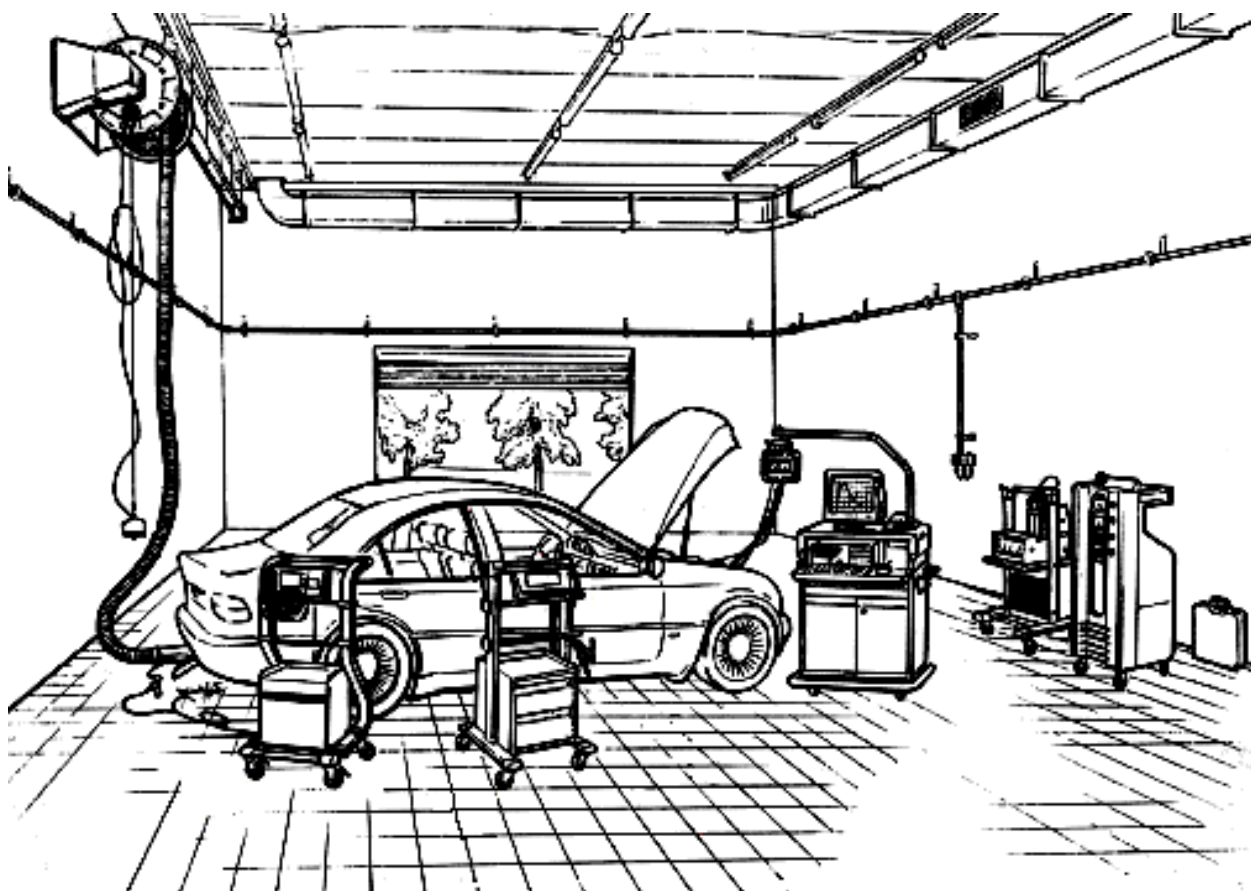


ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ



Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2012

УДК 629.083
ББК 39.33-08
О-75

Автори:

**В. В. Біліченко, В. Л. Крещенецький, Ю. Ю. Кукурудзяк,
С. В. Цимбал**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 27 січня 2011 р.)

Рецензенти:

В. Ф. Анісімов, доктор технічних наук, професор
В. І. Савуляк, доктор технічних наук, професор
А. П. Поляков, доктор технічних наук, професор

Біліченко, В. В.

О-75 **Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.**

У навчальному посібнику викладаються теоретичні основи технічного діагностування автомобіля в цілому та його окремих деталей і вузлів. Подаються основні поняття, моделі об'єктів і несправностей, оцінювання повноти й вірогідності контролю, глибини пошуку несправностей. Навчальний посібник стане в нагоді студентам при вивченні дисципліни, під час підготовки до виконання лабораторних робіт та дипломного проектування.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності “Автомобілі та автомобільне господарство”.

**УДК 621.431
ББК 39.33-08**

© В. Біліченко, В. Крещенецький, Ю. Кукурудзяк, С. Цимбал, 2012

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ	5
1.1 Терміни, означення і задачі діагностики	5
1.2 Системи діагностування	8
1.3 Процес втрати роботоздатності автомобіля як об'єкта експлуатації	11
1.4 Система управління технічним станом та місце контрольно-діагностичних робіт	17
1.5 Питання для самоперевірки	18
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ	19
2.1 Діагностичні параметри. Поняття, класифікація, властивості	19
2.2 Діагностичні нормативи технічної діагностики	29
2.3 Діагностичні моделі	35
2.4 Питання для самоперевірки	48
3 ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЯ	49
3.1 Основні положення	49
3.2 Прогнозування на основі екстраполяції діагностичного параметра	50
3.3 Прогнозування на основі економіко-ймовірнісного методу.....	51
3.4 Питання для самоперевірки	52
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЯ	53
4.1 Вибір діагностичних параметрів	53
4.2 Математична модель зняття, реєстрації і попередньої обробки вхідних даних	55
4.3 Математична модель автоматизованого визначення несправностей системи запалювання	57
4.4 Практична реалізація методу автоматизованого діагностування ..	62
4.5 Питання для самоперевірки	63
5 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ	66
5.1 Методи діагностування автомобілів	66
5.2 Засоби діагностування автомобілів	89
5.3 Питання для самоперевірки	94
6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛІВ ..	95
6.1 Діагностична інформація в системі управління технічним станом автомобіля	95
6.2 Точність і достовірність діагностичної інформації	97
6.3 Економічна ефективність діагностування	107
6.4 Узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінки ефективності діагностування	107
6.5 Практика освоєння систем діагностування	110
6.6 Питання для самоперевірки	111
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	116

ВСТУП

При сучасному рівні складності автотранспортної техніки знання основ технічного діагностування стає обов'язковим для фахівців у галузі розробки й експлуатації автомобілів. Застосування методів і засобів технічного діагностування є ефективним способом забезпечення високої надійності транспортних засобів, дозволяє скоротити терміни та трудомісткість технічного обслуговування і ремонту.

Складність автомобілів, що випускаються автомобільною промисловістю, а також їх кількість зростають так стрімко, що важко уявити можливість забезпечення необхідного рівня їх технічної готовності без застосування сучасних методів та засобів визначення технічного стану. Наведене вище призводить не тільки до підвищення складності засобів діагностування, а й до підвищення складності алгоритмів діагностування. Це потребує високої кваліфікації технічних робітників, які впоралися б із своїми задачами, маючи на озброєнні лише напівавтоматизовані й інтуїтивні методи виявлення та пошуку несправностей.

На даний час світові корпорації, які випускають сучасне діагностичне обладнання, все частіше знаходять рішення в поєднанні різних стратегій пошуку несправностей. Так функціональне діагностування ефективно доповнюється тестовим.

Все більшого поширення набуває комп'ютерна діагностика автомобіля, яка дозволяє при під'єднанні до спеціального роз'єму отримати інформацію з усіх електронних систем автомобіля за основними параметрами їх роботоздатності. При цьому може бути отримана інформація як про поточні помилки при роботі електронних систем, так і про помилки, які зберігаються на запам'ятовувальному пристрої. Також комп'ютерна діагностика дозволяє проконтролювати роботу всіх виконавчих елементів і датчиків.

Діагностика автомобілів є важливим етапом робіт із забезпечення роботоздатності автомобілів. Саме вона дозволяє визначити основні несправності автомобілів та спланувати роботи із відновлення роботоздатності транспортних засобів та матеріально-технічного забезпечення їх ремонту. Інформація, отримана в процесі діагностування автомобілів, є вихідною при прогнозуванні технічного стану.

Цей посібник має за мету дати студентам основи знань з технічного діагностування автомобіля в цілому та його окремих деталей і вузлів.

У навчальному посібнику викладаються теоретичні основи технічного діагностування автомобіля. Подаються основні поняття, моделі об'єктів і несправностей, оцінювання повноти й імовірності контролю, глибини пошуку несправностей. Наведено методи, засоби та основи автоматизації процесів діагностування автомобілів.

Навчальний посібник призначений для студентів бакалаврського напрямку 6.070106 – “Автомобільний транспорт”.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

1.1 Терміни, означення і задачі діагностики

Відповідно до Держстандарту 20911-89 технічна діагностика (*technical diagnostics*) визначається як галузь знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення стану технічних об'єктів. Технічним станом називають множину властивостей технічного об'єкта, які зазнають змін в часі, а перелік і зміст їх регламентується технічною документацією.

Часто формулюють завдання вибору одного з двох можливих діагнозів (*diagnosis*), наприклад, справний стан, несправний стан. Така діагностика називається диференціальною. В інших випадках потрібно докладніше розглядати несправний технічний стан для визначення, наприклад, місця виникнення несправності. Таку докладну діагностику називають локалізацією несправності. Кількість можливих технічних станів (діагнозів, класів) залежить від особливостей і мети діагностування. Загальною метою технічної діагностики є підвищення надійності (*reliability*) автотранспортних засобів. Отже, потрібно з'ясувати наявність чи відсутність несправностей (*disrepair*), спрогнозувати момент і місця їх виникнення. Це дасть змогу вчасно виконати відповідні ремонтно-оглядові дослідження (*researches of repair-surveys*). Як правило, кінцевої інформації для цього немає. Щоб її здобути, потрібно витратити певні матеріальні й енергетичні ресурси. Тому основне завдання діагностування – розпізнати технічний стан в умовах невизначеності з мінімальними матеріальними й енергетичними втратами.

Аналіз технічного стану виконують в умовах експлуатації, у яких отримати інформацію непросто. У таких випадках застосовують часткове підрозбирання. Технічний об'єкт, стан якого визначають без його розбирання, або з частковим підрозбиранням, називають **об'єктом діагностування**. Ним може бути автомобіль, його системи, агрегати, вузли, механізми. Безпосереднє вимірювання діаметра корінної шийки колінчастого вала (*native neck of knee billow*) двигуна внутрішнього згоряння (*combustion engine*) після його розбирання, наприклад, не можна назвати діагностуванням, а, відповідно, ані двигун внутрішнього згоряння, ні його колінчастий вал не є об'єктами діагностування. Якщо ж згаданий розмір оцінюють опосередковано, наприклад, через вимірювання тиску в системі змащування (*system of greasing*), то об'єкт діагностування – це двигун внутрішнього згоряння в зборі. Складові частини об'єкта діагностування, з точністю до яких бажано проводити пошук дефектів (*defect*), називають **змінними блоками**, припускаючи при цьому, що в кожному конкретному випадку змінний блок може складатися як з одного, так і з декількох вузлів (деталей). Наприклад, об'єктом діагностування є система живлення двигуна внутрішнього згоряння. Змінними блоками у ній можуть бути, наприклад, бензобак, бензопомпа, а також системи карбюратора: основна дозуюча, еко-

номайзер, система холостого ходу тощо. Точність виділення змінних блоків залежить від багатьох чинників: складності конструкції об'єкта діагностування, технічного рівня загальної діагностики, технології діагностування, обраних техніко-економічних критеріїв (*criterion*).

Процес діагностування можна розбити на елементарні, технологічно неподільні частини, кожна з яких характеризується окремим тестовим чи робочим впливом і відповіддю, що аналізується. Такі частини називають елементарними перевірками. Послідовність елементарних перевірок, що здійснюється з об'єктом діагностування у процесі діагностування, називають діагностичним тестом (*diagnostic test*).

Відповіді об'єкта діагностування можуть зніматися з основних виходів, тобто з виходів, необхідних для застосування об'єкта діагностування за призначенням, так і з додаткових виходів, організованих спеціально для діагностування. Основні і додаткові виходи називають контрольними точками або контрольованими виходами. Виміряні на них параметри називають контрольованими або діагностичними параметрами (*diagnostic parameter*). В одному контрольованому виході може вимірюватися декілька параметрів. Наприклад, під час контролю сигналу синусоїдальної форми часто вимірюють одночасно його частоту (*frequency*) й амплітуду (*amplitude*).

Технічна діагностика тісно пов'язана з теорією інформації та кодуванням. Основними термінами в цій теорії є дані, повідомлення, інформація (*information*). Під даними розуміють усі відомості, здобуті від навколишнього світу та подані у нормалізованому вигляді (літерами, цифрами, символами тощо), наприклад, покази цифрових індикаторів температури, частоти обертання, тиску. Дані, які підлягають передачі, називаються **повідомленнями**.

Технічна діагностика автомобілів – розділ експлуатаційної науки, в якому вивчаються, встановлюються і класифікуються відмови та несправності агрегатів, вузлів, і симптоми цих відмов та несправностей, а також розробляються методи і засоби для їх виявлення з метою визначення необхідних профілактичних і ремонтних дій на об'єкт для підтримки високого рівня його надійності і прогнозування ресурсу його справної роботи.

Діагностування дає змогу:

- оцінити технічний стан (справність та роботоздатність) автомобіля (*car*) в цілому й окремих його агрегатів (*aggregate*) і вузлів без розбирання;
- виявити дефекти, які порушили справність (*good condition*) і (або) роботоздатність (*capacity*) автомобіля;
- прогнозувати залишковий ресурс або ймовірність безвідмовної роботи автомобіля у міжконтрольний період.

Загальною метою технічної діагностики на автомобільному транспорті є підвищення надійності автотранспортних засобів.

Основне завдання діагностування – розпізнати технічний стан в умовах невизначеності з мінімальними матеріальними і енергетичними втра-

тами.

За часом проведення діагностування поділяють на:

- періодичне (здійснюється після певного пробігу автомобіля);
- неперервне.

Залежно від завдань, які вирішуються, розрізняють два види діагностування:

- перше – загальна діагностика (Д-1);
- друге – поглиблена діагностика (Д-2).

Під час Д-1, що, як правило, виконується перед ТО-1 і в процесі його визначають технічний стан агрегатів та вузлів, які забезпечують безпеку руху й придатність автомобіля до експлуатації.

Під час Д-2, що здебільшого здійснюється перед ТО-2, оцінюють технічний стан агрегатів, вузлів і систем автомобіля, уточнюють обсяги робіт з ТО-2 та визначають необхідність ремонту.

Результати кожного діагностування автомобіля заносять до діагностичної і нагромаджувальної карт.

За результатами діагностування приймають рішення про можливість подальшої експлуатації автомобіля з призначеним ресурсом після проведення технічного обслуговування або про потребу ремонту.

Обсяг робіт, що підлягають виконанню при технічному обслуговуванні і ремонті, визначають на основі діагностування.

Діагностична карта (*diagnostic card*) призначена для реєстрації результатів діагностування в усіх випадках діагностування і прийняття рішення про необхідні роботи при технічному обслуговуванні і ремонті автомобіля. Діагностична карта є вихідним документом при виконанні нагромаджувальної карти в усіх випадках діагностування.

Нагромаджувальна карта (*story card*) призначена для нагромадження інформації про зміни діагностичних параметрів у процесі експлуатації автомобіля, збирання вихідних даних для прогнозування залишкового ресурсу і ймовірності безвідказної роботи в межах міжконтрольного періоду. Нагромаджувальна карта ведеться на кожен автомобіль протягом усього терміну його експлуатації. При передачі автомобіля в іншу організацію нагромаджувальну карту передають разом із ним.

Основним документом для організації технічного діагностування при експлуатації і ремонті автомобіля є «Інструкція для експлуатації» або «Інструкція для технічного обслуговування автомобілів і машин, що монтуються на їхній базі».

Однією із найважливіших задач діагностування стану об'єкта є пошук несправностей, тобто визначення місця та причин їх виникнення. Після усунення несправностей об'єкт може бути справним, роботоздатним або правильно функціонуючим.

Основні задачі технічної діагностики наведено на рисунку 1.1.

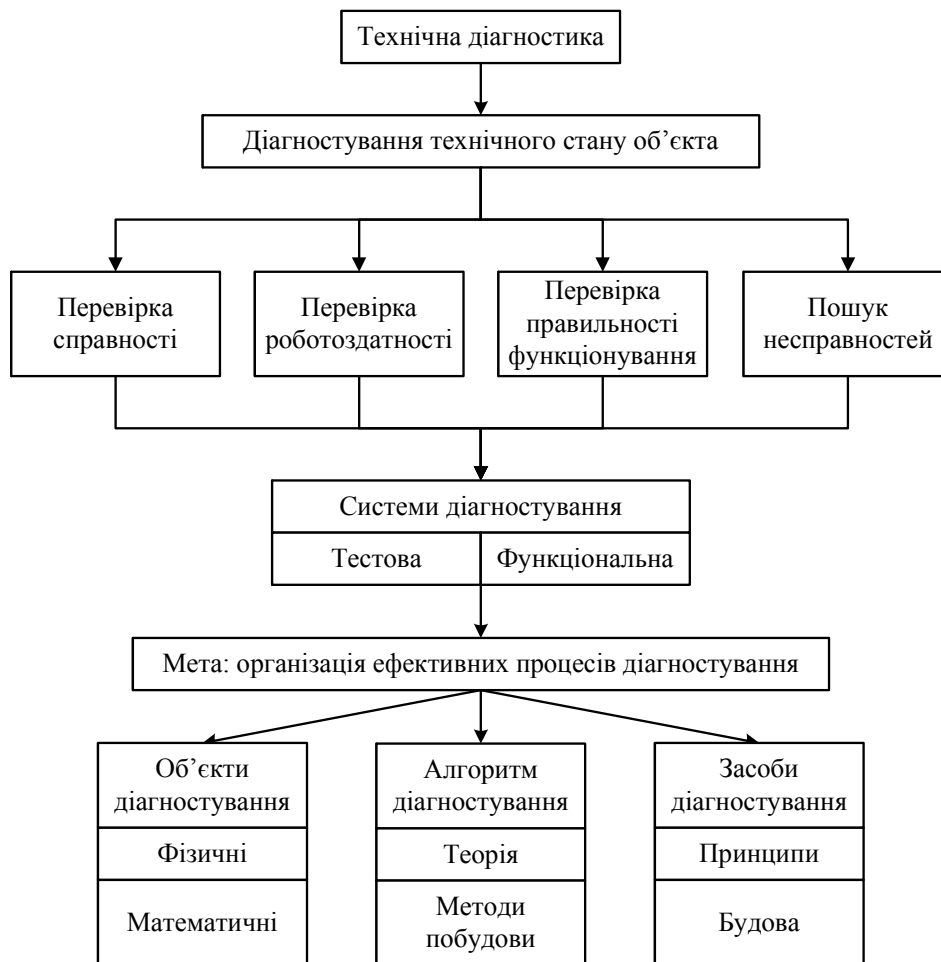


Рисунок 1.1 – Основні задачі технічної діагностики

1.2 Системи діагностування

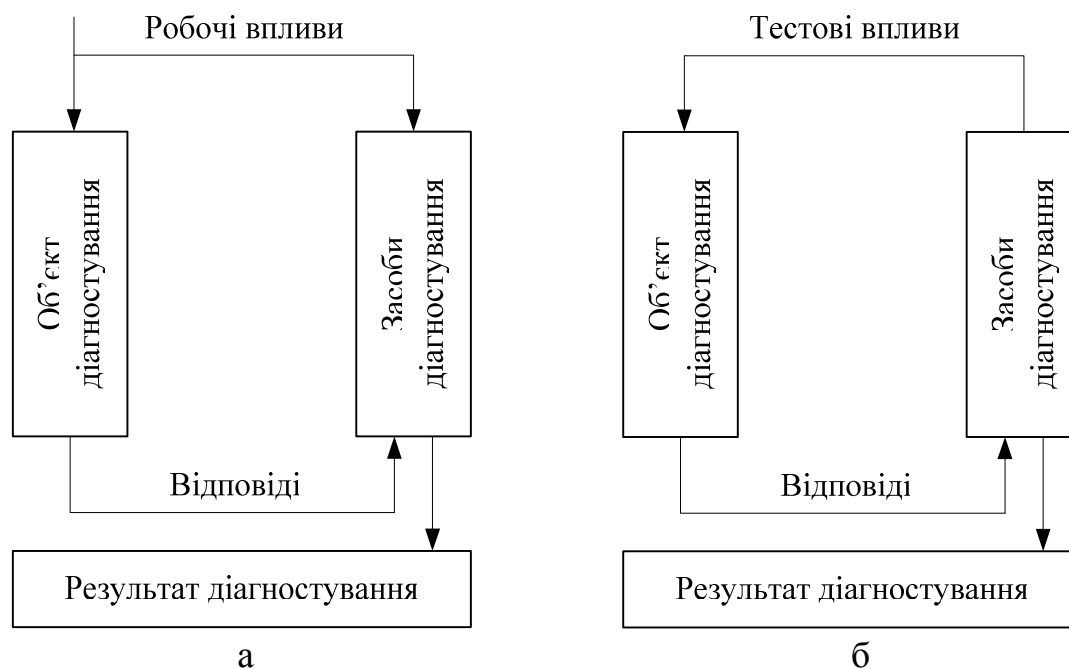
Визначення технічного стану агрегата, вузла, автомобіля в цілому або об'єкта діагностування виконують за допомогою контрольно-діагностичних засобів (*control-diagnostic facilities*). Взаємодія об'єкта діагностування та контрольно-діагностичних засобів складає систему діагностування, яка полягає у подачі на об'єкт багаторазових впливів (вхідних сигналів) і багаторазового вимірювання та аналізу відповідей (вихідних сигналів) об'єкта на ці впливи. Впливи на об'єкт можуть надходити від контрольно-діагностичних засобів або через зовнішні сигнали, що визначаються робочим алгоритмом функціонування об'єкта.

Системи діагностування призначені для перевірки справності, роботоздатності, функціонування і пошуку дефектів. Розрізняють такі види системи діагностування:

- за характером взаємодії між об'єктом і засобом діагностування: функціонального і тестового діагностування (у разі потреби можуть бути одночасно використані системи функціонального і тестового діагностування);

- за використовуваними засобами діагностування: з універсальними і спеціалізованими, вмонтованими і зовнішніми засобами діагностування;
- за ступенем автоматизації діагностування: автоматичні, автоматизовані, ручні;
- за ступенем охоплення виробу: локальні і загальні.

Функціональне та тестове діагностування. Узагальнені функціональні схеми таких систем зображені на рисунку 1.2.



а – функціональний; б – тестовий

Рисунок 1.2 – Функціональні схеми систем діагностування технічного стану

У системах функціонального діагностування впливи, що надходять на основні входи об'єкта, задані його робочим алгоритмом функціонування, їх називають робочими. Ці системи застосовують для перевірки правильності функціонування та пошуку несправностей найвідповідальніших агрегатів, вузлів і систем автомобіля, коли він експлуатується за призначенням або в режимах імітації функціонування об'єкта (при наладці та ремонті (*repair*)).

