запишеться таким чином:

$$\begin{aligned}
C_{mn} = & \frac{1,25T_m}{q \cdot \gamma} \left[\frac{t_{np}}{l_{i\delta}} + \frac{62,5}{V_a \cdot \beta} \right] + \frac{0,011 \Pi_n \cdot K_t \cdot K_h}{\eta_i} \times \\
& \times \left(\frac{A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot G_o \cdot \psi + 0,077 C \cdot kF \cdot V_a^2}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + 10^4 C \cdot \psi \right) + \\
& + \frac{0,92 \cdot 10^2 \Pi_{ui} \cdot n_{ui} \cdot H_n}{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot \Omega_{ui}} + \frac{100}{q \cdot \gamma \cdot \beta} \times \\
& \times \left[\frac{C_{\text{ЩО}}}{l_{c\delta}} + \frac{(N_{TO-1} \cdot C_{TO-1} + N_{TO-2} \cdot C_{TO-2}) \cdot K_\delta}{L_p} + \frac{C_{\text{ПП}} \cdot K_\delta}{10^3} \right] + \\
& + \frac{\Pi_{na}}{q \cdot \gamma \cdot \beta} \left(\frac{H_e}{L_p} + \frac{H_{KP}}{10^3} \right) \cdot K_\delta + \frac{K_h \cdot l_a \cdot b_a}{V_a \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} + \frac{0,1 \cdot l_a \sqrt{G_{om}^3}}{G_{\delta\delta} \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta} + \\
& + 10^{-3} \cdot \rho_n \cdot K_t \cdot K_h \left(\frac{H_o}{q \cdot \gamma \cdot \beta} + H_\delta \right) H_e \cdot K_{e1} \cdot K_{e2} \quad \text{коп./т} \cdot \text{км},
\end{aligned} \tag{9.54}$$

$$\text{де } K_t = (1 - 0,05 \cdot 10^{-2} t); \quad K_h = (1 + 0,067 \cdot 10^{-3} h); \quad A = \frac{7,95 a \cdot V_h \cdot i_o}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k};$$

$$B = \frac{0,69 b \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_o^2}{H_n \cdot \rho_n \cdot r_k^2}; \quad C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_n \cdot \eta_{mp}}; \quad \eta_i = (0,256 + 0,0012 N_1) \quad \text{для}$$

карбюраторного двигуна і $\eta_i = (0,43 + 0,3 \cdot 10^{-2} N_1 - 0,3 \cdot 10^{-4} N_1^2)$ для

дизельного двигуна при $N_1 = \frac{0,0277 (G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0,077 kF \cdot V_a^3)}{N_{\max} \cdot \eta_{mp}}, \quad \%$

$$\begin{aligned}
i_k &= K_c \cdot i_{kn} \cdot V_{\max} / V_a; & \psi &= 0,01 V_{\max} / V_a; & \Omega_{ui} &= l_{ui} \cdot H_n, & \text{л;} \\
H_n &= K_t \cdot K_h (H_o + H_\delta \cdot q \cdot \gamma \cdot \beta), & \text{л/100км;} & K_\delta &= 44 / V_{n\epsilon p} + 6,3 \cdot 10^{-5} V_{n\epsilon p}^2; \\
\rho_n &= \rho_o + 0,83 \cdot 10^{-3} (20 - t), & \text{т/м}^3, & \rho_o & - \text{густина повітря при } 20^\circ\text{C}, & t & - \text{температура повітря.}
\end{aligned}$$

За допомогою цієї моделі можна з достатньою точністю розраховувати та аналізувати собівартість з врахуванням основних конструктивних та експлуатаційних характеристик автомобіля та знаходити оптимальні режими їх експлуатації в різних умовах роботи.

Аналіз моделі собівартості

Розглянемо приклад розрахунку собівартості перевезень автомобіля ЗІЛ-431410 з вантажем для нормальних атмосферно-кліматичних умов. Приймаємо такі вирази для визначення середніх величин передаточних чисел i_k і сумарного опору дороги ψ :

$$i_k \approx 54 / V_a, \quad \psi \approx 0,9 / V_a.$$

Основні конструктивні, нормативні та експлуатаційні параметри, що входять у модель собівартості, приведені в табл. 9.3.