Найчастіше системи функціонального діагностування застосовують, коли автомобіль використовується за призначенням. Так, водій (*driver*) сучасного автомобіля одержує інформацію про тиск масла у головній магістралі двигуна, температуру охолодної рідини, включення показників повороту, механізму блокування міжосьового диференціала, готовність до роботи електрофакельного підігрівника, рівень палива в баках, частоту обер-

тання колінчастого вала тощо. Це дає можливість негайно реагувати на порушення правильності функціонування об'єкта та в разі потреби змінювати спрацьовані деталі або вузли, переходити на інший режим функціонування.

Ці системи дозволяють найповніше використовувати багатий досвід водіїв під час вирішення завдань оптимального керування технічним станом автомобіля, забезпечувати виконання заданого обсягу робіт і підвищувати ефективність експлуатації автомобіля.

Системи функціонального діагностування надалі будуть розвиватися у напрямі інформування водія про паливну економічність, динамічність, ефективність гальмування, рівень забруднення навколишнього середовища. Найважливішою вимогою є можливість керування режимами руху автомобіля з метою отримання максимальної паливної економічності з дотриманням правил безпеки транспортного процесу.

У системах тестового діагностування впливи на об'єкт надходять від контрольно-діагностичних засобів (рис. 1.2). Склад і послідовність подачі цих впливів (тестових) вибирають з умов ефективності організації процесу діагностування. В результаті тестового діагностування вирішуються завдання перевірки справності, роботоздатності та пошуку несправності. Ці системи працюють, коли автомобіль не використовується за призначенням. Робота систем тестового діагностування при працюючому об'єкті також можлива, але тоді тестові впливи можуть бути тільки такими, які не заважають нормальному функціонуванню об'єкта.

Відповіді об'єкта на тестові і робочі впливи надходять на засоби діагностування. Вихідні сигнали можна знімати з основних виходів об'єкта, тобто необхідних для використання об'єкта за призначенням, а також з додаткових, призначених спеціально для діагностування. Основні та додаткові виходи називають контрольними точками. Від того, наскільки швидко й просто вони дозволяють одержати інформацію, значно залежить ефективність діагностування.

При розробці системи діагностування для забезпечення взаємодії об'єкта і засобу діагностування мають бути вирішені такі завдання: техніко-економічне обґрунтування вибору виду і призначення системи діагностування; аналіз фізичних процесів, що відбуваються в об'єкті діагностування, для виявлення механізмів виникнення та ознак прояву пошкоджень і дефектів; збирання і вивчення апріорних даних про характерні пошкодження і дефекти аналогічних виробів або їхніх складових частин; вибір методу діагностування; розробка моделі об'єкта діагностування; розробка алгоритму діагностування; розробка конструктивних вимог до об'єкта діагностування для забезпечення його діагностування і розробка відповідної технічної документації; вибір і розробка засобів діагностування; розробка пристроїв спряження об'єкта і засобів діагностування; розробка експлуатаційної і ремонтної документації для діагностування; випробування системи діагностування.

Для кожної галузі застосування системи діагностування визначають достовірність діагнозу і глибину пошуку дефекту з урахуванням надійності виробу та його складових частин, особливо тих, відмова яких пов'язана із небезпекою для людини; контролепридатність і здатність відновлюватись; вартість і трудомісткість діагностування.

1.3 Процес втрати роботоздатності автомобіля як об'єкта експлуатації

Показники якості автомобіля не залишаються постійними в експлуатації, а змінюються протягом часу і в просторі. Під якістю будь-якого виробу або виду продукції розуміється сукупність властивостей, що обумовлюють його придатність забезпечувати відповідні потреби в зв'язку з його призначенням. Складність будови автомобіля, чисельність окремих його властивостей та конструкцій, різноманітні залежності від умов та виду перевезень практично не дають можливості оцінити автомобіль одним загальним показником, який однозначно виражав би його якість. Тому якість автомобіля визначається комплексом значних його експлуатаційних якостей, запропонованих Е. О. Чудаковим.

Експлуатаційна якість (*operating quality*) автомобіля – це сукупність певних властивостей та конструктивних особливостей автомобіля, яка характеризується його вартістю та мірою споживчої досконалості щодо певних умов використання: місткість; використання маси; швидкість руху; прохідність; безпечність (гальмова якість, стійкість, керованість, обзорність, ефективність сигналізації, забруднення навколишнього середовища, безшумність); паливна економічність; довговічність; надійність; зручність використання (плавність ходу, комфортабельність, простота управління і дорожнього обслуговування, маневреність); простота технічного обслуговування. Цей комплекс дав загальну оцінку автомобілю як транспортному засобу і є необхідним для оцінки його ефективності.

В процесі експлуатації автомобіль з різних причин (старіння матеріалів, спрацювання та зміна їх експлуатаційних характеристик, некваліфіковане водіння, дорожньо-транспортні пригоди, нестабільність з'єднань) втрачає певні якості – швидкість руху, безпечність, паливну економічність, надійність, довговічність, що знижує його продуктивність, збільшує витрати на перевезення, трудомісткість та енергомісткість перевезень, а також знижує безпеку для навколишнього середовища. Роботоздатність автомобіля визначається не тільки можливістю виконувати необхідні перевезення, але й тим, щоб його експлуатаційні якості знаходились в допустимих межах.

Надійність автомобіля під час експлуатації змінюється, що обумовлено втратою роботоздатності автомобіля і зниженням ефективності його використання. А оскільки автомобіль є відновлюваною системою, то визначення тактики і стратегії відновлення його роботоздатності має ве-

лике значення.

В зв'язку з цим доцільно розглянути сам процес втрати робото-
здатності об'єкта експлуатації, яким можуть бути окремі спряження, агре-
гат, вузол чи автомобіль в цілому.

Загальна схема втрати роботоzдатності об'єкта експлуатації зобра-
жена на рисунку 1.3, де X – один із параметрів, що характеризують його
роботоздатність. Таких параметрів може бути декілька, будь-якого фізич-
ного змісту: потужність автомобільного двигуна, витрата пального, витра-
та моторного масла, коефіцієнт корисної дії тощо. Для кожного з них вста-
новлено мінімальні та максимальні значення. Якщо параметр перебував в
інтервалі $(X_{\min}, X_{\max})$ об'єкт вважається роботоzдатним. У випадку, коли
хоча б один параметр виходить за доступні межі, об'єкт втрачає робото-
здатність.

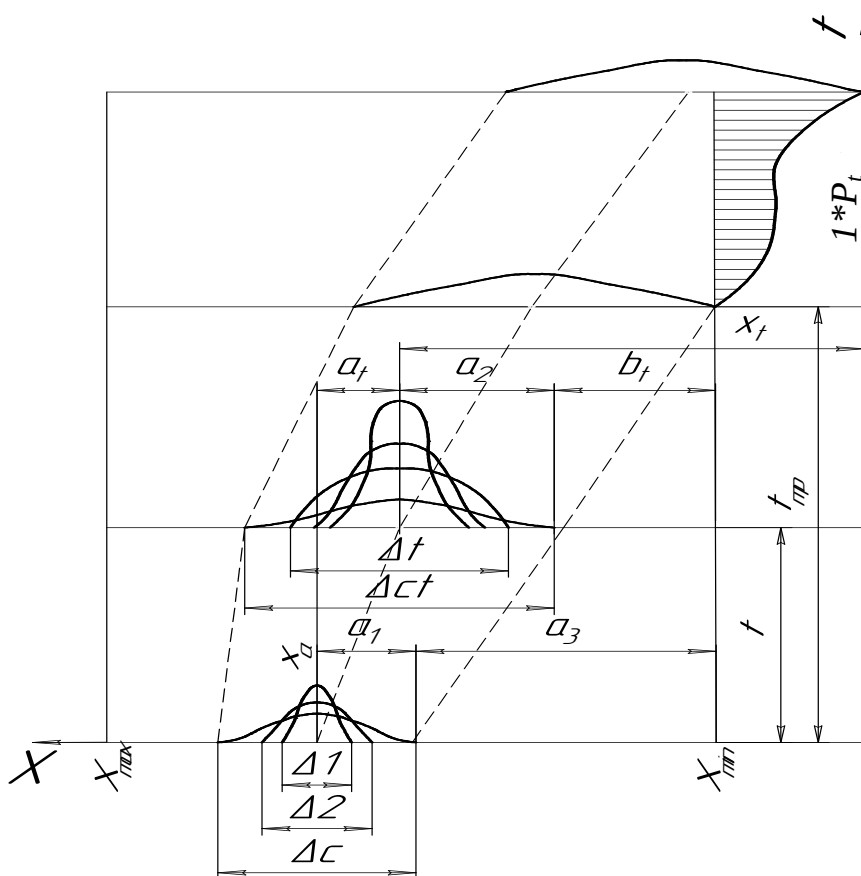


Рисунок 1.3 – Схема втрати роботоzдатності об'єкта експлуатації

Під час експлуатації параметр X змінюється внаслідок різних при-
чин: його зміна від вихідного значення X_0 до $X_{\min}$ – процес постійної
втрати роботоzдатності.

Припустимо, що параметр X характеризує потужність двигуна. Вна-
слідок конструктивних особливостей, ступеня недосконалості виготовлен-
ня різних вузлам та механізмам двигуна властива геометрична неточність.
Це призводить до розкиду значень потужності у двигунах навіть однієї

партії, що випускається заводом. Розкид значень параметрів найчастіше підлягає нормальному закону. В результаті швидкодіючих фізичних процесів у працюючому двигуні відбувається подальше збільшення відхилення, яке визначається полем розсіювання. Загальний ефект впливу двох згаданих факторів можна оцінити, скориставшись імовірнісним методом додавання дисперсій окремих процесів. При цьому сумарне поле розсіювання Δ_c визначається виразом $\Delta_c = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}$, а запас роботоздатності двигуна становитиме a_3 .

Під час експлуатації відбувається поступове спрацьовування елементів конструкції двигуна. Ця обставина враховується в моделі законом зміни параметра X у часі. У даному випадку застосовано лінійний закон: $X = X_0 - Vt$. Таким чином, за час t номінальне значення X_0 зменшиться на величину $a_t = Vt$.

Процес спрацьовування двигуна має випадковий характер, тому потрібно враховувати поле розсіювання, яке позначимо Δt . Отже, на момент часу t після початку експлуатації сумарне поле значень параметра X буде дорівнювати:

$$\Delta_{ct} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_t^2},$$

а резерв роботоздатності, що залишився, становитиме:

$$b_t = X_0 - a_t - a_2 - X_{\min}.$$

На рисунку 1.3 моменту, що розглядається, відповідав стан І.

З часом можливість виходу параметра X за мінімально допустимий рівень зростає. Кількісно це можна оцінити можливістю безвідмовної роботи $P(t)$ за час t . У випадку, коли розсіювання значень параметра характеризується нормальним законом, ймовірність безвідмовної роботи може бути визначена за формулою:

$$P(t) = 0,5 + \theta \left(\frac{X_t - X_{\min}}{\Delta ct / 6} \right),$$

де $0 \leq \theta \leq 0,5$ – нормована функція Лапласа.

Поки резерв роботоздатності більше нуля ($b_t > 0$), можливість безвідмовної роботи $P(t)$ практично дорівнює одиниці. Складність становлять лише раптові відмови від зовнішніх впливів, не пов'язані з технічним станом.

В умовах експлуатації двигуна починають проявлятися повільні процеси – спрацьовування вузлів, що зазнають тертя, корозії, які погіршують

його технічний стан. У певний момент часу резерв b_i закінчиться (див. рис. 1.3, стан II). Після цього можливість відмови швидко зростатиме. Отже, цей момент повинен визначити міжремонтний ресурс виробу $t_{м.р}$. Зміни параметрів, які характеризують роботоздатність двигуна, відбуваються внаслідок таких явищ:

- зростання зони поля розсіювання Δt , що пояснюється збільшенням зазорів і люфтів у з'єднаннях конструктивних елементів, а також зміна жорсткості та інших характеристик, які впливають на хід процесів, що швидко протікають;

- зростання значення a_i внаслідок процесів спрацьовування та старіння вузлів і деталей, зміни теплового режиму тощо.

Все це зумовлює випадковий характер процесу зміни параметрів.

Зростання зони розсіювання параметрів і зміна технічного стану сприяють значному зменшенню можливості безвідмовної роботи (див. рис. 1.3, стан III). Вона також пов'язана з випадковими зовнішніми впливами, що призводять до раптових відказів агрегатів, які не залежать від тривалості експлуатації. Таким чином, у зонах I-III автомобілі можуть мати різний технічний стан. Деякі з них вже вичерпали ресурси роботоздатності, інші – ні. В результаті виникає проблемна ситуація, суть якої в тому, щоб найкраще організувати профілактику автомобіля у зоні. Для цього, звичайно, слід знати його дійсний технічний стан. Вирішувати питання, пов'язані з визначенням технічного стану автомобілів та характеру його зміни у часі, покликана технічна діагностика. Вона поєднує теорію і методи, організацію процесів діагностування, а також принцип побудови діагностичних засобів.

Ефективність використання автомобіля залежить від його якості (quality).

Якість – сукупність властивостей, які визначають ступінь придатності автомобіля (агрегата, механізму, вузла) до виконання заданих функцій при використанні за призначенням. Вона не залишається сталою під час експлуатації, а змінюється в часі та просторі.

У зв'язку зі складністю автомобіля, різноманітністю деяких його властивостей та особливостей конструкцій, а також різних поєднань їх, різною залежністю від умов експлуатації та типу перевезень оцінити автомобіль одним узагальнюючим показником, що однозначно виражає його якість, досить важко. Тепер якість автомобіля визначають комплексом найпоказовіших його експлуатаційних властивостей: *місткістю, використанням маси, швидкістю руху, прохідністю, безпечністю* (гальмівними властивостями, стійкістю, керованістю, оглядовістю, ефективністю сигналізації, забрудненням навколишнього середовища, безшумністю), *паливною економічністю, надійністю, зручністю використання* (плавністю ходу, комфортабельністю, простотою керування і дорожнього обслуговування, маневреністю), *простотою ТО*.

Комплекс цих якостей дає змогу повно і всебічно дати загальну оцінку автомобіля як транспортного засоба. Технічно справний автомобіль повинен мати певний рівень експлуатаційних якостей. Проте автомобіль із різних причин (втомленість (*fatigue*), корозія (*corrosion*), спрацьованість, некваліфіковане водіння) втрачає деякі експлуатаційні якості (швидкість руху, безпечність, паливну економічність та ін.). Це знижує його продуктивність, збільшує затрати на перевезення, призводить до збільшення трудомісткості та енергоємності перевезень і, зрештою, до зниження безпечності для навколишнього середовища, пасажирів (*passenger*) і водія. Автомобіль втрачає роботоздатність.

Роботоздатність – стан рухомого складу, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність його виконувати транспортну роботу, відповідають вимогам нормативно-технічної документації. Роботоздатність автомобіля пов'язана не тільки зі здатністю його виконувати необхідні функції, а й з тим, щоб при цьому експлуатаційні якості були в допустимих межах. Оскільки автомобіль є системою, яка відновлюється, визначення тактики і стратегії відновлення його роботоздатності має велике значення. Роботоздатний рухомий склад, заправлений мастильними матеріалами і рідинами, має бути готовим до роботи на лінії без додаткового здійснення будь-яких підготовчих робіт, за винятком заправки паливом і теплової підготовки взимку.

Подія, яка полягає в порушенні роботоздатного стану рухомого складу, називається **відмовою**. Вона може статися внаслідок руйнування, деформації або спрацьовування деталей, порушення регулювання механізмів і систем, припинення подачі палива і мастильних матеріалів, а також при зміні робочих характеристик автомобіля (втраті потужності, збільшенні гальмівного шляху), коли вони виходять за межі норм, допустимих за технічними умовами.

Критерії відмов і граничних станів встановлюють у нормативно-технічних документах із метою достовірного визначення технічного стану автомобіля розробником, виробником і споживачем. Критерії відмов автомобіля та його елементів визначають за однією характерною ознакою або за сукупністю ознак нероботоздатного стану.

Критерії граничних станів автомобіля та його елементів встановлюють за характерними ознаками, на підставі яких треба вважати неможливим подальше використання його з таких причин: неусувних порушень безпеки і виходу заданих параметрів за допустимі межі; недопустимого зниження ефективності експлуатації; потреби капітального ремонту.

Ознаками відмов і граничних станів автомобіля є такі: припинення (повне чи часткове) виконання автомобілем заданих функцій; відхилення заданих показників якості за межі визначених норм; відмови і граничні стани складових частин автомобіля, які призводять до припинення (повного чи часткового) функціонування автомобіля або виходу його показників якості за встановлені норми; виникнення процесів, які перешкоджають

функціонуванню автомобіля; досягнення автомобілем призначеного ресурсу або терміну служби; техніко-економічні фактори.

Приклад. Автомобіль складається з таких систем: ресурсних (несуча система, двигун, ходова система та ін.), закінчення ресурсу яких призводить до вичерпання ресурсу автомобіля; нересурсних (електроустаткування і прилади, допоміжні елементи двигуна, кабіна й елементи оперення), ресурс яких закінчується одночасно з вичерпанням ресурсу автомобіля.

Критерії відмов і граничних станів автомобіля в цілому та деяких його складових частин наведено нижче.

Автомобіль

Критерії відмов: відмова ресурсних і нересурсних систем.

Критерії граничних станів: граничні стани ресурсних систем.

Двигун

Критерії відмов: зниження потужності нижче від допустимої; одноразові відмови окремих деталей циліндро-поршневої групи та ін.

Критерії граничних станів: граничне спрацювання шийок колінчастого вала; граничне спрацювання комплекту деталей циліндро-поршневої групи та ін.

Несправність – стан рухомого складу, при якому він не відповідає хоча б одній із вимог нормативно-технічної документації. Є несправності, які не призводять до відмов (руйнування офарблення або деформація кузова автомобіля) і які спричиняють їх (поломка одного з листів ресори).

Рухомий склад із несправними складовими частинами, стан яких не відповідає вимогам безпеки або спричиняє підвищене спрацювання деталей, не повинен продовжувати транспортну роботу або випускатись на лінію. Інші несправності можуть бути усунуті після завершення транспортної роботи в межах змінного або добового завдання.

Роботоздатний стан рухомого складу забезпечується виробничо-технічною службою, яка несе відповідальність за вчасне й доброякісне виконання ТО і ремонту з дотриманням установлених нормативів; ефективну організацію праці ремонтно-обслуговуючого персоналу; дотримання нормативно-технічної документації для ТО і ремонту.

В процесі експлуатації автомобіля в результаті дії на нього цілого ряду чинників (навантажень, вібрацій, вологи, повітряних потоків, абразивних частинок, температури) відбувається безповоротне погіршення його технічного стану, пов'язане із зношуванням і пошкодженням його деталей, а також зміною ряду їх властивостей (пружності, пластичності та ін.).

Зміни технічного стану автомобіля обумовлені роботою його вузлів і механізмів, дією зовнішнього середовища, факторів, пов'язаних з умовами роботи і зберігання автомобіля, а також випадкових факторів, до яких відносяться приховані дефекти деталей автомобіля, перевантаження і под.

1.4 Система управління технічним станом та місце контрольно-діагностичних робіт

Система діагностування, яка складається із об'єкта діагностування та контрольно-діагностичних засобів, відноситься до систем контролю. Але специфіка технічної діагностики заключається в направленості її методів на виявлення стану конкретного автомобіля та відновлення втраченої роботоздатності. При контролі зупиняються на дослідженні системи як цілого, а при діагностуванні досліджується не тільки система в цілому, а також окремі її елементи, бо стан системи є функцією поведінки її окремих елементів.

Діагностування можна розглядати як елемент системи управління. Задача всякого управління – організація і реалізація цілеспрямованої дії на об'єкт управління, яка є процесом пошуку і реалізації заходів для переведення об'єкта до бажаного стану. У даному разі під об'єктом управління будемо розуміти автомобіль в цілому або його окрему систему (агрегат, вузол, з'єднання тощо). При цьому мають виконуватися дві умови: на об'єкт можна впливати і цей вплив може привести до бажаних результатів, тобто може змінити його стан в бажаному для нас напрямку.

На рисунку 1.4 наведена схема системи управління: Y – канал впливу навколишнього середовища на об'єкт; X – канал впливу об'єкта на середовище; U – канал впливу управління на об'єкт. При цьому поняття «вплив» при розв'язанні задач управління суто інформаційне. Виділення об'єкта управління і виявлення каналів впливу проводяться тільки з точки зору заданої цілі управління.

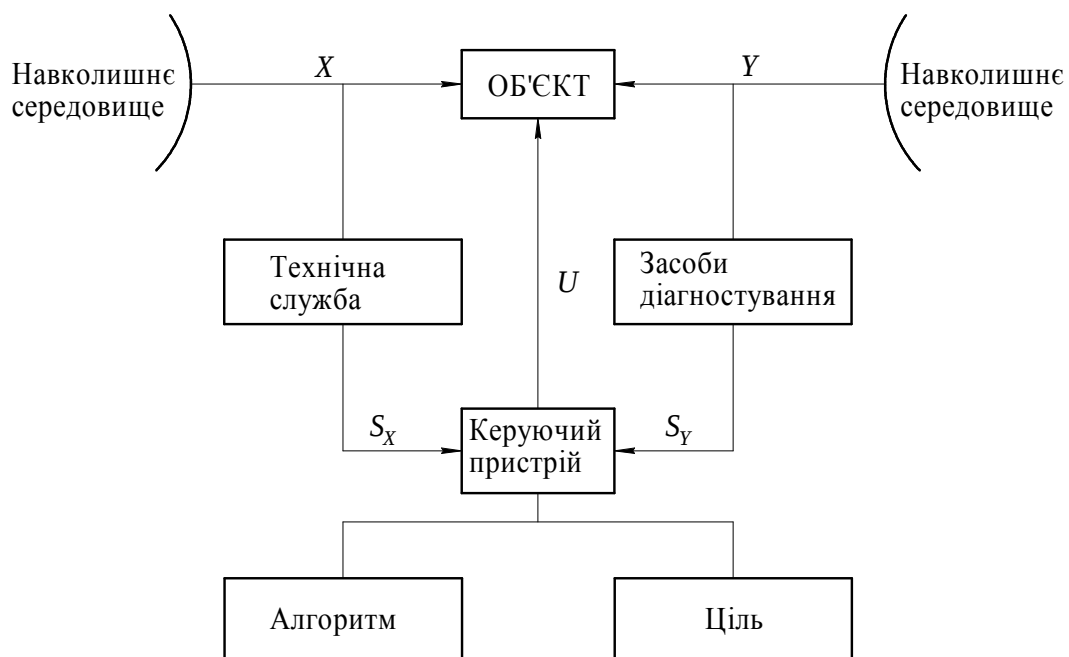


Рисунок 1.4 – Схема системи управління

Ціль управління – сукупність умов, властивостей та вимог, яким повинен відповідати об’єкт. Вона начебто генерує об’єкт управління. Наприклад, автомобільний двигун, як об’єкт управління з точки зору автотранспортного підприємства, виступає в ролі перетворювача теплової енергії X в механічну Y , а з точки зору санітарної інспекції він виступає в ролі генератора шкідливих речовин (оксиду вуглецю, оксиду азоту тощо). Таким чином, об’єкт управління і канали його взаємозв’язку з середовищем повністю визначаються цілями управління.

Під час експлуатації з різних причин об’єкт може і не відповідати цілям управління. Тому процес управління – це процес організації і реалізації цілеспрямованого впливу U на об’єкт. Процес організації також цілеспрямований, тому що він потребує вміння і навичок створювати ціленаправлений вплив. Ці властивості і визначає алгоритм управління.

Алгоритм управління – це сукупність правил, методів і засобів, які утворюють управління. Ціленаправлений вплив (управління) може бути лише тоді, коли відомий дійсний стан S_y об’єкта управління.

Тому організація ефективних процесів діагностування автомобіля в цілому і окремих його елементів – головна мета технічної діагностики автомобілів.

Таким чином, організація оптимального управління характеризується наявністю чотирьох елементів: організації й подачі управляючої дії U , діагностичної інформації S_y про стан об’єкта в даний час та про стан технічної служби автопідприємства S_x ; конкретної мети управління та алгоритму управління. Достатньо виключити хоча б один з названих елементів, і управління об’єктом стає неможливим.

Наявність діагностичної інформації сприяє організації оптимального управління технічним станом автомобілів в умовах автотранспортного підприємства.

1.5 Питання для самоперевірки

1. У чому суть особливостей втрати та відновлення роботоздатності автомобіля?
2. Для яких цілей при діагностуванні автомобіля використовуються перевірки справності, роботоздатності, правильності функціонування та пошук несправностей?
3. Які системи діагностування технічного стану автомобіля найбільше використовуються? Перспективи їх розвитку.
4. Необхідні умови для організації оптимального управління технічним станом автомобіля.
5. У чому головна мета технічної діагностики автомобілів?

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

2.1 Діагностичні параметри. Поняття, класифікація, властивості

Якщо абстрагуватися від внутрішньої структури і процесів, які проходять у середині об'єкта діагностування (ОД), то у загальному випадку його можна розглядати як «чорну скриньку» (рис. 2.1), пов'язану з довкіллям (іншими об'єктами, структурними одиницями, системами, середовищем) через зовнішні зв'язки. Взаємодія ОД із довкіллям характеризується такими параметрами і чинниками: x_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – вхідні параметри; z_k ($k = 1, 2, \dots, l$) – зовнішні шуми; α_γ ($\gamma = 1, 2, \dots, \xi$) – внутрішні завади, що виникають через знос, поломки і дефекти; y_i ($j = 1, 2, \dots, n$) – вихідні параметри.

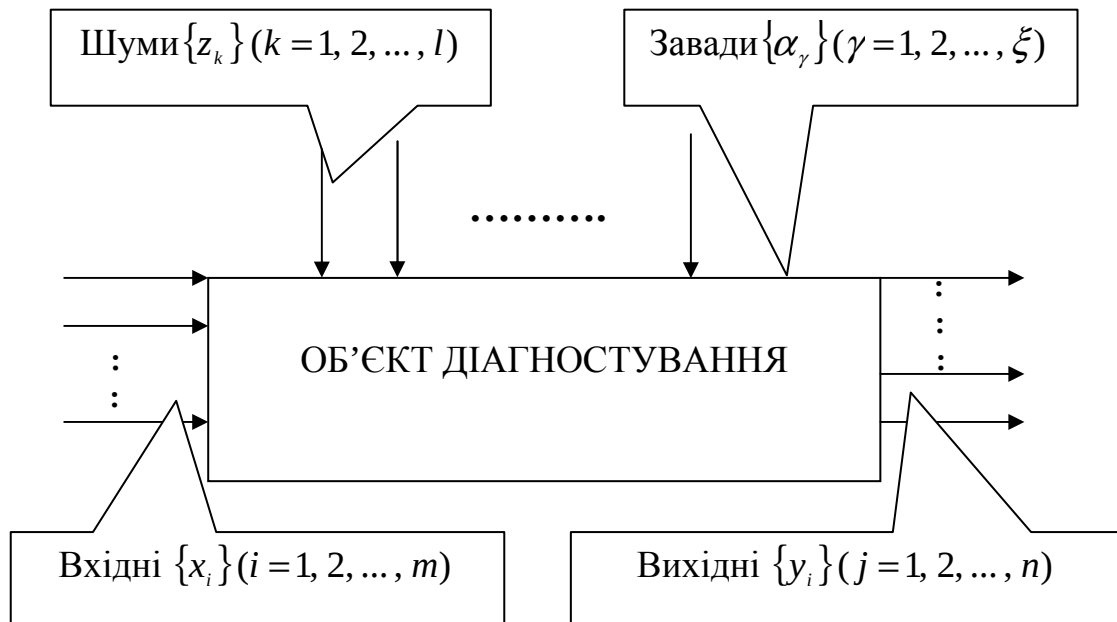


Рисунок 2.1 – Імітаційна схема процесу діагностування

Вхідними називають параметри, які задають умови і обмеження функціонування об'єкта діагностування. Наприклад, для двигунів внутрішнього згоряння вхідними параметрами є навантаження (крутний момент на маховику), ступінь відкриття дросельної заслінки, положення октан-коректора, температура зовнішнього повітря, якість палива тощо. Вхідні параметри з точки зору керування об'єкта діагностування є контрольованими.

Зовнішні шуми – це параметри процесів, джерелами яких є неконтрольовані зовнішні чинники. Якщо, наприклад, об'єкт діагностування – це циліндро-поршнева група двигуна внутрішнього згоряння, робота якої оцінюється за акустичними параметрами, то зовнішніми шумами є па-

раметри, які надходять від інших механізмів двигуна. Зазвичай, елементи множин $\{x_i\}$, $\{y_i\}$, $\{z_k\}$, $\{\alpha_\gamma\}$ – це випадкові послідовності.

Завади – це такі сигнали, які надходять від іншого, неконтрольованого в даний момент джерела, що вносить дезінформацію про технічний стан об'єкта діагностування.

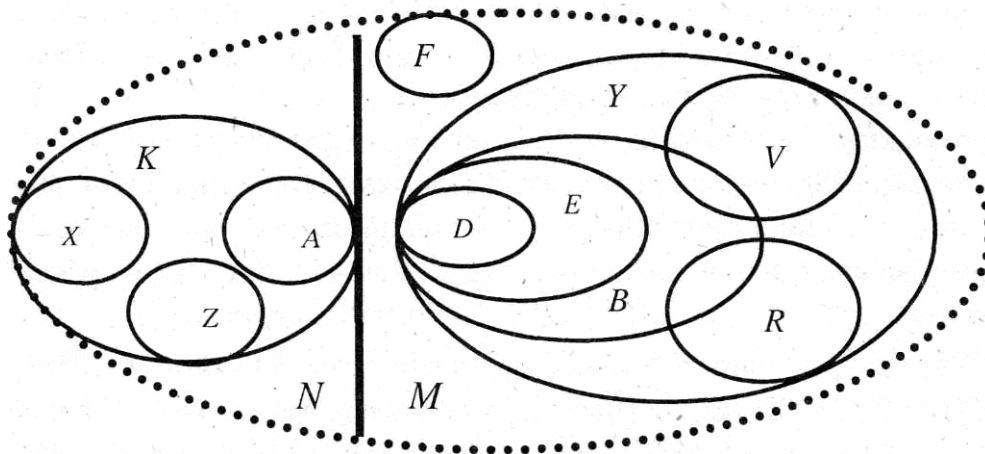
Множину $Y = \{y_i\}$ називають **вихідними параметрами** об'єкта діагностування, які можна реєструвати (для автомобіля – це параметри тягово-швидкісні, витрати палива, керованості, гальмівні, кінематичні, гідравлічні, вібрації, шуму, шкідливих речовин у відпрацьованих газах; для двигуна автомобіля – це ефективна потужність, частота обертання колінчастого вала, витрата палива, температура охолоджувальної рідини, вібрації, шуму; для системи живлення двигуна карбюраторного типу – склад паливної суміші, витрата палива, рівень палива у поплавковій камері, пропускна здатність жиклерів карбюратора, момент увімкнення обмежника обертів, продуктивність прискорювальної помпи карбюратора тощо).

Серед множини вихідних параметрів, що реєструються, є такі підмножини R , $R \subset Y$, $R \neq \emptyset$, які характеризують основні функції процесу, для реалізації якого створено об'єкт діагностування. Вони називаються **робочими характеристиками**. Серед названих вище вихідних параметрів системи живлення робочими характеристиками є витрата палива і склад паливної суміші, оскільки вони відповідають її основному призначенню.

При переході об'єкта діагностування з одного стану в інший елементи множини Y змінюються (рис. 2.2). У загальному випадку значення вихідних параметрів $\{y_i\}$, а, отже, і робочих характеристик R , залежать від декількох чинників: вхідних параметрів $X = \{x_i\}$; зовнішніх шумів $Z = \{z_k\}$; завад зовнішнім параметрам $A = \{\alpha_\gamma\}$, що становлять деяку множину $K[\{x_i\}, \{z_k\}, \{\alpha_\gamma\}]$.

Внутрішні параметри системи діагностування, як і значення величин $\{y_i\}$, змінюються залежно від вхідних сигналів $\{x_i\}$, шумів $\{z_k\}$ і завад $\{\alpha_\gamma\}$. Множину внутрішніх параметрів розбивають на низку підмножин.

Параметри процесу функціонування об'єкта діагностування є характеристиками множини підпроцесів, які становлять основний процес функціонування структурного блока (елемента), що дає змогу виконувати йому своє функціональне призначення. Ці параметри становлять множину F таку, що $F \subset M$. При цьому припускається, що $R \cap F = \emptyset$, а також $Y/R = Y^*$, $Y^* \cap F = \emptyset$, де Y^* – підмножина вихідних параметрів ОД, які не є характеристиками. Якщо, наприклад, основний процес функціонування ОД – це перетворення кінетичної обертової енергії від двигуна в електричну – вироблення постійного струму генераторною установкою, то підмножина F в цьому випадку – це низка параметрів, в тому числі спад напруги на роторі генератора; магнітний потік статора і ротора і таке інше.



N – множина параметрів довкілля; M – множина параметрів системи діагностування;
 K – множина входних параметрів; X – входні (керівні) параметри; Z – зовнішні шуми; A – завади входним параметрам; Y – вихідні параметри системи діагностування;
 V – параметри супутніх процесів; F – параметри функціонування об'єкта діагностування; B – діагностичні параметри; R – робочі характеристики;
 D – структурні параметри, що регламентують наявність дефектів; E – структурні параметри

Рисунок 2.2 – Класифікація параметрів діагностичного експерименту

Множина допоміжних (супутніх) параметрів V , в яку зручно включати величини супутніх процесів чи характеристик, що не реалізують головний робочий процес і побічні явища, що описують – шуми, вібрації, нагрівання, биття тощо. Множина $V \subset M$, крім цього, $R \cap V = \emptyset$.

Структурні параметри об'єкта діагностування об'єднані у підмножину $E \subset M$ і $Y \cap E = \emptyset$, $R \cap E = \emptyset$. Ця група параметрів пов'язана з конструкцією об'єкта діагностування, тобто сюди відносяться фізичні, хімічні, електричні, геометричні властивості структурних блоків, характеристики динамічних ланок, взаємозв'язків тощо. Функціонування об'єкта діагностування тісно пов'язане з його структурою, під якою розуміють сукупність взаємозалежних структурних елементів, властивості і характер яких мають істотне значення для роботоздатності об'єкта діагностування. Структура характеризується низкою кількісних параметрів, що відносяться до класу структурних. Відтворення структурної організації об'єкта діагностування за допомогою структурних параметрів описує його технічний стан, виявлення якого і є **головною задачею технічного діагностування**. Вона змінюється, як відомо, під впливом зовнішніх умов, впливами керування технічним об'єктом, природного старіння і якості виготовлення (початкові умови стану), як наслідок – появою дефектів.

Дефектами в технічній діагностиці називають невідповідність множини наперед заданих значень структурних параметрів об'єкта діагностування еталонним значенням. Якщо технічний об'єкт працює справно, то множина структурних параметрів невідповідності $D = \emptyset$. В іншому разі

задача діагностування полягає у виявленні та оцінці місцезнаходження елементів об'єкта діагностування, які мають дефекти. Частина з них може бути знайдена методом безпосередніх спостережень або вимірювань. Однак, велика частина дефектів визначається за непрямими проявами параметрів множини D у значеннях елементів множин R – характеристик процесів, F – параметрів функціонування, V – супутніх процесів і E – структурних параметрів об'єкта діагностування.

Діагностичними параметрами називаються елементи множин R , F , V , E , які містять інформацію про несправності об'єкта діагностування.

Існують розходження між множинами вихідних величин Y і діагностичних параметрів B . На відміну від параметрів, що утворюють множину вихідних величин, склад яких невідомий і непостійний, на множину діагностичних параметрів накладаються додаткові обмеження. Тому вимоги до складу елементів $b \in B$ пов'язані, насамперед, з контролепридатністю об'єкта діагностування, а також з іншими критеріями оцінки процесу діагностування. Множина діагностичних параметрів B , визначена на множині можливих станів, оптимізованих за будь-яким придатним критерієм (наприклад, максимум інформативності), утворює **робочий діагностичний простір**. Основна задача діагностичного експерименту полягає в опрацюванні значень вихідних параметрів та встановленні їх належності до однієї із множин робочого діагностичного простору.

Характерними прикладами результатів діагностування автомобілів є висновки типу: справний, несправний, роботоздатний, нероботоздатний, функціонально придатний або непридатний, в автомобілі або в певному його елементі, є той чи інший дефект, та чи інша несправність, збій тощо. Справний і всі несправні стани утворюють скінченну множину технічних станів об'єкта діагностування. Якщо вони є наперед відомі, то їх розпізнавання називають **класифікацією**.

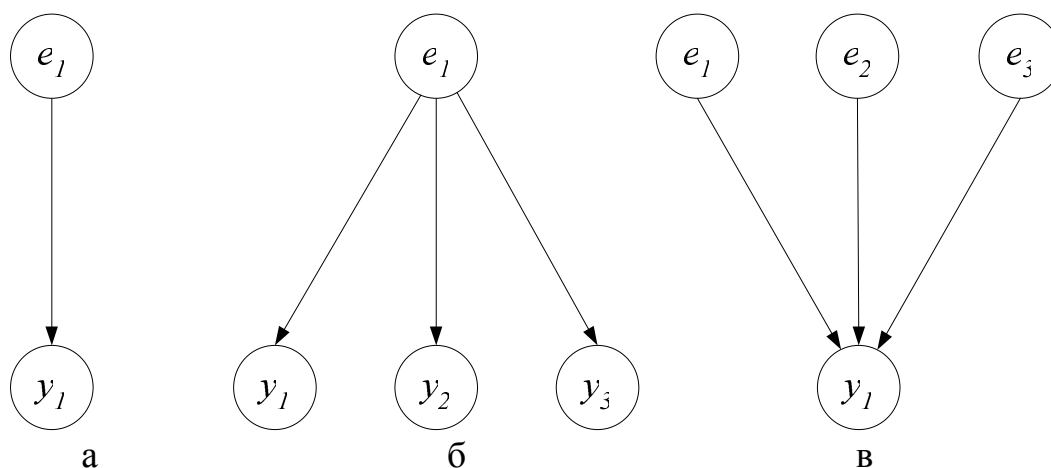
Під час експлуатації автомобіля його деталі, вузли, агрегати зношуються, відбувається розрегулювання систем і механізмів, тобто змінюються значення структурних параметрів. Щоб виявити цю зміну, треба виконати трудомісткі розбирально-складальні операції. Це стосується, наприклад, таких параметрів, як зазори у спряженнях деталей циліндропоршневої групи двигуна, нещільності у системі живлення дизелів, люфти в підшипникових вузлах тощо. Розбирання об'єкта діагностування під час визначення його технічного стану є невиправданим (не підтверджується гіпотеза про несправний технічний стан) або навіть шкідливим (порушується припрацювання у спряженнях механізмів). Зміна структурних параметрів супроводжується зміною параметрів робочих і супутніх процесів автомобіля, які можна спостерігати і виміряти ззовні, без розбирання або з частковим розбиранням об'єкта діагностування. Наприклад, через зношування корінних та шатунних підшипників і шийок колінчастого вала збільшується витікання масла і знижується тиск у системі змащування двигуна. Якщо ці функціональні параметри мають достатню і однозначну

інформацію про стан об'єкта діагностування, то їх можна віднести до діагностичних, які опосередковано характеризують технічний стан.

Зв'язки між структурними і діагностичними параметрами можна умовно поділити на три групи: **однозначні**, **множинні**, **неоднозначні**, **випадкові**.

Однозначні зв'язки (рис. 2.3, а) характеризуються тим, що зміна одного діагностичного параметра y_1 , спричинена зміною лише одного структурного параметра e_1 .

Такі зв'язки описуються однозначними алгебраїчними функціями (лінійними, показниковими тощо). За їх допомогою можна майже безпомилково визначити технічний стан об'єкта діагностування за вимірним діагностичним параметром. Проте такі зв'язки зустрічаються на практиці діагностування автомобілів дуже рідко. До них можна віднести зазор у спряженні підшипника ковзання типу «вал-втулка», який призводить до збільшення амплітуди вібрацій вала; зниження герметичності плунжерних пар – до втрати тиску подачі палива.



а – однозначний; б – множинний; в – неоднозначний

Рисунок 2.3 – Схеми зв'язків між структурними і діагностичними параметрами

Множинні зв'язки (рис. 2.3, б) характеризуються тим, що один структурний параметр e_1 впливає на зміну декількох діагностичних y_1 , y_2 , y_3 . Фактично множинний зв'язок можна звести до однозначного, якщо застосувати декомпозицію залежностей. Наприклад, збільшення зазору у підшипниках колінчастого вала двигуна призводить до зниження тиску масла, підвищення рівня вібрації, стукотів, росту концентрації продуктів зносу в маслі. Кожна з цих залежностей може бути окремим самостійним методом діагностування, доповнюючи одна одну.

Неоднозначні зв'язки (рис. 2.3, в) характерні тим, що зміна одного діагностичного параметра y_1 зумовлена зміною декількох структурних e_1, e_2, e_3 . Наприклад, зниження компресії в циліндрах двигуна (діагностичний параметр) може бути спричинене декількома структурними параметрами: збільшенням зазорів у спряженнях деталей циліндро-поршневої групи, пошкодженням прокладки головки блока, нещільністю прилягання клапанів газорозподільного механізму до сідел. Невизначені зв'язки не можна описати алгебраїчними функціями, проте вони використовуються під час діагностування, оскільки дають змогу своєчасно визначити відхилення будь-якого із структурних параметрів від встановлених норм.

Випадкові зв'язки діагностичних і структурних параметрів характеризуються тим, що проявляються лише за певних обставин з певною ймовірністю. Вони зумовлені наявністю шумів, завад, а також невизначених зв'язків. Випадкові зв'язки можна оцінювати коефіцієнтом кореляції або описувати імовірнісними функціями. Якщо коефіцієнт кореляції між структурним і діагностичним параметром близький до одиниці, то випадковий зв'язок переходить в ранг однозначного, якщо близький до нуля, то до невизначеного.

Діагностичні параметри класифікують за різними ознаками (табл. 2.1). Наприклад, за видом процесів, що відбуваються в об'єкті діагностування, діагностичні параметри поділяються на параметри робочих процесів, супутні та структурні (геометричні). За обсягом і характером інформації, яка передається, – на **часткові, загальні і взаємозалежні**.

Часткові діагностичні параметри незалежно від інших вказують на певну конкретну несправність. Наприклад, кут замкнутого стану контактів переривника-розподільника визначає зазор у контактах переривника. Часткові діагностичні параметри, як правило, пов'язані із структурними однозначними зв'язками.

Загальні діагностичні параметри характеризують технічний стан об'єкта діагностування в цілому. Наприклад, вільний хід вихідного вала коробки передач характеризує її загальний технічний стан, але не стан конкретної зубчастої пари.

Взаємозалежні діагностичні параметри вказують на несправність об'єкта діагностування тільки за сукупністю декількох вимірних параметрів. Наприклад, знос поршневих кілець визначається тиском у циліндрі наприкінці такту стиску, проривом відпрацьованих газів у картер двигуна, наявністю «хлопавок» у карбюраторі під час пуску двигуна.

Зміну параметрів як носія діагностичної інформації називають сигналом. Сигнали бувають дискретні і неперервні. Неперервними називають сигнали, за яких параметр змінюється плавно, залишаючись функцією часу.

Таблиця 2.1 – Класифікація діагностичних параметрів

Класифікація і ознака	Діагностичні параметри	
	Класи	Приклади
Джерело інформації	Робочих процесів	Потужність двигуна, гальмівна сила
	Супутніх процесів	Вібрація, нагрівання, шум
	Геометричні	Натяг паса, висота рисунка протектора шини, товщина гальмівної накладки
Обсяг інформації, що передається	Часткові	Кут замкненого стану контактів переривника-розподільника
	Загальні	Сумарний люфт трансмісії, гальмівний шлях, люфт кермового колеса
	Взаємозалежні	Витрата картерних газів, компресія в циліндрах, витрата масла, колір випускних газів
Зміст інформації, що передається	Про технічний стан об'єкта діагностування	Рівень компресії у циліндрах двигуна характеризує технічний стан циліндро-поршневої групи
	Про функціональні можливості об'єкта діагностування	Максимальний крутний момент двигуна характеризує здатність агрегату виробляти кінетичну енергію
	Комбіновані	Тиск масла в гідросистемі підйому кузова автомобіля-самоскида характеризує технічний стан агрегатів гідросистеми і здатність автомобіля самоскида самовивантажуватися
За типом величин	Дискретні	Наявність/відсутність підтікання рідини – сигнал про граничний тиск масла, граничну температуру охолоджувальної рідини
	Неперервні	Величина компресії, сила зарядного струму, напруга, частота обертання, витрата палива
За фізичним змістом	Вібраційні	Амплітуда, частота, віброприскорення
	Акустичні	Сила звуку, частота
	Напруження, деформації, сили	Зусилля стискання пружин підвіски, напруження у важелях незалежної підвіски, напруження болтів кріплення корпусних деталей
	Стану контактних середовищ	Вміст продуктів зносу в маслі, склад відпрацьованих газів, охолоджувальної рідини
	Зміни параметрів робочого процесу	Частота обертання, тиск, температура, витрата рідини, газу
	Дефектоскопії	Інтенсивність ультразвуку, ультрафіолетове випромінювання, огинання магнітними лініями перешкоди
	Оптичні	Візуальні спостереження з діаметром поля зору 3-20 мм

Прикладом може служити сигнал від датчика температури охолоджувальної рідини двигуна автомобіля, який реєструється стрілковим приладом. Дискретні сигнали характеризуються короткочасними (імпульсними) змінами параметра носія діагностичної інформації. У проміжках між імпульсами змін параметр набуває так званого нульового рівня. Дискретні сигнали виражають розряди (інтервали), які називаються діагностичними ознаками. Якщо технічний стан об'єкта діагностування описується простими діагностичними ознаками (параметр реалізований, нереалізований), то компоненти вектора вихідних параметрів Y виражаються числами 0, 1.