Підставивши чисельні значення в загальну модель собівартості, одержимо вирази для визначення окремих складових:

$$C_3 = 0.93 + 33.8/V_a \text{ коп./т·км};$$

$$C_T = K_t \cdot K_h \left(414.5/V_a + 73 \cdot 10^{-5} V_a^2 \right) \text{ коп./т·км};$$

$$C_{ui} = 20.48/V_a + 3.6 \cdot 10^{-5} V_a^2 \text{ коп./т·км};$$

Таблиця 9.3 – Матриця вихідних параметрів

Параметри	Одиниці вимірювання	Величина	Параметри	Одиниці вимірювання	Величина
Конструктивні параметри					
q	т	6	l_a	м	8
G_0	т	4.5	b_a	м	2.5
η_i	—	0.3	G_{om}	т	8
A	—	0.85	n_{ui}	шт	6
B	—	0.026	N_{max}	кВт	110
C	—	0.0035	V_{max}	км/ч	90
kF	$\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$	2.41	i_{kn}	—	1
K_c	—	0.6	G_{20}	т	10
Нормативні параметри					
T_m	коп./км	1.3	Ω_{ui}	л	$33 \cdot 10^5$
ζ_{ui}	грн.	300	H	л/100 км	за нормою
t_{np}	хв.	51.5	H_e	%	0.2
t_{nz}	хв.	2.5	H_{KP}	%	0.3
H_e	грн./т	3	K_n	коп./м ²	1.1
H_{e1}	—	1 ... 1.8	ζ_n	коп./л	90
H_{e2}	—	1 ... 1.25	C_{TO-2}	грн.	8.3
$C_{ЩО}$	грн.	0.6	$C_{TP/1000\text{км}}$	грн.	14.0
C_{TO-1}	грн.	2.7	ζ_{na}	грн.	30000
Експлуатаційні параметри					
G_a	т	10.5	l_{ib}	км	15
γ	—	1.0	l_{c0}	км	150
β	—	0.5	N_{TO-1}	од.	15
L_p	км	45000	N_{TO-2}	од.	3
ρ_n	т/м ³	0.74	t	°С	15

$$C_{TP} = 0.133 + 22.6/V_a + 3.2 \cdot 10^{-5} V_a^2 \text{ коп./т·км};$$

$$C_a = 134/V_a + 19.2 \cdot 10^{-5} V_a^2 \text{ коп./т·км}; \quad C_n = 8.25/V_a \text{ коп./т·км};$$

$$C_o = 1.6/(q \cdot \gamma \cdot \beta) \text{ коп./т·км}; \quad C_e \approx 7.4 \cdot 10^{-3} \cdot H_e \cdot K_{e1} \cdot K_{e2} \text{ коп./т·км}.$$

Загальна формула розрахунку собівартості запишеться так:

$$C_{mn} = 1.7 + 634/V_a + 99 \cdot 10^{-5} V_a^2 \text{ коп./т·км}.$$

На рис. 9.6 показаний вплив середніх технічних швидкостей (дорожніх і транспортних умов) на собівартість одиниці транспортної продукції.

Якщо продиференціювати формулу собівартості за V_a і прирівняти до нуля, то одержимо швидкість, при якій собівартість буде мати мінімальне значення:

$$V_a = \frac{633.6 \cdot 10^5}{2 \cdot 99} = 68.5 \text{ км/год}.$$

При цій швидкості собівартість знижується до 15.7 коп./т·км.

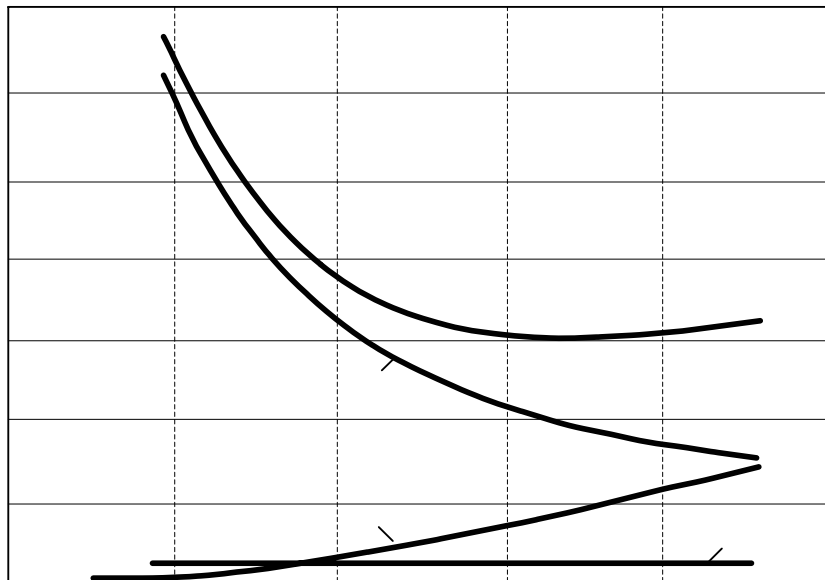


Рисунок 9.6 – Вплив умов експлуатації на собівартість транспортної продукції (1, 2, 3 - відповідно складові собівартості)

При збільшенні швидкості від 20 до 60 км/год собівартість зменшується приблизно в два рази. При великих швидкостях змінюється незначно.