За змістом інформації, яка передається, діагностичні параметри поділяють на три групи: параметри, що надають інформацію про технічний стан об'єкта, але не характеризують його функціональні можливості; параметри, що надають інформацію про функціональні можливості об'єкта, але не надають про його технічний стан; параметри (комбіновані), що надають інформацію як про технічний стан об'єкта, так і про його функціональні можливості.

Діагностичні параметри, які використовуються для визначення технічного стану машин (температура, шум, вібрація, герметичність, тиск, витрата масла тощо), в основному, опосередковано характеризують структурні параметри елементів автомобіля. У тому разі, коли структурний параметр визначається під час діагностування прямим вимірюванням, він виступає одночасно і як діагностичний параметр. Структурні параметри, в свою чергу, можна розділити на дві групи: ресурсні і функціональні параметри машини чи її складових частин.

Ресурсним називають структурний параметр, вихід якого за гранично допустиме значення зумовлює втрату роботоздатності об'єкта з причини вичерпання ресурсу. Відновлюють його за допомогою капітального або поточного ремонту. До ресурсних параметрів відносяться: зазори у спряженнях гільза-поршень, підшипник-шийка вала, знос спряження клапан-гніздо, голка-корпус розпилювача форсунки, знос фрикційних накладок зчеплення, шестерень, шліців, валів коробки передач тощо.

Функціональним називають параметр, вихід якого за граничне значення обумовлює втрату роботоздатності об'єкта діагностування або несправність його складових частин. Відновлюють під час технічного обслуговування або поточного ремонту. До таких параметрів відносяться: ефективна потужність двигуна, частота обертання колінчастого вала, фази паливоподачі і газорозподілу, тепловий зазор у клапанному механізмі, подача масляної помпи, тиск відкриття перепускного і запобіжного клапанів, тиск повітря у шинах, кути встановлення керованих коліс, напруга на елементах акумуляторної батареї тощо.

Неважко помітити, що функціональні параметри – це, звичайно, вихідні технічні і робочі характеристики машини та її агрегатів, що інтегрально відображають певну сукупність структурних параметрів. Якщо

об'єкт діагностування характеризує сукупність елементів і зв'язки між ними, то саме функціональні параметри визначають ці зв'язки.

Основні властивості діагностичних параметрів: чутливість, однозначність, стабільність, інформативність відносно визначення причинно-наслідкових зв'язків із структурними параметрами.

Під чутливістю діагностичного параметра k_x будемо розуміти відношення приросту параметра ds до відповідної зміни dx структурного параметра:

$$k_x = \frac{ds}{dx}.$$

Чим більша ця величина, тим діагностичний параметр чутливіший до зміни структурного параметра.

Однозначність діагностичного параметра визначається монотонно зростаючою або спадаючою залежністю його структурних параметрів в діапазоні від початкової X_m до граничної X_n зміни структурного параметра. При вимірюванні діагностичного параметра завжди будуть присутні випадкові фактори, що знижують точність вимірів. У такому разі стабільність визначається дисперсією результату виміру і характеризує ступінь розсіювання параметра при незмінних умовах виміру.

Інформативність I_i діагностичного параметра визначається зниженням вихідної ентропії H_x (тобто невизначеності технічного стану системи) на величину H_i після використання інформації, одержаної при визначенні діагностичного параметра:

$$I_i = H_x - H_i.$$

Ентропія об'єкта H_x характеризується кількістю його технічних станів (наприклад, відмов), кожний з яких може існувати з певною ймовірністю P_i , що залежить від надійності об'єкта:

$$H_x = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i. \quad (2.1)$$

Ентропія H_x (вихідна невизначеність технічного стану даної системи) є ймовірністю наявності в ньому несправності, яку виявляють за допомогою діагностичного параметра, а ентропія H_i – ймовірністю тієї самої несправності системи після діагностування.

Таким чином, інформативність діагностичного параметра є ймовірністю правильної постановки діагнозу в результаті його використання. Інформативність діагностичних параметрів є їх визначною якістю при діаг-

ностуванні великих систем, які можуть бути в кількох станах. Найінформативнішим буде той параметр, який може з'явитись і досягнути допустимої величини при одній з ймовірних несправностей, а найменш інформативним – який з'являється при всіх несправностях.

Перелічені якості діагностичних параметрів залежать від навантажувального, теплового та швидкісного режимів функціонування діагностичних систем. Тому на практиці для одержання порівняльних результатів і повної інформації використовують певні навантажувальні, теплові та швидкісні тестові режими.

Приклад. Розглянемо обґрунтування та вибір діагностичних параметрів встановлення керованих коліс автомобіля. Зупинимось на одному з можливих варіантів рішення поставленої задачі. Вираз для пружної сили $P_e = C_{ny}$ виникає в чутливих елементах вимірювального пристрою під впливом сил пружності несиметричної шини при її коченні із сходженням та розвалом. Використовуючи формули для визначення кінематичних коефіцієнтів, одержуємо вираз для бокової сили:

$$P_y = K_y \theta_o - K_\alpha \alpha_o + \sigma R_2 \gamma \theta_o - R_{yn}, \quad (2.2)$$

де K_y , K_α – коефіцієнти опору відповідно боковому відведенню та нахилу автомобільного колеса.

Для діагностування величиною $\sigma R_2 \gamma \theta_o$ в формулі (2.2) можна знехтувати. Розглянувши прямолінійне усталене кочення колеса по вимірювальному пристрою при зміні напрямку його обертання, отримаємо ще один вихідний параметр:

$$P_y'' = -K_y \theta_o - K_\alpha \alpha_o - R_{yn}. \quad (2.3)$$

Піврізниця цих вихідних параметрів:

$$D_\theta = (P_y - P_y'') / 2 = K_y \theta_o \quad (2.4)$$

однозначно пов'язана із сходженням і є його діагностичним параметром.

Півсума цих параметрів:

$$D_\alpha = (P_y + P_y'') / 2 = -K_\alpha \alpha_o - R_{yn} \quad (2.5)$$

несе інформацію про стан розвалу та несиметричності шини.

Визначивши величину розвалу і знаючи коефіцієнт опору нахилу колеса, знайдемо діагностичний параметр розвалу колеса:

$$D_\alpha^\alpha = K_\alpha \alpha_o. \quad (2.6)$$

Тоді діагностичний параметр несиметричності шини:

$$D_n = D_\alpha - D_\alpha^\alpha = -R_{yn}. \quad (2.7)$$

Таким чином, вимірявши вихідні параметри P_y , P_y'' , α_o в положенні прямолінійного усталеного руху, отримаємо діагностичні параметри D_θ , D_α^α , D_n , які однозначно оцінюють структурні параметри встановлення коліс, враховуючи також характеристики колеса, що котиться.

Сучасні автомобілі оснащують бортовими системами діагностування. Традиційні тестові системи діагностування відходять в минуле. У зв'язку з цим постає питання вибору тих діагностичних параметрів, які потрібно визначати у функціональних системах діагностування. Вибір діагностичних параметрів для оцінювання технічного стану об'єкта діагностування здійснюють з номенклатури, що рекомендується державними стандартами та іншою нормативно-технічною документацією.

2.2 Діагностичні нормативи технічної діагностики

Кількісна оцінка технічного стану системи, що діагностується, здійснюється за діагностичними нормативами. На рисунку 2.4 зображено схему формування діагностичних нормативів для випадку лінійної реалізації діагностичного параметра S .

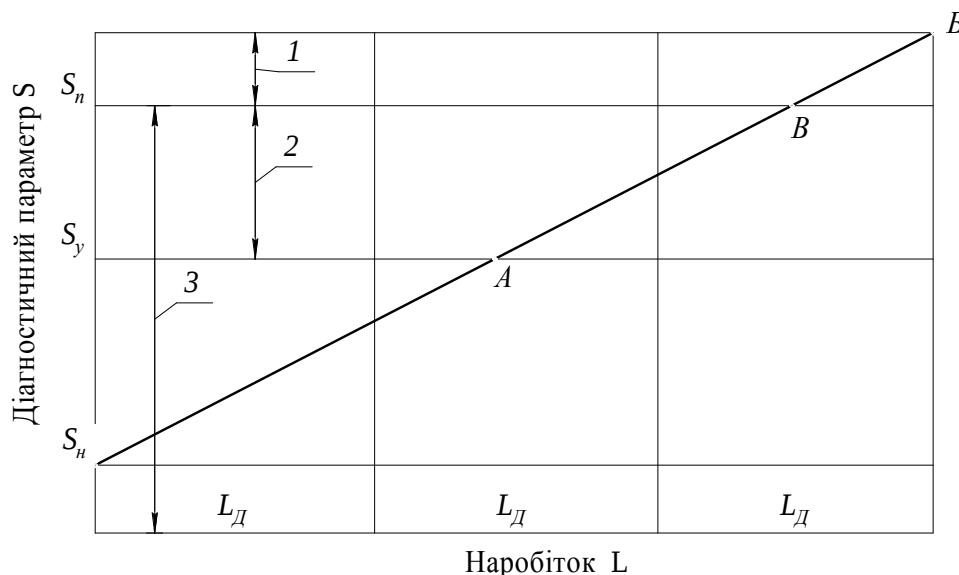


Рисунок 2.4 – Схема формування діагностичних нормативів

До діагностичних нормативів належать початковий діагностичний параметр S_n , його граничне значення S_r , при якому виникає можливість появи відмови, випереджальна або допустима величина S_y при заданій періодичності діагностування I_d . Визначення технічного стану в даний момент відбувається шляхом порівняння вимірювального діагностичного параметра S_i з граничною величиною S_r й прогнозування його роботоздатності в період майбутнього виробітку I_d порівнянням S_i з S_y .

Діагностичні нормативи поділяють на дві групи: встановлені стандартами та обумовлені нормативно-технічною документацією заводів-виробників.

Перша група – діагностичні нормативи, які характеризують технічний стан механізмів та вузлів, що забезпечують безпеку руху та негативно впливають на навколишнє середовище: шлях гальмування, час спрацьовування приводу гальмування, гальмувальні сили на колесах, наявність шкідливих компонентів відпрацьованих газів, рівень шуму тощо.

Друга група – діагностичні нормативи, пов'язані з технічними допусками структурних параметрів або з оптимальними показниками надійності та економічної роботи автомобіля. Нормативи структурних параметрів встановлюються на стадії проектування та конструювання автомобіля. Наприклад, зазори в клапанному механізмі, контактах переривника, кривошипно-шатунному механізмі, шкворневому з'єднанні, кути встановлення коліс тощо.

Серед нормативних параметрів першої та другої груп виділяється проміжна група, яка характеризується неможливістю використання єдиного нормативу для різних умов експлуатації. Ці параметри пов'язані з підвищеною витратою палива, зниженням потужності двигуна, зносом шин, зниженням надійності деталей та вузлів і т. д. Особливістю нормативів даної групи є їх значна залежність від умов експлуатації, «старості» автомобіля. В силу цього слід коригувати нормативи відповідно до конкретних умов експлуатації.

Визначення або коригування нормативних показників проміжної групи проводиться на основі статистичного методу, запропонованого Л. В. Мірошниковим. Суть методу полягає в тому, що разова вибірка значень діагностичного параметра, який вимірюється на достатній сукупності об'єктів, буде відповідати як справному, так і несправному стану. При цьому припускається, що параметри несправного стану будуть підкорятися іншій закономірності розподілення, ніж відповідні справному стану. Закономірність розсіювання параметрів справних об'єктів може бути апроксимована ймовірним теоретичним законом $f(s)$. На основі теоретичного розподілу значень параметра для справного об'єкта область допустимого в експлуатації розсіювання діагностичного параметра можна обмежити границями з потрібним рівнем ймовірності справної роботи. Одержані таким

чином границі і будуть нормативними значеннями діагностичних параметрів.

Головна трудність при теоретичному розподілі полягає у виділенні із сукупності параметрів тієї частини даних, що відповідає справному стану. Для цього проводять кілька послідовних розрахунків, при яких змінюються границі вибірки $S_{\min} - S_{\max}$. Границі $S_{\min} - S_{\max}$ повинні мати номінальне значення S_i . Параметри теоретичного закону розраховуються ймовірнісними методами за гістограмою розподілу. Закон вважається підібраним, якщо ймовірність погодження його з гістограмою, яка визначається за критерієм «хі-квадрат» Пірсона в межах $S_{\min} - S_{\max}$, буде більшою, але не нижчою 0,3.

Значення інтервалу ΔS для побудови гістограми визначають за формулою Стеджерса:

$$\Delta S = (S_{\max} - S_{\min}) / (1 + 3,3 \lg N_s),$$

де N_s – кількість дослідних даних, які знаходяться всередині інтервалу $S_{\min} \dots S_{\max}$.

Порядок визначення нормативів для цієї групи такий:

1) провести разове вимірювання діагностичного параметра у 40-60 автомобілів, що знаходяться в експлуатації;

2) одержані значення параметрів розставити в порядку їх збільшення. Вибрати спочатку групи вибірки $S_{\min} \dots S_{\max}$, що мають номінальне S_n ;

3) визначити для вибірки $S_{\min} \dots S_{\max}$ інтервал ΔS за формулою Стеджерса, побудувати гістограму, визначити середнє значення S_{cp} та дисперсію D_s ;

4) за значеннями S_{cp} та D_s визначити теоретичний закон розподілу $f(s)$ і знайти за критерієм Пірсона ймовірність його узгодження з гістограмою в діапазоні $S_{\min} \dots S_{\max}$;

5) послідовно змінити границі вибірки так, щоб ймовірність узгодження заново розрахованих теоретичних законів збільшилась;

6) використовуючи підібраний теоретичний закон $f(s)$ та прийнятий рівень ймовірності ($P \leq 0,85$ або $P \geq 0,95$), визначити діапазон розсіювання діагностичного параметра, границі якого і будуть нормативами для даних умов. Для нормального закону розподілу вони складають:

$$A_{0.85} = S_{cp} \pm 1,5 \sqrt{D_s};$$

$$A_{0.95} = S_{cp} \pm 2,0 \sqrt{D_s}.$$

Одержані значення в'язкості в сантистоксах розмістити в порядку збільшення: 4,2; 4,6; 6,0; 6,9; 7,3; 7,3; 7,4; 7,4; 7,4; 7,6; 7,7; 7,7; 7,7; 7,7; 7,8; 7,8; 7,8; 8,0; 8,0; 8,0; 8,2; 8,2; 8,3; 8,3; 8,3; 8,5; 8,5; 8,5; 8,5; 9,0; 9,0; 9,6; 9,7; 9,8; 9,8; 10,1; 10,1; 10,1; 10,1; 10,3; 10,3; 10,3; 10,3; 10,6; 10,6; 10,6; 10,6; 10,6; 11,0; 11,0; 11,0; 11,0; 11,3; 12,3; 12,6. Номінальне значення $S_n = 8,0$. Найчастіше зустрічаються результати в межах 6,9...11,3 сСт, які можна взяти для попереднього розрахунку. Тоді $N_s = N_l = 53$ і значення ΔS буде дорівнювати 0,7 сСт. На цих значеннях будемо гістограму (рис. 2.5).



32

Розрахунок параметрів теоретичного закону $f_1(s)$ та значення X^2 наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів теоретичного закону $f_1(s)$

Параметр	Значення							
S	6,8	7,5	8,2	8,9	9,6	10,3	11,0	11,7
S_i	7,15	7,85	8,55	9,25	9,95	10,65	11,35	
n_i^*	6	16	7	3	11	9	1	
$f_i = n_i^* / N_1^*$	0,113	0,302	0,132	0,056	0,208	0,170	0,019	
$S_i f_i^*$	0,81	2,37	1,13	0,52	2,07	1,81	0,22	
$(S_{cp} - S_i)^2 f_i^*$	0,390	0,328	0,027	0,007	0,230	0,520	0,114	
$t = (S - S_{cp}) / \sigma_s$	-1,70	-1,13	-0,57	0	0,57	1,13	1,70	2,26
$F(s) = 0,5 + \Phi(t)$	0,045	0,129	0,285	0,500	0,715	0,871	0,955	0,988
$f_i = F(S_{k+1}) - F(S_k)$	0,084	0,156	0,215	0,215	0,156	0,084	0,033	
$n_i = N_1^* f_i$	4,45	8,25	11,4	11,4	8,25	4,45	1,75	
$(n_i^* - n_i)^2 / n_i$	0,54	7,30	1,70	6,20	0,92	4,65	0,32	

Теоретичну кількість випадків n_i значення параметра в наявному інтервалі розраховують за допомогою параметра t нормувального розподілу, а ймовірність $F(s)$ визначають за табличними значеннями функції Лапласа $\Phi(t)$. При цьому $\Phi(-t) = -\Phi(t)$. Оскільки теоретичний закон обмежений границями $S_{\min} \dots S_{\max}$, то $\sum n_i < \sum n_i^*$. Це призводить до збільшення значення X^2 і внаслідок цього до зниження ймовірності погодження $P_{\text{пог}}$. При великому розходженні між $\sum n_i$ та $\sum n_i^*$ для більш точних розрахунків значення n_i коригують діленням на величину $\sum f_i \geq 0,9$. При цьому додавання проводиться в межах $S_{\min} \dots S_{\max}$. Теоретичний закон $f(s)$ на рис. 2.5 будується за значеннями n_i , а відповідні точки відкладаються всередині інтервалу.

Ймовірність погодження $P_{\text{пог}}$ залежно від значення X^2 визначається з таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення функції X^2 залежно від ступеня K та довірчої ймовірності погодження $P_{\text{пог}}$

K	$P_{\text{пог}}$									
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05
1	0,000	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84
2	0,020	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,410	3,220	4,60	5,99
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,370	3,660	4,640	6,250	7,82
4	0,297	0,711	1,064	1,649	2,100	3,360	4,880	5,990	7,780	9,49
5	0,554	1,145	1,610	2,340	3,000	4,350	6,060	7,290	9,240	11,07

При цьому кількість ступенів свободи K , яка дорівнює кількості інтервалів гістограми, повинна бути зменшена на три через такі необхідні зв'язки:

$$\sum f_i^* = 1, S_{cp} = S_i f_i^* ;$$

$$D_s = \sum (S_i - S_{cp})^2 f_i^* .$$

Таким чином, $P_{\text{лог}}$ буде мати значення $1 \leq 0,05 \leq 0,3$.

Аналіз рис. 2.5, а та таблиці 2.2 показує, що низька ймовірність погодження одержана через присутність в межах 6,8...11,7 сСт значень діагностичних параметрів, що характеризують несправний стан фільтрів.

Підвищення ймовірності можливе при звуженні вибірки в межах 6,9...9,3 сСт при N_s , $\Delta S_2 = 0,4$. Одержана таким чином гістограма (рис. 2.5, б) апроксимується асиметричним γ -розподілом з параметром зміщення S_0 виду:

$$f(s) = \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^2 (s - S_0)^{r-1} e^{-\lambda(s - S_0)} ; s \geq S_0 ,$$

де $\lambda = (S_{cp} - S_0) / D_s$, $r = (S_{cp} - S_0)^2 / D_s$ – параметри розподілу.

Беремо $S_0 = 7,2$, використовуючи зовнішній вигляд гістограми (рис. 2.5). При цьому $N_2 = 31$.

Розрахунки теоретичного закону $f_2(s)$ та значення X^2 наводяться в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок параметрів теоретичного закону $f_2(s)$

Параметр	Значення						
S	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6
S_i	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	
n_i^*	6	10	8	4	2	1	
$f_i = n_i^* / N_1^*$	0,19	0,32	0,26	0,13	0,06	0,03	
$S_i f_i^*$	1,41	2,50	2,14	1,13	0,54	0,28	
$(S_{cp} - S_i)^2 f_i^*$	0,068	0,013	0,010	0,047	0,060	0,059	
$\lambda(S - S_0)$	0	1,24	2,48	3,72	4,96	6,20	7,44
$F(s) = 0,5 + \varnothing(t)$	0,00	0,23	0,55	0,82	0,92	0,97	0,99
$f_i = F(S_{k+1}) - F(S_k)$	0,23	0,32	0,27	0,10	0,05	0,02	
$n_i = N_i^* f_i$	7,1	9,9	8,4	3,1	1,55	0,62	
$(n_i^* - n_i)^2 / n_i$	0,17	0,00	0,02	0,26	0,13	0,23	

Ймовірність $F(s)$ визначається добутком $\lambda(S - S_o)$ за допомогою номограми нормованої функції $R(s)$ при нульовому значенні параметра зміщення (рис. 2.6). Одержана ймовірність погодження $P_{\text{пог}} \leq 0,8$ для вибірки є найбільшою, тому знайдений теоретичний закон $f_2(s)$ можна використати для визначення нормативного показника.

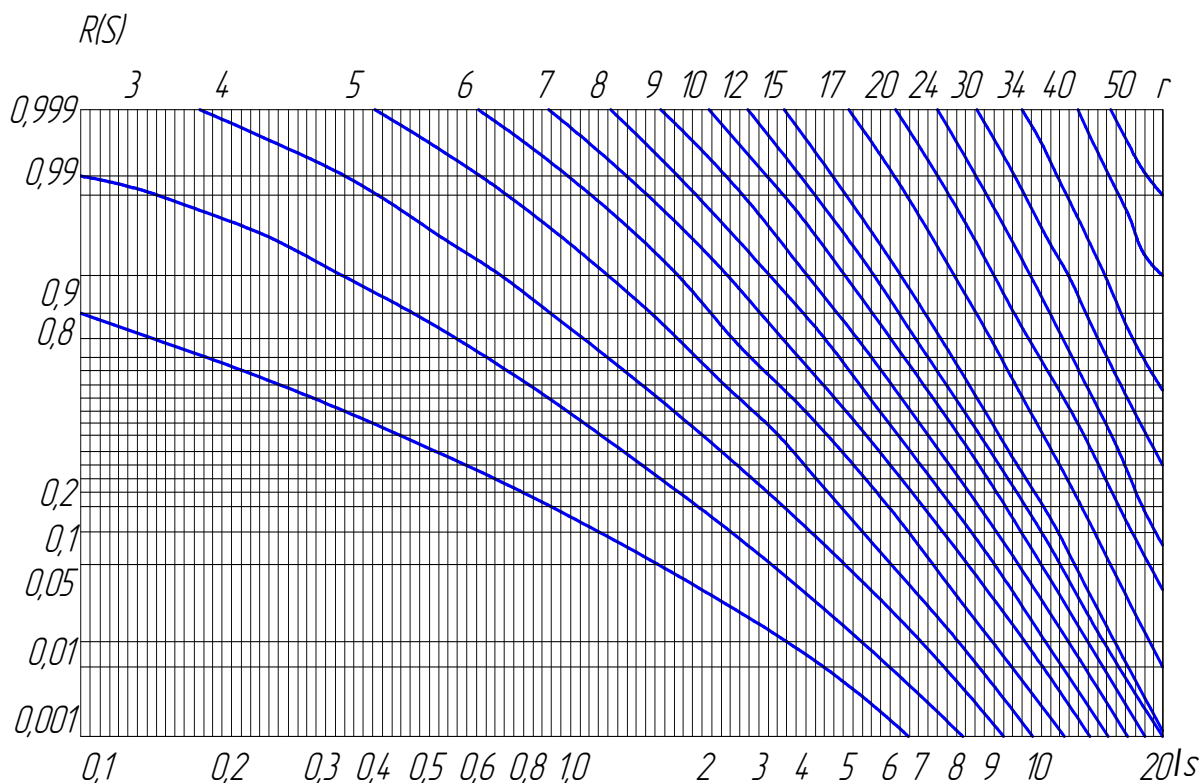


Рисунок 2.6 – Номограма для визначення функції ймовірності за γ -розподілом

Для даного прикладу потрібно двостороннє обмеження $f_2(s)$, нижнє значення якого в разі γ -розподілу дорівнює параметру зміщення $S_{\text{нmin}} = S = 7,2$ сСт, верхнє із ймовірністю $P \geq 0,95$ буде $S_{\text{нmax}} = 9,0$ сСт.

Розглядаючи інтегральну криву 1 (рис. 2.5, б), дійдемо висновку, що 8 % перевірених двигунів мали несправності в системі живлення, а 42 % працювали з несправними повітряними та масляними фільтрами.

2.3 Діагностичні моделі

Технічна діагностика застосовується на кожному етапі життєвого циклу автомобіля. Проте, найвищі вимоги і найскладніші задачі стоять перед нею на етапі експлуатації.

Під час комерційної експлуатації автотранспортного засобу найчастіше використовують спостереження за функціональними параметрами ав-

томобіля, такими як тягово-швидкісні, активної та пасивної безпеки. Перехід автомобіля у підсистему технічної експлуатації (технічного обслуговування і ремонту) здійснюється на підставі загального діагностування, після якого приймається рішення про його роботоздатність.

Поелементна діагностика застосовується для того, щоб виявити місце виникнення несправності. Якщо автомобіль роботоздатний, то результати діагностування використовують для подальшого прогнозування його залишкового ресурсу.

Отже, основними задачами технічної діагностики автомобілів є: визначення справності і роботоздатності об'єкта діагностування; виявлення відмови і локалізація дефектів; прогнозування залишкового ресурсу.

Розв'язування цих задач повинно супроводжуватись мінімальними витратами ресурсів на контрольно-вимірювальні операції, достатнім рівнем точності і, відповідно, вірогідністю результатів. Кожній з трьох задач відповідає певний методологічний апарат. Враховуючи, що для розв'язування діагностичних задач використовуються інформаційно-аналітичні бази, можна виділити загальну схему розв'язування.

Початковою у розв'язуванні є база знань, яка включає опис з певною мірою деталізації кожного з відомих технічних станів автомобіля; закономірності функціонування об'єкта діагностування; способи та засоби діагностування і фізичні процеси, пов'язані з ними.

Спосіб генерації діагностичної інформації дає відповідь на питання про те, як і де вимірювати вихідні параметри, як перетворити їх в ознаки технічного стану, якою є міра діагностичного сигналу? Вибір діагностичних параметрів залежить від властивостей об'єкта діагностування, засобів діагностування, обраних критеріїв.

Методика діагностичних досліджень включає в себе сукупність способів вимірювання діагностичних параметрів, а також методів їх опрацювання і прийняття рішення. Для забезпечення потрібного рівня вірогідності діагнозу діагностичні дослідження повторюють з уточненням умов за кожну ітерацію. Прийняте рішення порівнюють з результатами прогнозування, отриманими раніше.

Діагностична інформація, методи досліджень, властивості системи діагностування відображаються у діагностичних моделях.

Оптимальні рішення про ремонтно-обслуговувальні дії можуть бути отримані в результаті аналізування множини технічних станів, в яких об'єкт діагностування може знаходитися в період експлуатації. Для цього потрібно застосовувати методи, які ґрунтуються на дослідженні графоаналітичних подань властивостей об'єкта діагностування, що називаються діагностичними моделями, їх класифікація наведена на рис. 2.7.

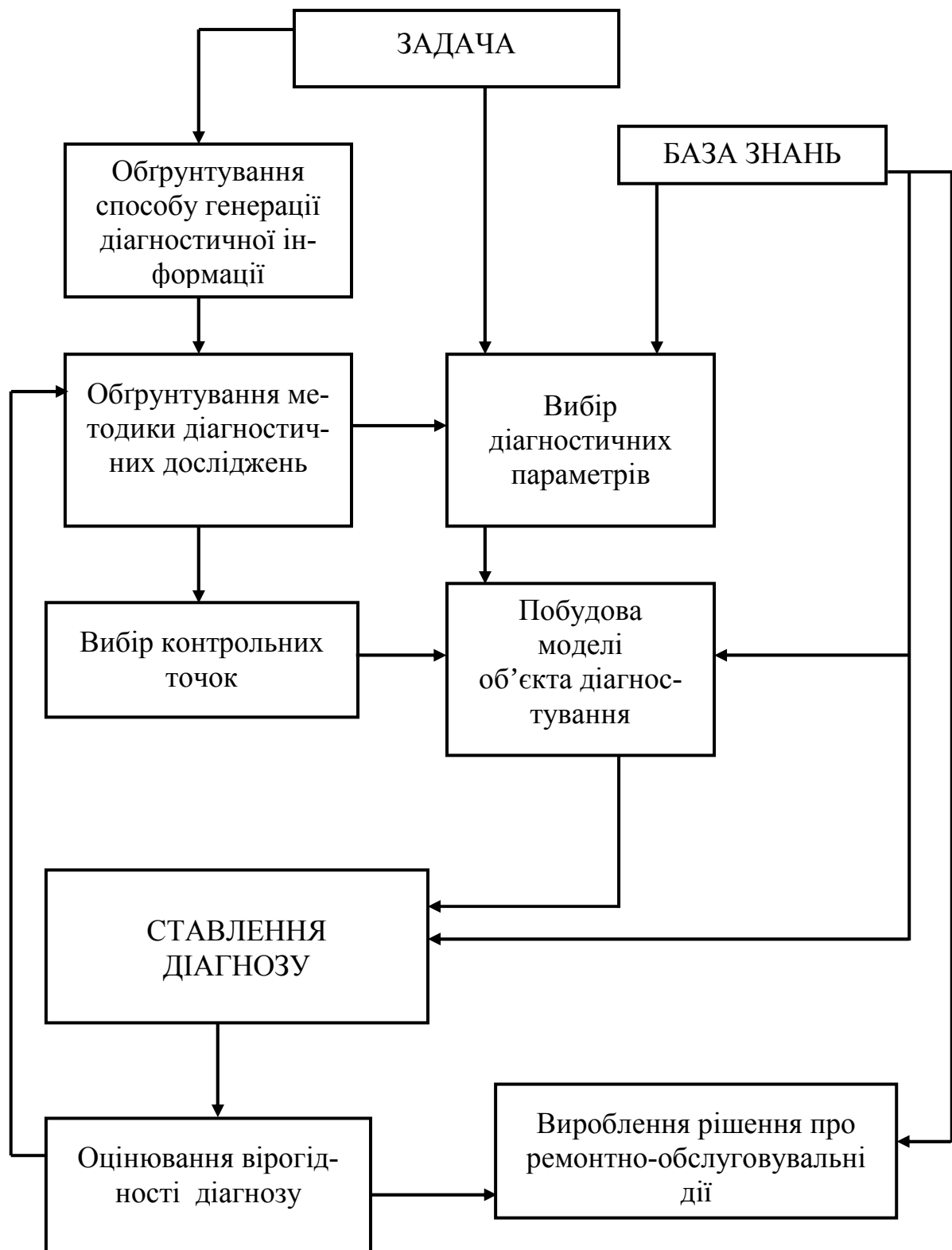


Рисунок 2.7 – Схема розв'язування діагностичних задач

Діагностична модель об'єкта діагностування може бути задана у явному або неявному видах. *Явна модель* об'єкта діагностування являє собою сукупність формальних описів справного об'єкта діагностування й усіх його несправних станів. *Неявна модель* об'єкта діагностування містить будь-

який один формальний опис об'єкта діагностування, математичні моделі його несправностей і правила отримання за цими даними всіх інших потрібних описів. Найчастіше заданою є математична модель справного об'єкта діагностування, за якою можна побудувати моделі його несправних технічних станів. Загальні вимоги до моделей справного об'єкта діагностування, а також до моделей несправностей полягають у тому, що вони повинні з необхідною точністю описувати об'єкти діагностування.

Об'єкти діагностування, усі сигнали яких можуть набувати значень з неперервних множин, відносять до класу аналогових (неперервних). До класу дискретних об'єктів відносять ті об'єкти діагностування, значення сигналів яких задаються на скінченних множинах, а час відраховується дискретно. Характерно, що аналоговий об'єкт діагностування можна подати як цифровий, але не навпаки. Наприклад, аналоговий об'єкт діагностування – систему охолодження двигуна автомобіля можна описати вхідним параметром – частотою обертання вала вентилятора, та вихідним – температурою охолодної рідини. Обидва параметри є неперервними. Проте, якщо подати їх у дискретних інтервалах (наприклад, в інтервалах допустимих значень), то й сам об'єкт діагностування стає дискретним або цифровим. Якщо значення частини діагностичних параметрів об'єкта діагностування задані на неперервних, а значення інших – на скінченних множинах, то об'єкт є аналого-цифровим (гібридним).

Неперервні моделі описують стан аналогового або дискретного об'єкта діагностування в тому разі, коли змодельовані процеси проходять безупинно, а час є аргументом відповідних функцій. Неперервні моделі становлять найбільшу кількість, тому що основні процеси змін якості технічних об'єктів носять поступовий характер.

Справний чи несправний об'єкт діагностування подається як динамічна система, стан якої в кожен момент часу визначається значеннями вхідних, внутрішніх і вихідних параметрів. В такому разі діагностичну модель називають динамічною. Окремим є випадок, коли стан об'єкта діагностування не залежить від часу. Така модель є статичною. Наприклад, статичні моделі використовуються для опису електронних блоків автомобіля.

Існує низка діагностичних моделей, якими описують процеси, що проходять в об'єкті діагностування безвідносно часу, тому їх не можна віднести ані до дискретних, ані до неперервних. Такими моделями є інформаційні, функціональні та технічні характеристики.

Моделі інформаційних систем або інформаційні моделі, можна поділити на такі, що стосуються передачі даних; інформаційно-вимірювальні; перетворення інформації; інформаційно-пошукові; зберігання інформації; керування; експериментальних досліджень. Найпоширенішими у практиці діагностування автомобілів є моделі, які об'єднують під назвою системи передачі інформації. Такими є, наприклад, системні аналізатори двигуна (FSA 560 фірми BOSCH), мотор-тестери MOT-240, 251 цієї ж фірми.

Неперервний об'єкт діагностування під час розв'язування задач діагностування можна подати детермінованою моделлю – адекватним математичним (формальним) описом у вигляді сукупності функціональних співвідношень, диференціальних рівнянь або передатних функцій. Такі моделі широко використовуються для опису об'єктів будь-яких типів, наприклад, механічних, електричних, електромеханічних або пневмогідравлічних. Вони являють собою залежності вихідних діагностичних параметрів від вхідних. При цьому несправності автомобіля моделюються як недопустимі зміни значень діагностичних параметрів.

Великий клас об'єктів діагностування припускає використання детермінованого моделювання через свою складну структуру, а створення повної аналітичної моделі ускладнене через відсутність відповідної інформації. У цьому разі для розв'язування задач розпізнавання технічних станів об'єктів механічного чи пневмогідравлічного типу використовують випадкові моделі. Найхарактерніші з них – це регресійні. Ці моделі будуються з допомогою методів математичної статистики, а саме дисперсного і регресійного аналізу. Регресійні моделі відображають зв'язок або взаємозв'язок діагностичних, структурних, або параметрів надійності автомобіля. *Дискретні або топологічні моделі* задаються в робочому діагностичному просторі параметрів у вигляді сукупності фізичних властивостей об'єкта діагностування і його структури у вигляді графа або бінарної матриці з причинно-наслідковими зв'язками між фізичними величинами. Якщо модель подається у вигляді графа, то вершинам відповідають параметри об'єкта діагностування (вихідні і вхідні, основні і допоміжні, структурні параметри), а дугам – відомі аналітичні чи статистичні залежності і якісні співвідношення між параметрами.

Різновидом топологічних моделей є *двозначні логічні моделі*, що охоплюють великий клас реальних технічних об'єктів, які зображаються блоковою функціональною чи структурною схемами: система запалювання, система освітлення та сигналізації система живлення з впорскуванням палива тощо. При побудові логічної моделі кожному функціональному елементу об'єкта діагностування ставиться у відповідність сукупність логічних блоків так, щоб вихід кожного логічного блоку характеризувався тільки одним параметром, і при цьому залишилися тільки ті входи, які формують цей вихід. Застосування логічної моделі ґрунтується на застосуванні *порогових способів діагностування*, які характеризуються тим, що висновок про правильність функціонування об'єкта діагностування робиться на підставі якісної оцінки деякої сукупності діагностичних параметрів. Якщо значення сигналу знаходиться в допустимих межах, то значення вихідного сигналу береться як логічна «1», в іншому випадку – логічний «0».

Багато формулювань та розв'язків задач технічної діагностики передбачають задавання формалізованого опису множини допустимих несправностей (моделей несправностей). Як правило, кожній несправності

можна поставити у відповідність деяку зміну параметрів елементів об'єкта діагностування. Наприклад, часто як допустимі розглядаються несправності типу втрати герметичності, відсутності напруги, низької частоти. Зазвичай модель несправності залежить від елементної бази об'єкта діагностування, а також від типу моделі об'єкта діагностування. Так, для об'єкта діагностування, що містить електричні елементи (електромашини, резистори, конденсатори, діоди, транзистори), несправностями можуть бути обриви і короткі замикання. Для об'єкта діагностування, що складається з гідравлічних і пневматичних елементів (клапанів, дроселів, акумуляторів, гідроциліндрів тощо) допустимі несправності – втрата гідро- і пневмоцільності, невідповідна витрата рідини, газу тощо. Для механічних об'єктів діагностування – зазори, натяги, деформації тощо.

Розрізняють одиничні і кратні несправності. Під одиничною розуміють несправність, взяту як елементарну, тобто таку, яка не може бути подана сукупністю декількох інших, «дрібніших» несправностей. Кратна несправність є сукупністю одночасно існуючих двох або більше окремих несправностей.

Таблиця функцій несправностей і таблиця несправностей – це спеціальні форми подання поведінки об'єкта діагностування у справному та несправному станах. Методи на основі таблиці функцій несправностей і таблиці несправностей доцільно застосовувати у серійному сервісі, коли може бути виділеною обмежена кількість можливих несправностей, а витрати на підготовку необхідної інформації покриваються за рахунок діагностування великої кількості однотипних об'єктів діагностування. Крім цього, таблиця функцій несправностей і таблиця несправностей є наочними і зручними для ілюстрації результатів теоретичних досліджень. Таблиця функцій несправностей містить відомості про поведінку справного об'єкта діагностування, а також об'єкт діагностування з кожною з можливих несправностей (таблиця 2.5). Вона складається з $r+1$ підтаблиць (далі матриць) $M_o, M_1, \dots, M_r$. Рядки ТФН відповідають окремим вхідним елементарним перевіркам послідовності $X = x_1, \dots, x_k, x_n$, що подаються на об'єкт діагностування під час діагностування.

Таблиця 2.5 – Структура функцій несправностей

Перевірки	M_o			M_1			M_r		
	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m	b_1	...	b_m
x_1	t_o^{11}		t_o^{1m}	t_1^{11}		t_1^{1m}	t_r^{11}		t_r^{1m}
...	.	...	.	.	...	.	.	...	.
x_n	t_o^{n1}		t_o^{nm}	t_1^{n1}		t_1^{nm}	t_r^{n1}		t_r^{nm}

Матриця M_o задає поведінку справного об'єкта діагностування; матриця $M_i (i=1, \dots, r)$ – поведінку об'єкта діагностування з несправностями з

множини $S = \{s_1, \dots, s_r\}$ можливих несправностей. Кількість стовпців кожної матриці дорівнює кількості діагностичних параметрів, причому i -й стовпець зіставлений параметру b_i з множини допустимих діагностичних параметрів $B = \{b_1, \dots, b_m\}$. На перетині k -го рядка і i -го стовпця матриці $M_i (i = 0, 1, \dots, r)$ проставляється допустиме значення t_i^{kl} параметра b_i на наборі x_k під час діагностування об'єкта діагностування, що знаходиться в технічному стані s_i . У випадках цифрових діагностичних параметрів зазвичай значення $t_i^{kl} \in \{0, 1, x\}$, де $x = \{0, 1\}$; для аналогових діагностичних параметрів значення параметра – деякий неперервний інтервал або номінальне значення. Для інтервалу вказуються значення його верхньої і нижньої меж. Іноді для значень аналогових діагностичних параметрів використовується багатозначний скінченний алфавіт, у якому кожному символу ставлять у відповідність певний інтервал значень.

При переході від аналогових значень діагностичних параметрів до цифрових застосовують перетворення:

$$b_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } b_i \in (a, c); \\ 0, & \text{якщо } b_i \notin (a, c), \end{cases} \quad (2.8)$$

де a, c – відповідно верхня і нижня межі допуску діагностичного параметра;

(a, c) – допуск числового значення діагностичного параметра.

Структура таблиці несправностей наведена у таблиці 2.6. Вона відрізняється від таблиці функцій несправностей, по-перше, відсутністю матриці, що описує справний об'єкт діагностування. По-друге, значення елемента $\tilde{t}_i^{kl}$ являє собою результат порівняння елементів $\tilde{t}_i^{kl}$ і $\tilde{t}_o^{kl}$ із таблиці функцій несправностей (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Структура несправностей

Елементарні перевірки	$\tilde{M}_1$			...		$\tilde{M}_r$		
	b_1	...	b_m	...	...	b_1	...	b_m
x_1	$\tilde{t}_1^{1l}$		$\tilde{t}_1^{1m}$			$\tilde{t}_r^{1l}$		$\tilde{t}_r^{1m}$
...	.	...	.	...	...	.	...	.
x_n	$\tilde{t}_1^{n1}$		$\tilde{t}_1^{nm}$	...	...	$\tilde{t}_r^{n1}$		$\tilde{t}_r^{nm}$

Варіанти кодування результатів порівняння для аналогового об'єкта діагностування різноманітніші (таблиця 2.7). Наприклад, можна використовувати тризначний алфавіт $\{0, 1, x\}$, присвоюючи $\tilde{t}_i^{kl}$ значення 1, x чи 0, якщо інтервали t_o^{kl} і t_i^{kl} не перетинаються, частково перетинаються або всі значення t_i^{kl} входять у t_o^{kl} .

Таблиця 2.7 – Варіанти кодування аналогових діагностичних сигналів

Сигнали		t_i^{kl}		
		1	0	x
t_o^{kl}	1	0	1	x
	0	1	0	x
	x	0	0	0

На основі побудованої моделі діагностування здійснюється розпізнавання технічного стану. Це можна робити різними методами (рис. 2.6). Наприклад, використовують методи теорії графів. Для цього будують впорядкований граф, і відповідну йому матрицю контрольних пар, рядки якої відповідають елементарним перевіркам, а стовпці – номерам блоків. При цьому елементи рядка дорівнюють «1», якщо перевірки охоплюють об'єкти діагностування, і «0» – якщо не охоплюють. Умова розпізнавання станів формулюється як розпізнавання стовпців матриці. У разі невизначеності станів передбачається введення додаткових точок контролю.

Контроль об'єкта діагностування за допомогою моделей здійснюють так. Подають дані у таблицю функцій несправностей тести X і вимірюють діагностичні параметри B . За результатами вимірювань формують матрицю M_x такого самого формату, що і матриці $M_i (i=1, \dots, r)$. Порівнюють поелементно матриці M_x і M_o . Якщо $M_x = M_o$, то вважають об'єкт діагностування справним, якщо $M_x \neq M_o$ – несправним.

Для визначення місця несправності об'єкта діагностування виконують такі дії. Матрицю M_x почергово порівнюють з кожною матрицею M_i , де $i=1, \dots, r$. Якщо $M_x = M_i$, то несправність s_i заносять до списку можливих несправностей. До цього списку може потрапити декілька несправностей, за яких об'єкт діагностування має цю ж реакцію. Щоб скоротити обсяг таблиці функцій несправностей і таблиці несправностей несправності з однаковими вихідними сигналами поєднуються у групи еквівалентних несправностей, а до таблиці функцій несправностей і таблицю несправностей під кожну таку групу формується тільки одна матриця. Пошук несправності з використанням бінарної таблиці несправностей виконується аналогічно.

Головним у технічній діагностиці є розуміння перевірки і розпізнавання несправностей. Розглянемо спочатку ці терміни стосовно цифрових об'єктів діагностування, а потім поширимо їх на аналогові об'єкти діагностування.

Несправність $s_k \in S$ називається такою, що однозначно перевіряється, якщо $M_o \cap M_k = \emptyset$. Практично це означає, що за наявності в об'єкта діагностування однієї з несправностей, значення будь-якого діагностичного параметра на будь-який вхідний сигнал буде відрізнятися від його значення в справному об'єкті діагностування. Несправність $s_k \in S$ називається

такою, що не може бути виявлена, якщо $M_k \subseteq M_o$. Несправність $s_k \in S$ називається такою, яку можна умовно виявити, якщо $M_o \cap M_k = \emptyset$ і $M_k \not\subseteq M_o$. Якщо є така несправність, то результати вимірювань діагностичних параметрів можуть у деяких випадках збігатися з можливими значеннями справного об'єкта діагностування, а в інших – ні.

Несправності s_i і s_j називаються такими, які можна розрізнити, якщо $M_i \cap M_j = \emptyset$. Несправності s_i і s_j називаються такими, які не можна розрізнити, якщо $M_i = M_j$.

Розглянуті порівняння можуть бути поширені і на аналогові об'єкти діагностування, якщо можливі значення діагностичних параметрів задані інтервалами.

Класифікація діагностичних моделей показана на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Класифікація діагностичних моделей

Ймовірні моделі розділяються на інформаційні, розпізнавальні образи та кореляційні. В інформаційних моделях реальний об'єкт становить сукупність вихідних процесів, які несуть визначальну кількість інформації про його стан. Під ймовірними моделями розпізнавальних образів розуміють сукупність вихідних процесів, що належать одному класу сукупності значень структурних параметрів.

Кореляційні моделі визначають ступінь взаємозв'язку вихідних процесів і структурних параметрів. Детерміновані моделі можна розділити на

аналітичні, функціональні, кінцеві автомати, адаптивні та екстремальні. Адаптивні моделі синтезують в процесі ідентифікації реального об'єкта і вихідної моделі, ідентичної реальному об'єкту при номінальних значеннях його структурних параметрів. Екстремальні моделі використовуються в разі, якщо стан реального об'єкта характеризують не значеннями структурних параметрів при фіксованому режимі його роботи, а залежностями узагальненого параметра реального об'єкта від узагальнених параметрів складових його частин при відповідних режимах його роботи. У цьому випадку під моделлю розуміють залежності, які одержують при оптимізації узагальненого параметра реального об'єкта за результатами налаштування узагальнених параметрів складових його частин при умові, що ці настроювання можна здійснити на реальному об'єкті.