У табл. 9.4 і на рис. 9.7 показана зміна окремих складових у залежності від швидкості руху.

При середніх умовах експлуатації ($V_a = 40$ км/ч) можна вважати, що витрати на зарплату водіїв складають 9.6 %, на паливо – 62.4 %, на шини –

3 %, на профілактичне обслуговування і ремонт – 4%, на амортизаційні відрахування – 20 % і на загальногосподарські (накладні) витрати – 1 %.

Таблиця 9.4 – Зміна складових собівартості за швидкістю

V_a	C_z	C_T	$C_{ш}$	C_{TP}	C_a	C_n	C_d	C_e	C_{mn}
20	2.64	21.01	1.07	1.27	6.77	0.41	0.5	0.05	33.70
40	1.78	11.53	0.57	0.75	3.65	0.21	0.5	0.05	19.05
60	1.50	9.53	0.46	0.63	2.93	0.14	0.5	0.05	15.74
80	1.36	9.86	0.47	0.63	2.89	0.11	0.5	0.05	15.85
90	1.31	10.52	0.51	0.65	3.04	0.09	0.5	0.05	16.70

Приведена формула справедлива для добутку $q \cdot \gamma \cdot \beta = 3.0$. При різних значеннях $q \cdot \gamma \cdot \beta$ формула собівартості запишеться так:

$$C_{mn} = (5.1 + 1900/V_a + 297 \cdot 10^{-5} V_a^2) / (q \cdot \gamma \cdot \beta) \text{ коп./т·км.}$$

У табл. 9.5 зведені значення собівартості (в коп./т·км) і витрата палива в л/100 км розраховані за наведеною вище формулою для навантаженого автомобіля (при $\gamma \cdot \beta = 0.5$) для різних груп доріг.

З таблиці видно, що відношення собівартості до витрати палива в даних дорожніх умовах є величина постійна і рівна 0.58. Тому можна записати, що $C_{mn} \approx 0.58 \cdot H$.

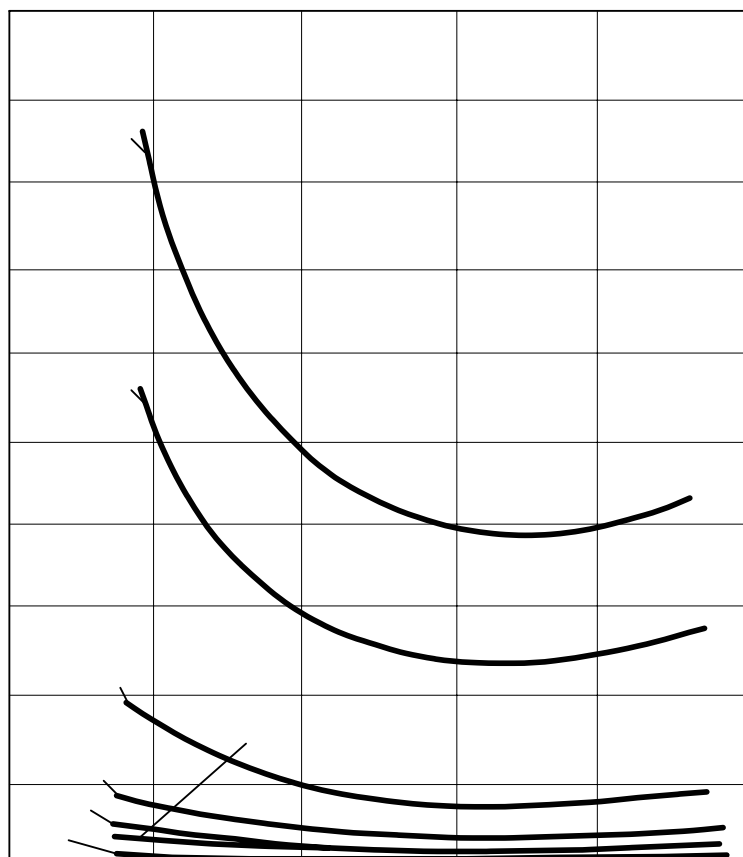


Рисунок 9.7 – Зміна складових собівартості

Таблиця 9.5 – Результати розрахунку собівартості транспортної продукції

Група доріг	Середня швидкість V_a , км/год	Витрата палива H , л/100 км	Собівартість C_{mn} , коп./т·км	Відношення C_{mn}/H , коп./(л·т)
1	54	28.2	16.32	0.58
2	43	31.1	18.27	0.58
3	34	36.6	21.48	0.58
4	29	41.8	24.39	0.58
5	25 і <	47.6	27.67	0.58