Інтуїтивна модель характеризує уявлення людини про зв'язки вихідних процесів реального об'єкта та його структурних параметрів. Подання реального об'єкта тією чи іншою моделлю визначається ступенем наших знань про нього. Модель будується на підставі узагальнення таких даних експерименту або спостереження, які відображають властивості реального об'єкта як об'єкта діагностики.

В процесі моделювання в першу чергу вирішують питання про можливість одержати детерміновану модель. Вона проста і вказує конкретний шлях до вибору методу діагностування та засобів його реалізації без попередніх статистичних досліджень реального об'єкта або збору статистичної інформації про його функціонування в процесі експлуатації.

Діагностична модель визначає також методи діагностування, найпоширеніші з яких – методи діагностування дискретних об'єктів, їх функціонування описується апаратом математичної логіки. Розробку методу діагностування і його оптимізацію зводять до складання логічних функцій та їх оптимізації, тобто ця задача суто математична. Звичайно, задачу розробки методів діагностування неперервних об'єктів можна звести до математичної в разі, коли їх функціонування описується математичними залежностями.

Таким чином, метод діагностування першочергово визначають математичними залежностями, що достатньо точно описують функціонування об'єкта. В зв'язку з цим методи діагностування можна розділити на індикаційні, пошукові та інтуїтивні.

Індикаційні методи діагностування ґрунтуються на автоматичній індикації стану структурних параметрів функціонуючого об'єкта діагностики. Сигнали, які забезпечують індикацію значень структурних параметрів, знімають з датчиків, встановлених на об'єкті.

Пошукові методи діагностування. Ґрунтовані на визначенні в процесі пошуку виходу значень структурних параметрів за межі допусків. Розрізняють два види пошуку: послідовний та комбінаційний. При комбінаційному пошуку структурні параметри, що вийшли за межі допусків, визначають шляхом виконання заданої кількості перевірок, порядок про-

ведення яких не має значення. При послідовному пошуку перевірки виконують у відповідному порядку. Результат кожної перевірки аналізують відразу після його отримання, і якщо не визначено структурні параметри, що вийшли за межі допуску, то проводять наступну по порядку перевірку.

Послідовний та комбінаційний пошуки можуть бути активними і пасивними. При активному пошуку визначають такі структурні параметри, які оптимізують узагальнений параметр об'єкта в даний момент експлуатації при незмінних структурних параметрах.

При ідентифікаційному пошуку встановлюють ідентичність об'єкта і його моделі структурним параметрам при діагностуванні. За вихідну беруть модель, ідентичну реальному об'єкту при номінальних значеннях структурних параметрів. Такий пошуковий метод пасивний через те, що діагноз отримують за результатами порівняння значень структурних параметрів з їх номінальними значеннями.

Пошуковий метод можна трактувати і як задачу розпізнавання образів, що є частковим випадком статистичної задачі перевірки гіпотез. Тоді цей метод можна сформулювати так: за результатами деякої кількості вимірів параметрів вихідних процесів необхідно прийняти оптимальне рішення про належність його стану до того чи іншого класу загальної сукупності станів.

Інтуїтивний метод діагностування – це метод, при реалізації якого необхідну інформацію отримує оператор, порядок дій якого (стратегія пошуку) обумовлюється не коротким алгоритмом, а його особистим досвідом (інтуїцією).

Автомобіль як складна система має частини різної фізичної природи, в яких процеси описуються математичними залежностями. Це і визначає велику кількість розроблених різноманітних методів їх діагностування. Практично будь-який із цих методів може бути використаний для діагностування автомобіля. При цьому задача полягає в оптимальному виборі певного методу з точки зору отримання мінімуму вартості пошуку. Взагалі, перевага має бути на боці детермінованого методу як найпростішого, коректного та універсального. На противагу йому при ймовірнісно-детермінованих та ймовірнісних методах потребується початкове накопичення статистичної інформації за результатами випробування та експлуатації. Результат діагнозу при цьому має ймовірнісний характер. Головна вада цих методів – необхідність повторних накопичень статистичної інформації при конструктивних змінах та змінах умов експлуатації. Перевага детермінованих методів над ймовірнісними стає очевидною, коли глибину діагнозу визначають не узагальненим параметром системи, а її структурними параметрами. Потреба в такій глибині діагнозу виникає при прогнозуванні відмов елементів системи.

Вихідні процеси визначаються структурними параметрами, їх взаємозв'язком, збудженнями та режимом функціонування. Найінформативнішими вихідними процесами є процеси при динамічному режимі дії ме-

ханізму. Тому динамічний режим роботи механізму при його нормальному функціонуванні найбільш сприятливий з точки зору діагностування цього механізму.

У загальному вигляді динамічний режим роботи механізму може бути описаний диференціальними рівняннями, які встановлюють зв'язки між вихідними процесами, збурюваннями, структурою та структурними параметрами механізму.

Аналітичні методи відповідають процесам системи, але при великій кількості структурних елементів та зовнішніх факторів, що діють на систему, вони бувають громіздкими. У зв'язку з цим широко використовують структурно-наслідкові моделі.

Приклад.

На рисунку 2.9 показана причинно-наслідкова діагностична модель поршневої групи автомобільного двигуна.



Рисунок 2.9 – Причинно-наслідкова діагностична модель поршневої групи автомобільного двигуна

Теоретично постановка діагнозу зводиться до того, щоб за допомогою діагностичних параметрів, пов'язаних з певними несправностями об'єкта, виявити з безлічі можливих його станів найвірогідніший. Тому задачею діагнозу при використуванні декількох діагностичних параметрів $(\vec{I}_1, \vec{I}_2, \dots, \vec{I}_n)$ є розкриття множинних зв'язків між ними і структурними параметрами об'єкта $(X_1, X_2, \dots, X_m)$. Для вирішення цієї задачі вказані

зв'язки можна подати у вигляді структурно-наслідкових моделей (таблиця 2.8) і діагностичних матриць. Модель дозволяє на основі даних про надійність об'єкта виявити зв'язки між його найвірогіднішими несправностями і діагностичними параметрами. З урахуванням цих зв'язків визначають технічний стан шляхом переходу від діагностичних параметрів до вірогідних несправностей об'єкта, тобто ставлять діагноз. Подібні задачі вирішують за допомогою діагностичних матриць.

Таблиця 2.8 – Схема діагностичної матриці

Діагностичні параметри	Несправності				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
P_1	0	1	1	0	1
P_2	1	0	1	1	0
P_3	0	1	1	1	0
P_4	1	0	1	0	1

На першому (I) рівні виділяються найуразливіші механізми та деталі вибраної системи автомобіля або об'єкта діагностування; на другому (II) – спряження між ними, тобто структурні параметри; на третьому (III) – процеси відхилення структурних параметрів від своїх номінальних значень, тобто характерні несправності; на четвертому (IV) – вихідні процеси, що характеризують стан структурних параметрів; на п'ятому (V) – діагностичні параметри, за допомогою яких можна визначити технічний стан об'єкта діагностування.

Структурно-наслідкова модель утворюється відповідно до інженерного вивчення будови об'єкта і його функціонування, статистичного аналізу показників надійності й оцінки діагностичних параметрів.

Головна вада наведених моделей – трудність синтезу моделей великих складних систем. У зв'язку з цим найбільшого поширення набуває імітаційне моделювання.

Діагностична матриця (таблиця 2.8) – це рядковий набір зв'язків між діагностичними параметрами P і несправностями X об'єкта (тобто параметрами технічного стану, що досягли граничних значень). Числові коефіцієнти цих зв'язків в простих матрицях мають значення 0 і 1, а у імовірнісних – дробові, проміжні значення.

Горизонтальні ряди матриці відповідають застосовуваним діагностичним параметрам, а вертикальні – несправностям об'єкта. Одиниця в місці перетину горизонтального і вертикального рядів означає можливість існування несправності, а нуль – відсутність такої можливості.

Подібна матриця дозволяє локалізувати несправності механізму, що діагностується, за наявності відповідного комплексу діагностичних параметрів, що досягли нормативної величини.

Фізична суть рішень задачі – виключення несправностей, несумісних з існуванням даної комбінації виміряних діагностичних параметрів. Процес виявлення несправностей можна розглядати як зниження ентропії (ступеня невизначеності технічного стану механізму, що діагностується) шляхом послідовного введення в діагностичну матрицю доз інформації, що міститься у використовуваних діагностичних параметрах.

Логічна матриця вказаного вигляду може бути основою автоматизованого діагностичного комплексу.

2.4 Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть та які цілі має на меті діагностична модель? Наведіть класифікацію діагностичних моделей.

2. У чому полягають відмінності фізичної, символічної та інтуїтивної моделей?

3. Яким вимогам повинен відповідати діагностичний параметр?

4. Що таке діагностичні нормативи? Перелічіть їх.

5. Наведіть методику визначення нормативу діагностичного параметра для проміжної групи, яка характеризується неможливістю використання єдиного нормативу в експлуатації.

3 ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЯ

3.1 Основні положення

Прогнозування – це процес визначення строку справної роботи автомобіля або його окремих систем до появи граничного стану, тобто передбачення моменту виникнення відмови. Необхідність прогнозування визначається можливістю управління технічним станом автомобіля в цілому на основі знання зміни його технічного стану з часом. Прогнозування дає можливість якнайповніше використати ресурс автомобіля та оптимізувати його обслуговування як відновлюваного об'єкта експлуатації. Наявні методи обслуговування за середньостатистичними показниками не дають можливості оптимізувати цей процес, тому що не враховують індивідуальних особливостей експлуатаційного автомобіля. Це призводить до збільшення матеріальних і трудових витрат для підтримки автомобіля в технічно справному стані та зниження ефективності його використання.

Організувати оптимальний процес обслуговувань автомобіля можна лише на базі діагностичної інформації та прогнозування її змінення в часі. Практично прогнозування полягає у визначенні періодичності діагностування I_d і упереджувальних діагностичних нормативів S_y . Основу визначення I_d складають закономірності змінення технічного стану та економічні показники.

Показники надійності прогнозують за різними критеріями (наприклад, за зниженням міцності від стомлення, динамікою процесу спрацювання, віброакустичними показниками, вмістом елементів спрацювання у маслі, показниками вартості й трудовими витратами).

Методи прогнозування поділяють на три основні групи:

1. *Методи експертних оцінок*, суть яких зводиться до узагальнення, статистичної обробки й аналізу думок спеціалістів.

2. *Методи моделювання*, що ґрунтуються на основних положеннях теорії подібності й складаються з формування моделі об'єкта дослідження, проведення експериментальних досліджень і перерахування добутих значень із моделі на натуральний об'єкт.

3. *Статистичні методи*, з яких найширше застосовується метод екстраполяції. У його основі лежать закономірності зміни прогнозованих параметрів у часі. Для опису цих закономірностей підбирають за можливості просту аналітичну функцію з мінімальною кількістю змінних.

Найпоширеніші методи статистичного моделювання, коли як базові матеріали використовують результати технічної діагностики. В цьому разі прогноз треба розглядати як імовірнісну категорію.

У проблемі, що розглядається, найважливішим є прогнозування залишкового ресурсу. Найпростішим, наближеним методом його реалізації є лінійне прогнозування, коли зміну параметра залежно від напрацювання

вважають лінійною.

Похибки прогнозування можуть бути спричинені недостатньою повнотою інформації, її неоднорідністю, низькою точністю вимірювальних інструментів і приладів, недосконалістю діагностичного устаткування, малою точністю математичної моделі, низькою кваліфікацією прогнозіста та ін. Допустимі границі похибок визначають залежно від потрібної точності прогнозування. Стосовно прогнозування залишкового ресурсу підвищення міцності досягають, збільшуючи періоди спостережень за зміною діагностичного параметра із збільшенням напрацювання. Економічну оцінку прогнозування роблять на основі затрат матеріальних засобів на дослідження за період прогнозування. Ефективність прогнозування визначають за зміною показника надійності в результаті впровадження тих чи інших рекомендованих засобів її підвищення.

3.2 Прогнозування на основі екстраполяції діагностичного параметра

Переважають використовуються методи прогнозування, основані на екстраполяції значень прогнозувального параметра (рисунок 3.1).

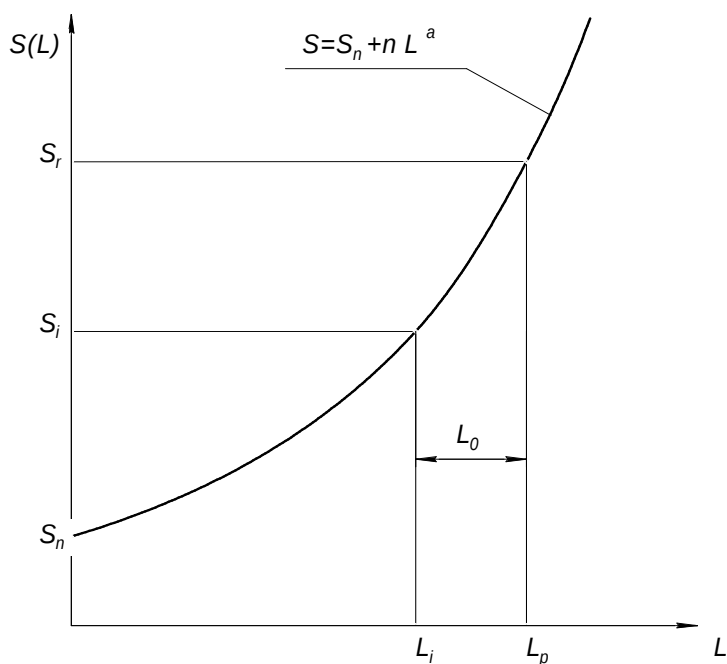


Рисунок 3.1 – Схема прогнозування на основі екстраполяції діагностичного параметра

Суть методу в розрахунку відносно L_d функції, що апроксимує змінення діагностичного параметра $S(l)$ від початкової S_n до граничної S_r величини. Уявімо, що закономірність змінення діагностичного параметра апроксимується рівнянням:

$$S = S_{\pi} + \nu l^{\alpha},$$

де ν – інтенсивність змінення параметра;

α – показник ступеня, що визначає характер змінення параметра.

Тоді повний ресурс діагностувальної системи:

$$l_{\pi} = \sqrt[\alpha]{(S_{\pi} - S_H)} / \nu,$$

а її залишковий ресурс після деякого напрацювання l_i :

$$l_0 \approx l_i \left(\sqrt[\alpha]{(S_i - S_f)} / (S_i - S_f) - 1 \right);$$

де S_i – діагностичний параметр після напрацювання l_i .

Порівнюючи залишковий ресурс з періодичністю регламентної профілактики l_p , доходять висновку про справність об'єкта (при $l_0 > l_p$) або потребу ремонту (при $l_0 < l_p$). Прогнозування можна спростити, якщо замінити значення S_f його упереджувальним параметром S_y .

3.3 Прогнозування на основі економіко-ймовірнісного методу

Розглянемо економіко-ймовірнісний метод визначення періодичності діагностування на основі сукупності реалізацій діагностичного параметра, запропонований В. М. Михліним. Графічна інтерпретація цього методу показана на рисунку 3.2.

Даний метод обумовлює наявність S_f , S_y , густини розподілу параметра за пробігом $\varphi(l)$ та реалізацію параметра $S(l)$. Суть методу в мінімізації l_d за критерієм мінімуму сумарних питомих витрат $c(l_d, S_y)$ на ремонт, профілактику та діагностування:

$$c(l_d, S_y) = \min \left\{ \frac{cQ(C_d, S_y)}{l_{\phi}(l_d, S_y)} + \frac{\alpha[1 - Q(l_d, S_y)]}{l_{\phi}(l_d, S_y)} + \frac{C_d k(l_d, S_y)}{l_{\phi}(l_d, S_y)} \right\},$$

де c , α – вартість відповідно аварійного та упереджувального ремонтів;

C_d – вартість діагностування;

$k(l_d, S_y)$ – середнє число перевірок до відновлення;

$l_{\phi}(l_d, S_y)$ – середній фактичний пробіг до відновлення.

Перший член рівняння визначає витрати на ремонт, другий – на профілактику, третій – на діагностування.

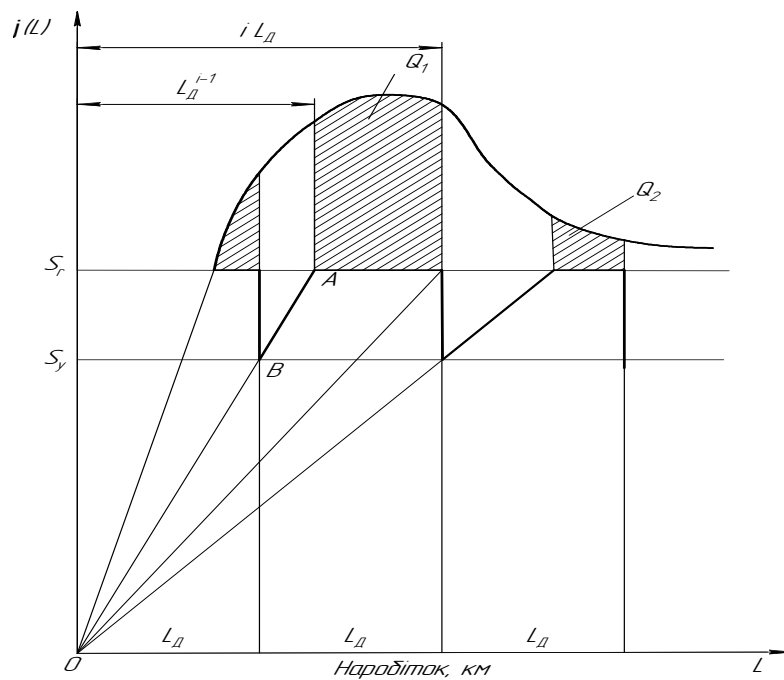


Рисунок 3.2 – Схема прогнозування на основі економіко-ймовірнісного методу

Як видно із рисунка 3.2, збільшення l_d викликає зростання кількості відказів, що призводить до збільшення витрат на ремонт. При цьому кількість профілактичних робіт, в тому числі діагностичних, зменшується. При зменшенні l_d процес буде обернений. Збільшення l_d при постійному S_y викликає збільшення ймовірності аварійних ремонтів Q , а також витрат на них, тому що середній пробіг до відновлення l_ϕ зміниться мало. Зменшення l_d при постійному S_y призведе до зниження Q . Однак у такому випадку збільшиться $c(l_d, S_y)$, тому що l_ϕ значно зменшиться. Найбільше $l_\phi(l_d, S_y)$ досягається при зменшенні l_d і збільшенні S_y , але при цьому зростають витрати на діагностування і, звичайно, зростає $c(l_d, S_y)$. Оптимальні значення l_d й S_y можна одержати розрахунками за допомогою ЕОМ рівняння в широкому діапазоні змін всіх величин.

3.4 Питання для самоперевірки

1. У чому полягає процес прогнозування технічного стану автомобіля або його окремих систем?
2. Які ви знаєте методи прогнозування технічного стану?
3. Охарактеризуйте метод прогнозування на основі екстраполяції діагностичного параметра.
4. Охарактеризуйте метод прогнозування технічного стану на основі економіко-ймовірнісного методу, його сильні та слабкі сторони.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЯ

4.1 Вибір діагностичних параметрів

При діагностуванні різних систем автомобіля не завжди можливе пряме вимірювання діагностичних параметрів, а в багатьох випадках таке вимірювання призводить до великих втрат часу і складає труднощі при визначенні декількох параметрів одночасно. В більшості визначення діагностичних параметрів не дає прямої відповіді про причини несправностей, оскільки на зміну цих параметрів може впливати багато факторів.

З вдосконаленням обчислювальної техніки виникла можливість автоматизації процесу діагностування автомобіля, основною метою якої є позбавлення рутинної роботи почергового визначення діагностичних параметрів. Задача автоматизації діагностики зводиться до автоматичного порівняння діагностичних параметрів діагностованої системи з базовими параметрами.

На прикладі діагностування системи запалювання автомобільного двигуна розглянемо діагностичну модель, параметри якої, на основі методів цифрової обробки сигналів, характеризують процес іскроутворення в циліндрах двигуна залежно від технічного стану системи запалювання. Порівняльний аналіз параметрів математичної моделі дозволяє автоматизувати процес визначення несправностей системи запалювання і зменшити трудомісткість діагностичних робіт.

Фактори, що впливають на процес іскроутворення в циліндрах двигуна можна умовно поділити на три групи (рис. 4.1). Під час діагностування всі фактори повинні враховуватись. Такий підхід дає можливість незалежно проаналізувати кожен групу факторів і окремо визначити вплив кожного фактора на діагностичний параметр.

Система запалювання, як і будь-яка інша система автомобіля, може бути охарактеризована рядом діагностичних і структурних параметрів. Поява несправностей системи запалювання супроводжується зміною цих параметрів.

Визначення діагностичних параметрів ставить своєю метою перевірку технічного стану системи і є невід'ємною процедурою у процесі виконання діагностування чи обслуговування двигуна. Почергове визначення діагностичних параметрів призводить до необґрунтованого збільшення числа елементарних операцій, що є причиною збільшення трудомісткості та часу діагностування. Отже необхідно вибрати тільки ті параметри, які мають найбільшу діагностичну цінність. Оцінювання діагностичної цінності параметра виконується за такими критеріями: максимальна інформативність і достовірність, простота реалізації, зручність для автослюсаря і мала трудомісткість.

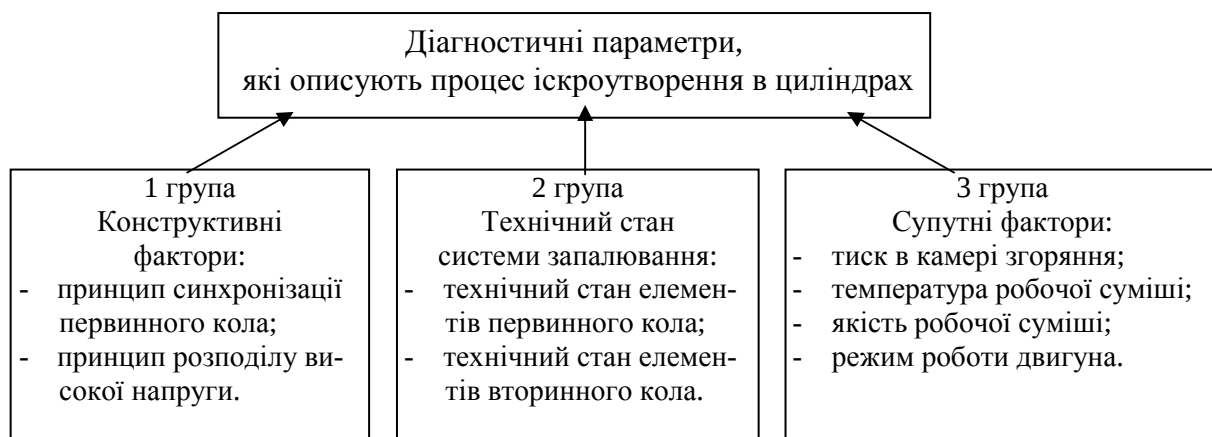


Рисунок 4.1 – Фактори, які впливають на діагностичні параметри системи запалювання

З аналізу наведених критеріїв можна визначити, що доцільно вибрати діагностичним параметром характер зміни напруги в первинному або вторинному колах системи запалювання.

Робочий процес, що проходить в системі запалювання, графічно показаний на рисунку 4.2.