Звідси можна зробити практично важливий висновок, що досить точно собівартість перевезень можна визначати за витратою палива в л/100км. Це пояснюється тим, що основним параметром, який впливає на собівартість перевезень і витрату палива, є середня технічна швидкість, що залежить від типу і стану покриття дороги, поздовжнього профілю, щільності й інтенсивності руху рухомого складу й інших факторів.

У загальному вигляді формула для наближеного обчислення собівартості за витратою палива запишеться так:

$$C_{mn} \approx 1.93 \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C (G_a \cdot \psi + 0.077 k F \cdot V_a^2) \right] \text{ коп./т·км.}$$

Коефіцієнт 1.93 визначається шляхом ділення відношення C_{mn}/H (0,58) на індикаторний ККД двигуна (0.3).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити:

- методику калькуляції собівартості транспортної продукції за складовими собівартості;
- методику калькуляції собівартості транспортної продукції за витратою палива.

2. Записати :

- основні конструктивні, нормативні та експлуатаційні параметри, які входять в модель собівартості;
- загальну модель собівартості транспортної продукції та вирази для визначення окремих складових (кінцеві значення собівартостей слід відкоригувати у відповідності з діючим індексом цін);
- вплив дорожніх і транспортних умов (середніх технічних швидкостей) на собівартість транспортної продукції.
- математичну модель для визначення собівартості транспортної продукції за витратою палива.
- аналіз виконаних розрахунків та висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке калькуляція собівартості, її об'єкт та одиниця.
2. Які складові затрат при роботі транспортних засобів в різних дорожніх, транспортних та атмосферно-кліматичних умовах?
3. Загальна формула собівартості роботи транспортних машин.
4. Як визначити затрати на заробітну плату водіїв?
5. Як визначити затрати на паливо і мастильні матеріали?
6. Як визначити затрати на відновлення та ремонт шин?
7. Як визначити затрати на технічне обслуговування та ремонт автомобілів?
8. Як визначити затрати на амортизацію одного автомобіля за рік?
9. Як визначити затрати на накладні витрати, що не залежать від пробігу автомобіля?
10. Як визначити дорожню складову експлуатаційних витрат?
11. Як визначити екологічні затрати?
12. Основні конструктивні, нормативні і експлуатаційні параметри, які входять в модель собівартості.
13. Вплив умов експлуатації на собівартість транспортної продукції.
14. Як визначити собівартість транспортної продукції за витратою палива?

Література

1. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468с.
2. Говорущенко Н.Я., Варфоломеев В.Н. Экономическая кибернетика транспорта. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. – 218 с.
3. Говорущенко Н.Я., Варфоломеев В.Н. Техническая кибернетика транспорта. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2001. – 272 с.
4. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – Київ: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
5. Канарчук В.Е., Лудченко О.А. Основы технічного обслуговування і ремонту автомобілів. – К.: ВШ, 1 – 3 т., 1994. – 599 с.
6. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. – Харьков: Вища школа, 1984. – 312 с.
7. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; Под ред. Е.С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 413 с.
8. Несвитский Я.И. Техническая эксплуатация автомобилей. – Киев: Вища школа, 1971. – 428 с.
9. Канарчук В.Є., Лудченко О.А. та інш. Організація виробничих процесів на транспорті в ринкових умовах. – К.: Логос, 1996. – 348с.
10. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. – Саратов: ИСУ, 1985. – 288 с.
11. Колесник П.А., Шейнин В.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 325 с.
12. Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транспортных машин. – Харьков: РИО ХГАДТУ. 1998. – 39 с.
13. Ермолов Е.С. и др. Основы надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
14. Ф.Ю. Керимов. Методические указания по лабораторному практикуму курса «Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин». – М.: МАДИ, 1980. – 121 с.

Навчальне видання

Кашканов А.А., Біліченко В.В.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна

Коректор З.В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВНТУ

Свідоцтво Держкомінформу України

серія ДК № 746 від 25.12.2001

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку

Формат 29.7x42 1/4

Друк різнографічний

Тираж 85 прим.

Зам. №

Гарнітура Times New Roman

Папір офсетний

Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету

Свідоцтво Держкомінформу України

серія ДК № 746 від 25.12.2001

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