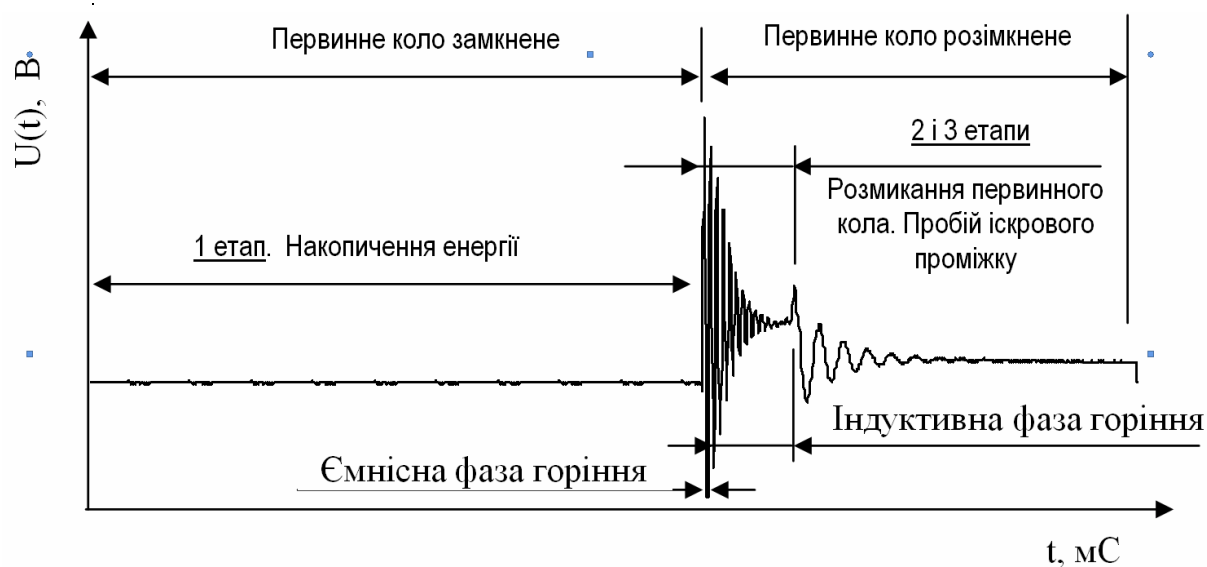


Рисунок 4.2 – Етапи робочого процесу системи запалювання

Зміна напруги у первинному і вторинному колах системи запалювання є взаємозалежними сигналами. Тому зміна параметрів вторинного кола буде відображена в зміні напруги первинного кола.

4.2 Математична модель зняття, реєстрації і попередньої обробки вхідних даних

Першим етапом діагностування є зчитування сигналу напруги з системи запалювання і передавання його в пам'ять ПК. Сигнал змінення напруги у системі запалювання є неперервним (дискретизованим) і обмеженим у часі $t \in [0, t_{\max}]$. Особливість отриманого сигналу є такою, що він може розглядатись як окремі інтервали аналізу (рис. 4.3). Кожний інтервал аналізу відповідає роботі одного циліндра.

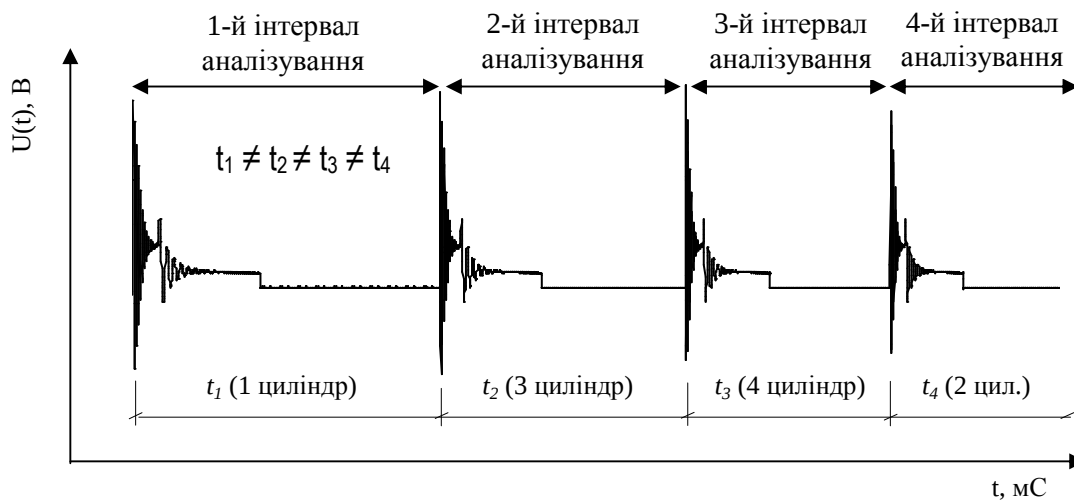


Рисунок 4.3 – Фрагмент сигналу напруги первинного кола системи запалювання

Для можливості проведення процесу аналізування сигнал напруги поділяється на окремі реалізації по циліндрах двигуна. За одну реалізацію $U_z^m(t)$ береться частина сигналу, що відповідає часу роботи системи в одному циліндрі (m – номер циліндра двигуна, z – номер реалізації сигналу іскроутворення в цьому циліндрі). Інтервал часу, що відповідає одній окремій реалізації, взято інтервалом аналізу – t_z^m . При постійній частоті обертання колінчастого вала двигуна інтервали аналізування t_z^m будуть однако-ві і сигнал, з деякими припущеннями, береться як періодичний і стаціонар-ний. Із зміною частоти обертів інтервали аналізу змінюються і сигнал пе-реходить з категорії періодичних в категорію нескінченних.

Принцип розподілу сигналу напруги системи запалювання на окремі реалізації характеризується часовою діаграмою (рис. 4.4).

Сигнал системи запалювання можна досліджувати в двох режимах: при постійній частоті обертання колінчастого вала і при змінній частоті обертання. Особливість діагностування полягає в тому, що колінчастий вал двигуна має змінну кутову швидкість і тому даний сигнал не можна роз-глядати як окремі реалізації з однаковим інтервалом аналізування.

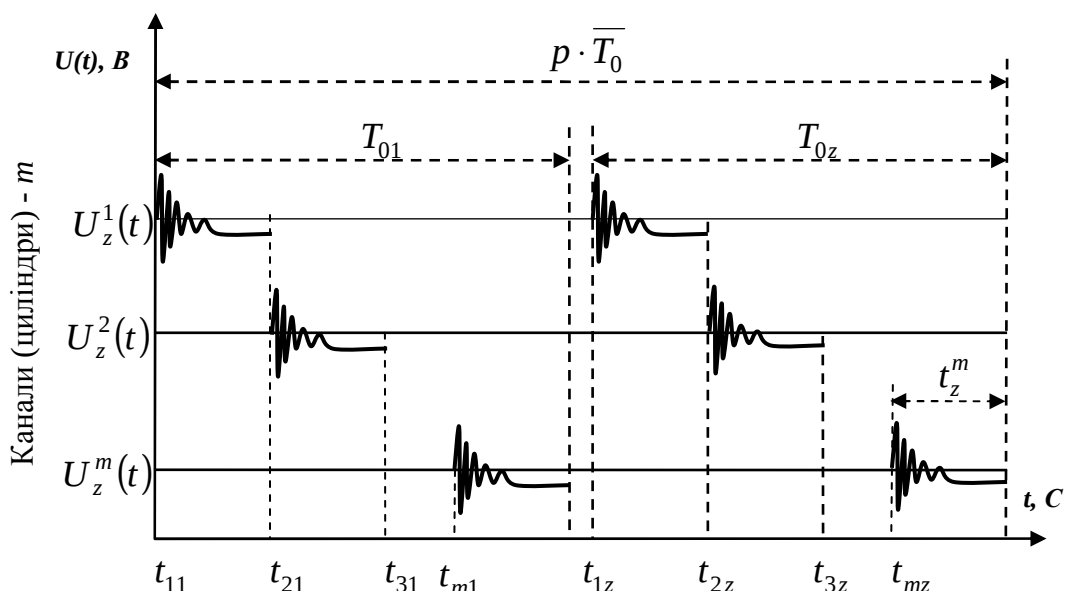


Рисунок 4.4 – Часова діаграма розподілу сигналу напруги системи запалювання на окремі реалізації

Для можливості подальшої обробки сигналу, реалізації іскроутворення в одному циліндрі з різними інтервалами аналізування необхідно масштабувати і звести до однієї базової величини.

Отриманий з системи запалювання потік даних автоматично поділяється на окремі канали, кількість яких дорівнює кількості циліндрів двигуна. Обробка інформації здійснюється послідовно-паралельно, як показано на рисунку 4.5.

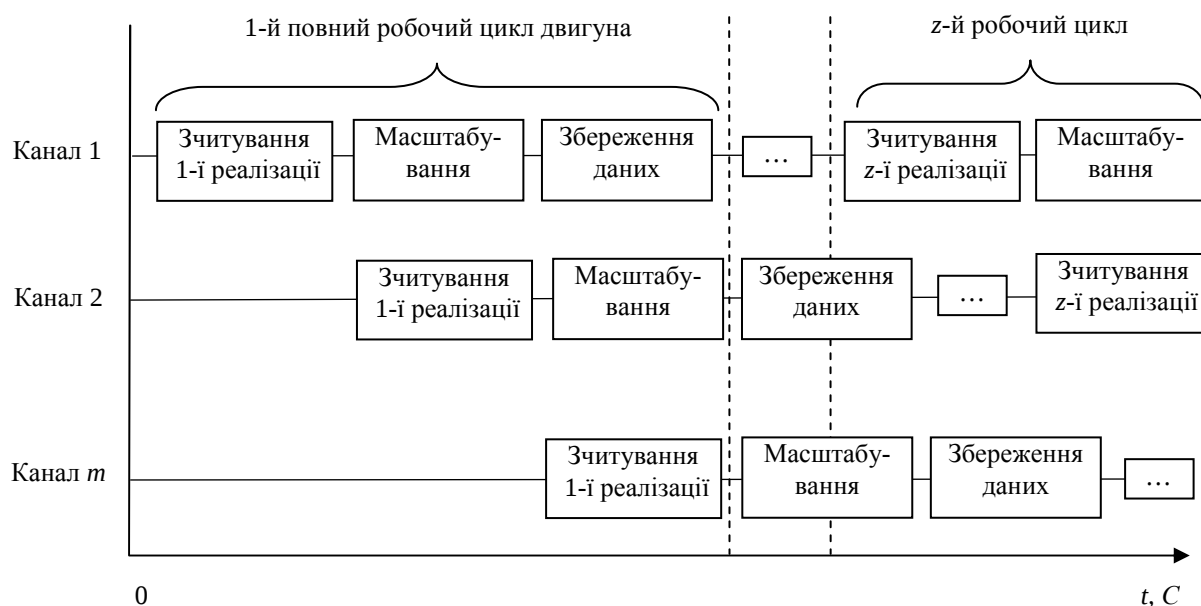


Рисунок 4.5 – Поетапна, послідовно-паралельна обробка даних

Для дослідження сигналу системи запалювання як у часовій, так і в частотній областях необхідно використовувати не одиночну реалізацію одного інтервалу аналізування, а ансамбль реалізацій з їх накладенням для кожного циліндра окремо. Збільшення кількості реалізацій дасть достовірнішу діагностичну інформацію.

Після проходження z повних робочих циклів двигуна буде накопичено z реалізацій по кожному циліндру (каналу). Це дасть можливість визначити усереднені реалізації в кожному циліндрі окремо, використовуючи залежність:

$$\overline{U_0^m(t)} = \frac{1}{z} \int U_i^m(t) dt, (i \in [1, z]). \quad (4.1)$$

4.3 Математична модель автоматизованого визначення несправностей системи запалювання

Процес діагностування системи запалювання здійснюється діагностичною системою керування. Функціональна схема діагностичної системи визначення технічного стану системи запалювання подана на рисунку 4.6.

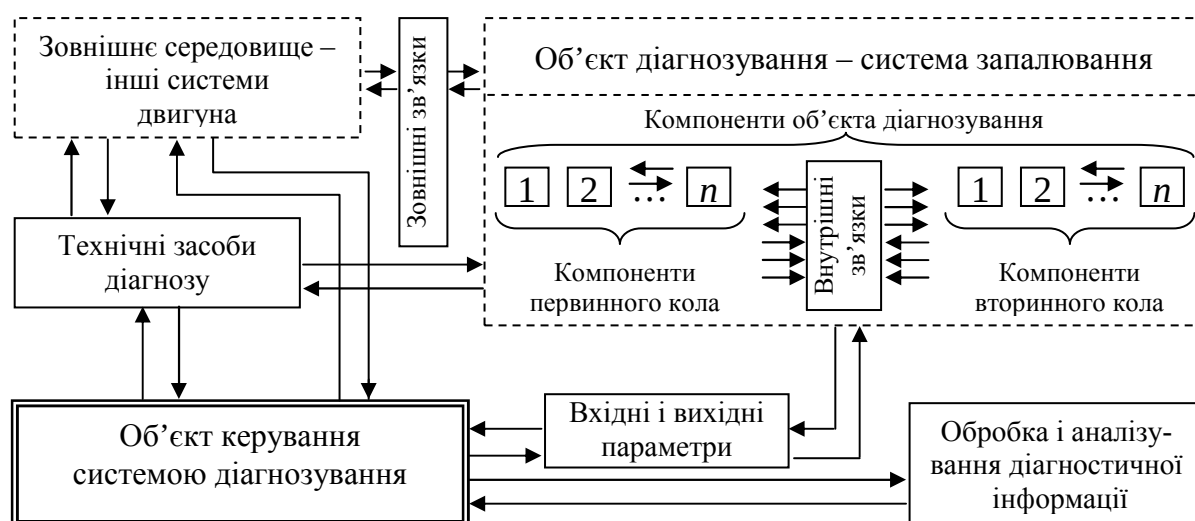


Рисунок 4.6 – Функціональна схема діагностичної системи визначення технічного стану системи запалювання

Процес діагностування об'єкта діагнозування характеризується вхідними і вихідними параметрами. Сукупність значень вихідних параметрів об'єкта діагнозування буде визначати його технічний стан. Ця сукупність може бути отримана шляхом здійснення елементарних перевірок. Кожна така перевірка являє собою деякий фізичний експеримент над об'єктом діагнозування і визначається зовнішньою дією на об'єкт, а також значенням відповіді об'єкта на цю дію. Елементарні перевірки, як правило, здійснюються з окремими компонентами об'єкта діагнозування, і таким чином визначаються необхідні значення вихідних параметрів системи запалювання.

Формальне описання процесів системи запалювання як об'єкта діагностування і їх поведінки в справному і несправному стані, виражене в аналітичній, табличній або графічній формі, є математичною моделлю об'єкта діагностування. Досить важливим критерієм при побудові математичної моделі діагностування системи запалювання є зменшення кількості елементарних перевірок і визначення оптимальної кількості діагностичних параметрів.

Справний і несправний стан системи запалювання може бути представлений як динамічна система, стан якої в кожний момент часу t визначається сукупністю вихідних параметрів.

Для описання параметрів, що будуть характеризувати технічний стан системи запалювання, визначаються спектральні характеристики усереднених реалізацій сигналу напруги первинного кола системи запалювання. Це дозволить створити математичну модель процесів, що проходять в системі запалювання при різних умовах роботи.

Створення математичної моделі, яка буде описувати технічний стан системи запалювання, ставить своєю метою автоматичне порівняння сигналів, що досліджуються, з сигналами з бази даних. База даних передбачає описання зразкових сигналів та сигналів з типовими несправностями різних типів систем запалювання. Отже, модель, що пропонується, відноситься до класу явних математичних моделей і її можна подати у вигляді матриці параметрів:

$$M = \begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_k \end{pmatrix}. \quad (4.2)$$

Параметри $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$ характеризують технічний стан системи запалювання. Параметр X_0 характеризує технічно справний стан системи, параметри $X_1, X_2, \dots, X_k$ характеризують одиночні типові несправності системи запалювання або їх комбінації.

Кожний параметр X_i можна охарактеризувати процесом зміни спектральних характеристик сигналу напруги в первинному колі системи запалювання. Для описання параметра X_i подамо його як функцію багатьох змінних – внутрішніх параметрів:

$$X_i = \varphi(F_1, F_2, \dots, F_n), \quad (4.3)$$

де $F_1, F_2, \dots, F_n$ – за своєю суттю характеризують одну окрему несправність системи запалювання.

Отже задача створення математичної моделі зводиться до встановлення зв'язку між параметрами математичної моделі та технічним станом системи запалювання.

Розглянемо графік спектральної щільності потужності, який характеризує технічний стан елементів системи запалювання з точки зору появи аномальних частот при наявності тієї чи іншої несправності (рис. 4.7). Кожна несправність системи запалювання впливає на зміну спектра потужності у певному діапазоні частот. Тому параметрам математичної моделі можна поставити в залежність характеристики спектральної щільності потужності у вибраних діапазонах частот.

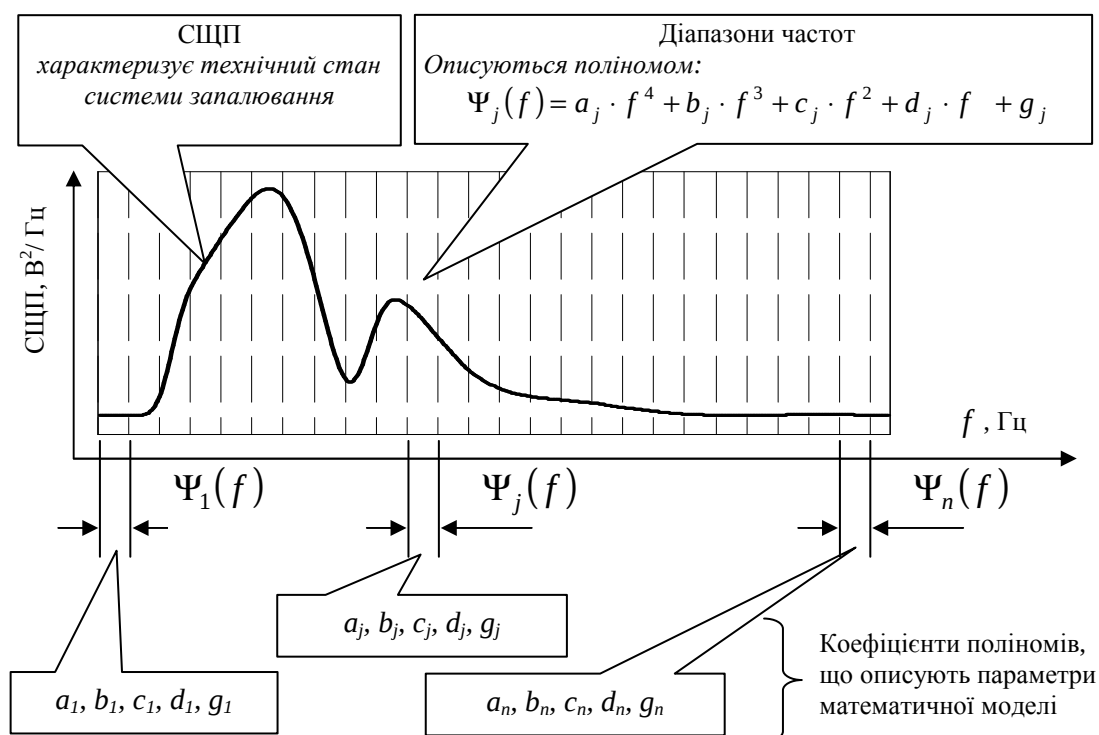


Рисунок 4.7 – Визначення параметрів математичної моделі

Значення спектральної щільності потужності (СЩП) являють собою одновимірний масив даних, кожний елемент якого відповідає окремому значенню частоти, що змінюється від 0 до $f_a/2$ (до половини частоти дискретизації). Цей масив даних поділимо на n діапазонів (рис. 4.7). Кожний діапазон можна розглядати як частину графіка спектральної щільності потужності, яку можна подати масивом $\Psi_j(f)$. Отже, параметрам $F_1, F_2, \dots, F_n$ виразу (4.3) можна поставити у відповідність характеристики окремих діапазонів частот спектральної щільності потужності. Тоді вираз (4.3) набуде вигляду матриці:

$$X_i = \begin{pmatrix} \Psi_1(f) \\ \Psi_2(f) \\ \dots \\ \Psi_n(f) \end{pmatrix}. \quad (4.4)$$

Кожний елемент наведеної матриці, в свою чергу, являє собою одновимірний масив даних, тому проведемо його інтерполяцію і визначимо коефіцієнти поліномів, які будуть описувати графік функції, що відповідає даному діапазону частот. Для інтерполяції вибираємо поліном четвертого порядку. Таким чином, кожний діапазон частот можна подати функцією:

$$\Psi_j(f) = a_j \cdot f^4 + b_j \cdot f^3 + c_j \cdot f^2 + d_j \cdot f + g_j. \quad (4.5)$$

Тоді залежність (4.4) буде записана у вигляді:

$$X_i = \begin{pmatrix} \Psi_1(f) = a_1 \cdot f^4 + b_1 \cdot f^3 + c_1 \cdot f^2 + d_1 \cdot f + g_1 \\ \Psi_2(f) = a_2 \cdot f^4 + b_2 \cdot f^3 + c_2 \cdot f^2 + d_2 \cdot f + g_2 \\ \dots \\ \Psi_n(f) = a_n \cdot f^4 + b_n \cdot f^3 + c_n \cdot f^2 + d_n \cdot f + g_n \end{pmatrix}. \quad (4.6)$$

У спрощеному вигляді залежність (4.6) можна подати як матрицю коефіцієнтів поліномів:

$$X_i = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & g_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & g_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & b_n & c_n & d_n & g_n \end{pmatrix}. \quad (4.7)$$

Таким чином, виразом (4.7) може бути описаний будь-який стан системи запалювання – справний чи при наявності типових несправностей.

За описаним порядком визначаються параметри $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$ математичної моделі. Створюється відповідна інформаційна база даних.

У процесі діагностування автомобіля, відповідно до виразу (4.7), визначається параметр X_{doc} системи, що досліджується. Автоматичне порівняння параметра X_{doc} з параметрами $X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$ з бази даних дасть можливість автоматизувати процес пошуку несправностей в системі запалювання автомобільного двигуна.

Параметру X_{doc} поставлений у відповідність графік спектральної щільності потужності $\Psi_{\text{doc}}(f)$, кожний діапазон частот якого описаний по-

ліномом $\Psi_{j_{doc}}(f)$ (4.6). Визначимо коефіцієнти кореляції між кожним діапазоном частот спектральної щільності потужності досліджуваного сигналу і відповідним діапазоном частот спектральної щільності потужності Π сигналу з бази даних:

$$r_{ij} = \frac{1}{|\Omega_j, \Omega_{j+1}| \cdot \sigma_{doc} \sigma_{baz}} \int_{\Omega_j}^{\Omega_{j+1}} (\Psi_{j_{doc}}(f) - \overline{\Psi_{j_{doc}}}) \cdot (\Psi_{j_{baz}}(f) - \overline{\Psi_{j_{baz}}}) df, \quad (4.8)$$

де i – номер параметра X_i з бази даних ($i \in [1, k]$);

j – номер діапазону частот у графіку спектральної щільності потужності ($j \in [1, n]$);

n – кількість діапазонів частот графіка спектральної щільності потужності;

k – кількість параметрів X_i математичної моделі;

Ω_j – початок j -го діапазону частот;

$\sigma_{doc}, \sigma_{baz}$ – стандартні відхилення j -го діапазону частот;

$\overline{\Psi_{j_{doc}}}, \overline{\Psi_{j_{baz}}}$ – середні значення j -го діапазону частот.

За результатами визначення коефіцієнтів кореляції будемо матрицю $(k \times n)$:

$$R_{\Psi} = \begin{pmatrix} r_{01} & r_{02} & \dots & r_{0n} \\ r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kn} \end{pmatrix}. \quad (4.9)$$

Кожний рядок даної матриці характеризує наскільки корелює параметр X_{doc} досліджуваного сигналу з одним із параметрів X_i бази даних по окремих діапазонах частот. Оскільки кожний параметр X_i бази даних описує якусь несправність системи запалювання, то на основі цього можна зробити висновок про технічний стан системи. Параметр X_{doc} досліджуваного сигналу вважається відповідним параметру X_i бази даних, якщо всі коефіцієнти кореляції i -го рядка матриці (4.9) більші допустимого значення $r_{ij} \geq r_{don}$.

Слід зазначити, що метод автоматизованого діагностування системи запалювання є відкритим у плані поповнення бази даних. Якщо в базі даних немає значень параметрів математичної моделі, що відповідають певній несправності для конкретного типу системи запалювання, то на даний

час метод не працює. В такому випадку несправність визначається іншими стандартними методами. Після цього визначаються значення параметрів математичної моделі при наявності цієї несправності і вони заносяться до бази даних. Отже, запропонований метод можна охарактеризувати як адаптивний і відкритий – такий, що сам навчається і поповнюється.

4.4 Практична реалізація методу автоматизованого діагностування

Масив даних, що надходить в пам'ять персонального комп'ютера, являє собою одновимірний потік даних $y(k)$ (рис. 4.3), які визначені через деякий інтервал часу T_δ (період дискретизації). Отже, характеристикою прийнятого масиву даних є частота дискретизації f_δ .

На першому етапі масив $y(k)$ розділяємо на окремі частини, які відповідають періоду одного повного робочого циклу двигуна T_0 . Такий розподіл може бути здійснений, якщо паралельно з сигналом змінення напруги у первинному колі в пам'ять персонального комп'ютера подати сигнал першого циліндра, який зчитується індуктивним сенсором з проводу високої напруги цього циліндра.

Розподіл сигналу на періоди повних робочих циклів двигуна дає можливість, перш за все, визначити частоту обертів (кутову швидкість) колінчастого вала на даний момент часу, знаючи кількість вибірок сигналу n_0 за даний період і частоту дискретизації f_δ . Із збільшенням частоти обертів колінчастого вала кількість вибірок n_0 зменшується. Із зменшенням частоти обертів кількість вибірок n_0 збільшується. Враховуючи те, що за один робочий цикл двигуна колінчастий вал робить два оберти, визначимо:

$$n_{\text{к.в.}} = \frac{2 f_\delta}{n_0} \cdot 60, (\text{об/хв.}). \quad (4.10)$$

Кожний період повного робочого циклу двигуна надалі поділяється на окремі реалізації для кожного циліндра двигуна (рис. 4.4). Таким чином, масив даних $y(k)$ можна записати у вигляді матриці:

$$y(k) = \begin{pmatrix} y_1^1(k) & y_2^1(k) & \dots & y_z^1(k) \\ y_1^2(k) & y_2^2(k) & \dots & y_z^2(k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1^m(k) & y_2^m(k) & \dots & y_z^m(k) \end{pmatrix}, \quad (4.11)$$

де m – номер циліндра двигуна;

z – номер реалізації сигналу іскроутворення в цьому циліндрі.

Для дослідження частотного спектра сигналу напруги системи запалювання, перш за все, необхідно визначити межі діапазонів частот, в яких необхідно виконувати аналізування. Це повинні бути діапазони частот, які повною мірою характеризують поведінку сигналу напруги системи запалювання, а також ступінь впливу різних несправностей системи на ці діапазони частот.

Процес горіння іскри складається з ємнісної та індуктивної фази. Ємнісна фаза триває кілька мікросекунд. Індуктивна фаза набагато триваліша (1-2 мс). Основні частотні гармоніки, які становлять інтерес з точки зору діагностування, містяться в індуктивній фазі. Межі даного діапазону частот знаходяться від 5 до 60 кГц. Для фільтрування сигналу використовується смуговий нерекурсивний фільтр з лінійною фазочастотною характеристикою.

Несправності системи по-різному впливають на окремі діапазони частот графіка спектральної щільності потужності (рис. 4.8).

Для можливості автоматизованого визначення несправностей системи запалювання необхідно створити інформаційну базу даних, яка буде містити параметри математичної моделі, що відповідають типовим несправностям системи запалювання (4.7).

На рисунку 4.9 зображена блок-схема автоматизованого порівняння параметрів математичної моделі досліджуваного та еталонного сигналів.

Створення описаної бази даних дозволяє удосконалити процес діагностування системи запалювання і розробити алгоритм автоматизованого пошуку несправностей у системі.

4.5 Питання для самоперевірки

1. У чому полягає суть поетапної, послідовно-паралельної обробки даних?

2. Назвіть основні фактори, які впливають на діагностичні параметри системи запалювання?

3. Запишіть математичну модель автоматизованого визначення несправностей системи запалювання.

4. Охарактеризуйте практичну реалізацію методу автоматизованого діагностування.

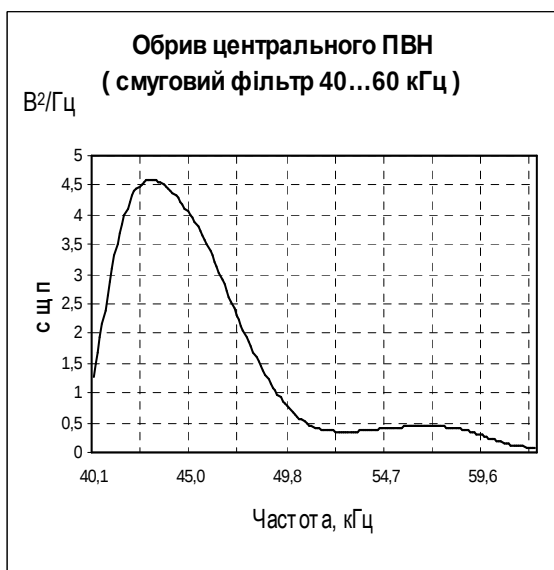
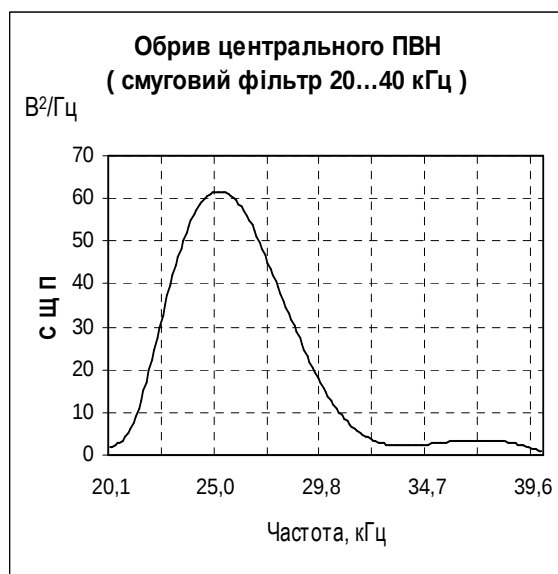
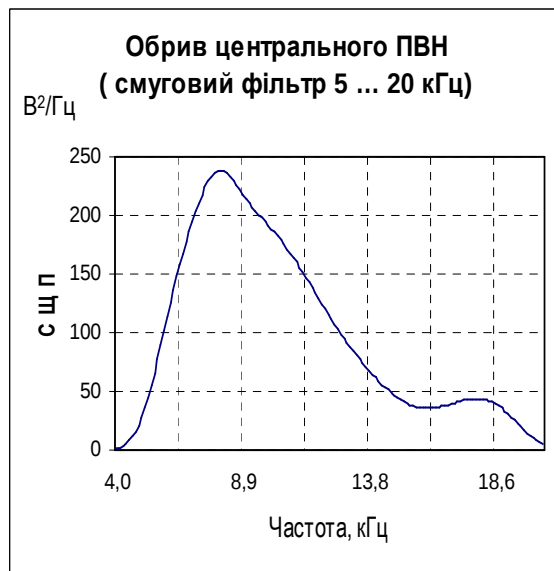
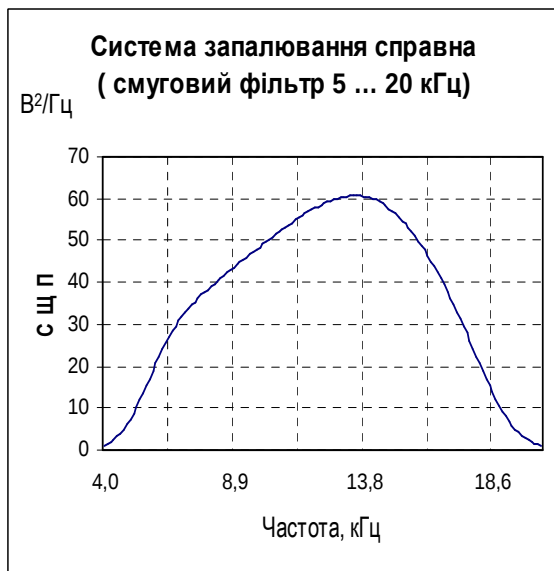


Рисунок 4.8 – Вплив несправностей системи запалювання на окремі діапазони частотного спектра

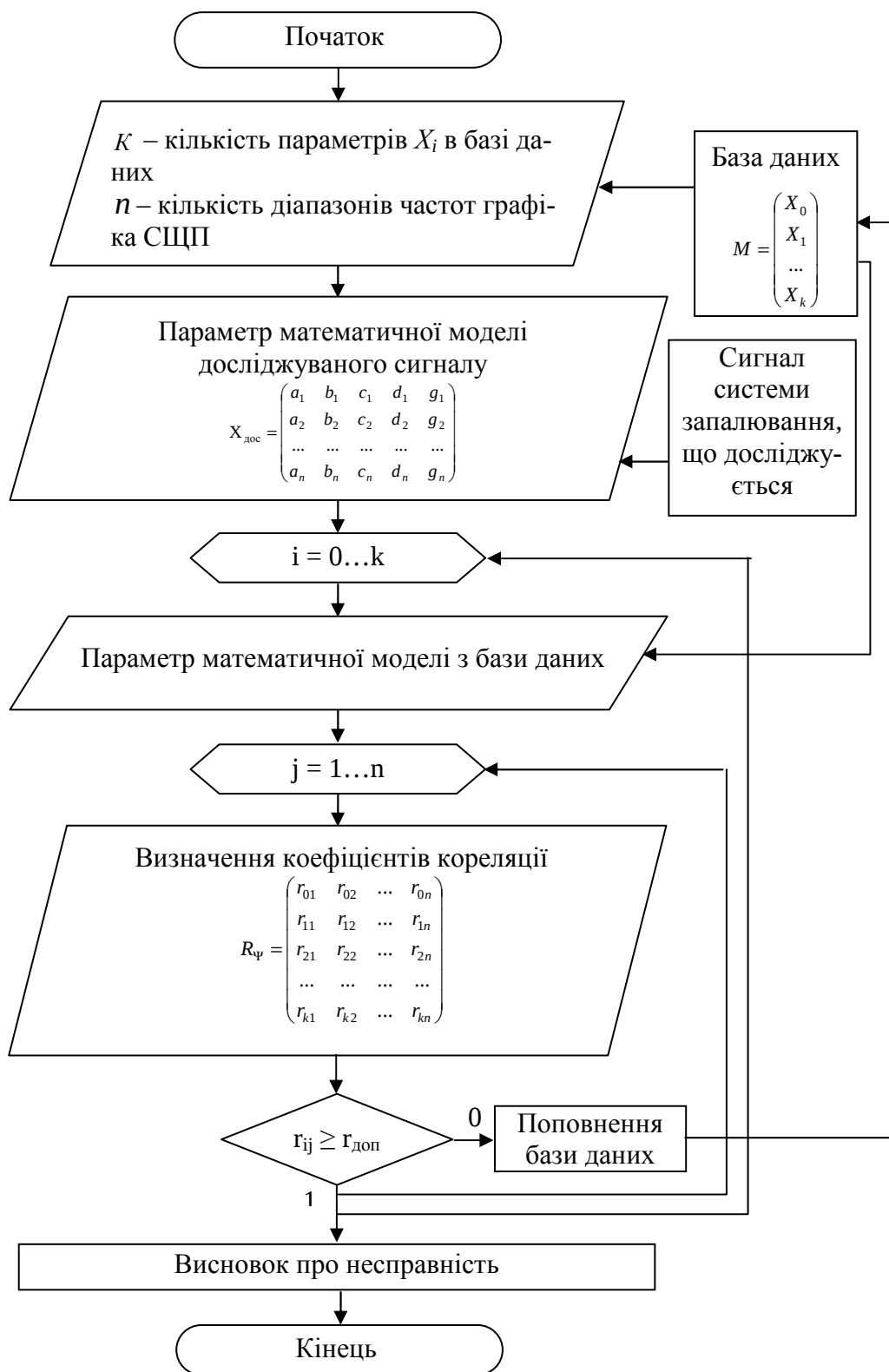


Рисунок 4.9 – Блок-схема автоматизованого визначення несправностей системи запалювання

5 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

5.1 Методи діагностування автомобілів

Складність конструкцій сучасних автомобілів і відповідальність за якість діагностичних досліджень зростають. Досягти потрібного рівня вірогідності і якості діагностичної інформації дають змогу сучасні методи діагностування. Методи діагностування поділяються на організаційні і технологічні. *Організаційні методи* визначають характер основних задач діагностування, застосування і вибір засобів діагностування, алгоритми та програми діагностування.

Технологічні методи діагностування – це множина способів і прийомів подачі вхідних, реєстрації вихідних сигналів, вимірювання діагностичних параметрів і виявлення діагностичних ознак технічного стану. Класифікацію технологічних методів діагностування автомобілів наведено в таблиці 5.1.

За застосуванням засобів діагностування методи діагностування поділяють на два класи: органолептичні (суб'єктивні), інструментальні (об'єктивні).

Органолептичні методи включають прослуховування, огляд, перевірку дотиком і нюхом. Прослуховуванням виявляють місця і характер ненормальних стуків, шумів, перебоїв у роботі двигуна, відмов у силовій передачі та ходовій частині (за шумом), нещільності (за шумом повітря, що проривається) і таке інше. Оглядом установлюють місця підтікання води, масла, палива, колір випускних газів, диміння із сапуна, биття обертових частин, натяг ланцюгових передач тощо. Дотиком визначають місця і ступінь ненормального нагрівання, биття, вібрації деталей, в'язкість, липкість рідини тощо. Нюхом виявляють за характерним запахом несправність зчеплення, витікання бензину, електроліту, підгоряння електропровідників тощо.

Інструментальні методи застосовують для вимірювання і контролю всіх параметрів технічного стану, використовуючи при цьому засоби діагностування.

За періодичністю методи діагностування поділяють на такі, що застосовують у плановому регламентованому і в позаплановому, заявковому порядках. Діагностуванням, виконаним згідно з планом, розв'язують задачі перевірки роботоздатності, а також визначення залишкового ресурсу агрегатів і машини в цілому. З цією метою із усієї сукупності діагностичних параметрів виділяють узагальнені, котрі обов'язково вимірюють під час технічного обслуговування. Серед узагальнених є група ресурсних діагностичних параметрів, досягнення якими граничних значень, обумовлює капітальний ремонт об'єкта діагностування. До таких ресурсних параметрів відносяться витрата газів, що прориваються в картер, коефіцієнт витрати рідини гідроприводу коробки передач тощо.

Таблиця 5.1 – Класифікація технологічних методів діагностування

Ознака	Класи	Підкласи	Приклади
1	2	3	4
Наявність засобів діагностування	Органолептичний	Зорові	Виявлення підтікань, очевидних відхилень кінематичних параметрів, зносу шин
		Дотикові	Відчуття нагрівання зовнішніх поверхонь агрегатів, вібрації, нерівномірного зносу протектора шин
		На слух	Розпізнавання частоти обертання двигуна, виявлення шумів, стуків, вихлопів тощо
		На запах	Відчуття підгоряння електропроводів, наявності парів бензину або масла
		На основі досвіду	Відчуття керованості, «тяги» автомобіля
	Інструментальний	Безпосереднього вимірювання	Вимірювання шаблонами, лінійками, щупами, штангенциркулем, мікрометром тощо
		Опосередкованого вимірювання	Стендові випробування, вимірювання тиску, температури, витрати газу чи рідини, інших діагностичних опосередкованих параметрів
Фізична суть процесу	Енергетичний	Гальмівний	Вимірювання потужності двигуна на електричних, гідравлічних гальмівних стендах, режим повного гальмування стартера
		Парціальний	Вимірювання потужності двигуна з частиною вимкнених циліндрів
		Безгальмівний	Дроселювання випускних газів дизеля, оливи в гідросистемі автомобіля
		Диференціальний	Вимірювання потужності окремих циліндрів двигуна (мінімального гурту)
	Пневмогідравлічний		Визначення гідрощільності форсунок, випробування гідроциліндрів, визначення пневмоопору повітряного тракту
	Кінематичний		Вимірювання сумарного кутового зазору трансмісії, сумарного зазору спряжень кривошипно-шатунного механізму
	Тепловий		Температура і теплота каталітичного догоряння випускних газів, температура системи охолодження
	Віброакустичний	Фазочастотний	Вібродіагностика деталей
		Спектральний	Аналіз періодичних сигналів з давачів струму, тиску, шуму, електричних, гідравлічних машин
		Ударних імпульсів	Діагностика підшипникових вузлів кочення
		Твірної коливаль	Діагностика високошвидкісних електричних, пневматичних, гідравлічних машин
	Феромагнітний		Вимірювання вмісту продуктів зношування в маслі
	Оптичний	Гнучкий	Для огляду об'єкта діагностики, якщо неможливий прямий доступ до нього. Внутрішні поверхні двигунів, агрегатів трансмісії
		Жорсткий	Огляд порожнин машин і механізмів, каналів і труб малого діаметра, порожнин виливків, шліфованих і хонінгованих отворів
		Відео	Те ж, що й жорсткий з можливістю реєстрації проведеного обстеження на відеомагнітофоні, або комп'ютері і створення баз даних; застосування на деяких моделях систем вимірювання виявлених дефектів
	Радіоактивний		Для діагностики АТЗ використовується обмежено

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
Тип носія інформації	Робочі процеси	Вимірювання потужності	Стендові випробування автотранспортних засобів на барабанах силового та інерційного типів
		Оцінення якості функціонування	Вимірювання максимальної швидкості, характеристик розгін-гальмування, швидкості на затяжних підйомах
		Оцінення безпеки	Оцінка стійкості, керованості, маневреності, характеристики зниження інерційних навантажень
		Оцінення екологічності	Токсичність і димність випускних та картерних газів, виявлення підтікань робочих рідин та палива
	Супутні процеси	Термічні	Реєстрація нагрівання підшипникових вузлів
		Електричні	Вимірювання опору провідників, наявності обривів
		Старіння мастильних середовищ	Аналіз проб картерної масла на вміст продуктів старіння
		Віброакустичні	Аналіз ударів, шумів, вібрації агрегатів, механізмів, вузлів
	Процеси неруйнівного контролю	Ультразвуковий	Пошук прихованих дефектів корпусних та великогабаритних деталей
		Рентгенівський	
		Акустичної емісії	Виявлення прихованих дефектів в деталях
		Люмінесцентний	Магнітна дефектоскопія
Режим роботи	Сталий		Визначення потужності двигуна на гальмівному стенді, діагностування електроагрегатів, знятих з автомобіля на стендах
	Перехідний		Визначення параметрів гальмівної системи в режимі гальмування, потужності двигуна в режимі розгону
	Статодинамічний		Випробування автомобілів на різних їздових циклах

Діагностування, виконане позапланово, у заявковому порядку, розв'язує задачу пошуку дефектів у тому разі, якщо за результатами вимірювань узагальненого параметра стану виявлено порушення роботоздатності складової частини серед множини інших.

Параметрами поглибленого діагностування (з метою пошуку дефектів) служать кут початку подачі палива, тиск, що створюється плунжерними парами, коефіцієнт подачі гідронасоса, втрати в розподільнику гідроприводу та інші. Методи діагностування, які застосовують до окремих типів автотранспортних засобів (вантажні й легкові автомобілі, автобуси), або до їх агрегатів і систем (паливна апаратура двигуна, коробка передач тощо), відрізняються між собою параметрами, що вимірюються, прийомами вимірювання й опрацюванням результатів (рис. 5.1).

За діагностичними параметрами усі методи поділяють на три групи, залежно від того, характеризує параметр робочий процес машини або її складової частини, супутній процес або безпосередньо структурний параметр.

Методи діагностування за параметрами робочих процесів дають змогу перевіряти вихідні параметри транспортних засобів (потужність, економічність, продуктивність, якість роботи) і силові робочі характерис-

тики його складових частин (фазові параметри паливоподачі і газорозподілу, тиск, швидкість переміщення, витрата тощо). Точність вимірювання цих параметрів досить висока, тому що переважно здійснюють пряме вимірювання контрольованої фізичної величини.



Рисунок 5.1 – Схема застосування технологічних методів діагностування

Методи діагностування за параметрами супутніх процесів дають можливість побічно визначати ті самі параметри робочих процесів, а також структурні параметри деталей і співпраць, якщо їх не можна чи недоцільно вимірювати безпосередньо. У цьому разі вимірюють також показники генерованих процесів зовнішніми засобами діагностування. Це процеси вібрації і шуму, нагрівання, охолодження, розгону і зупинки обертових частин, наростання або спад тиску масла і повітря в момент пуску і зупинки механізмів, утворення забруднюючих речовин. Точність такого вимірювання діагностичного параметра нижча, ніж під час діагностування за параметрами робочих процесів.

Методи діагностування за структурними параметрами дають змогу прямими вимірюваннями, без розбирання об'єкта діагностування, визначати знос деталей, зазори у їх спряженнях, регулювання. Це методи, які застосовують для вимірювання зносу шин, шківів, зазору у спряженнях, прогину важелів тощо. В основі цих методів лежить вимірювання геометричних параметрів, взаємного розміщення чи розмірів деталей на автомобілі, який не працює.

За режимом роботи об'єкта діагностування можна виділити методи діагностування на сталому, перехідному і статодинамічному режимах роботи. Діагностування на сталому режимі виконують для об'єкта діагностування, що працює на стаціонарному режимі за постійного швидкісного, температурного і силового навантаження. Діагностування на перехідному режимі роботи застосовують для вимірювання параметра у нестационарних умовах (розгін, вибіг, різке гальмування, зняття навантаження, прогрівання, або охолодження тощо).

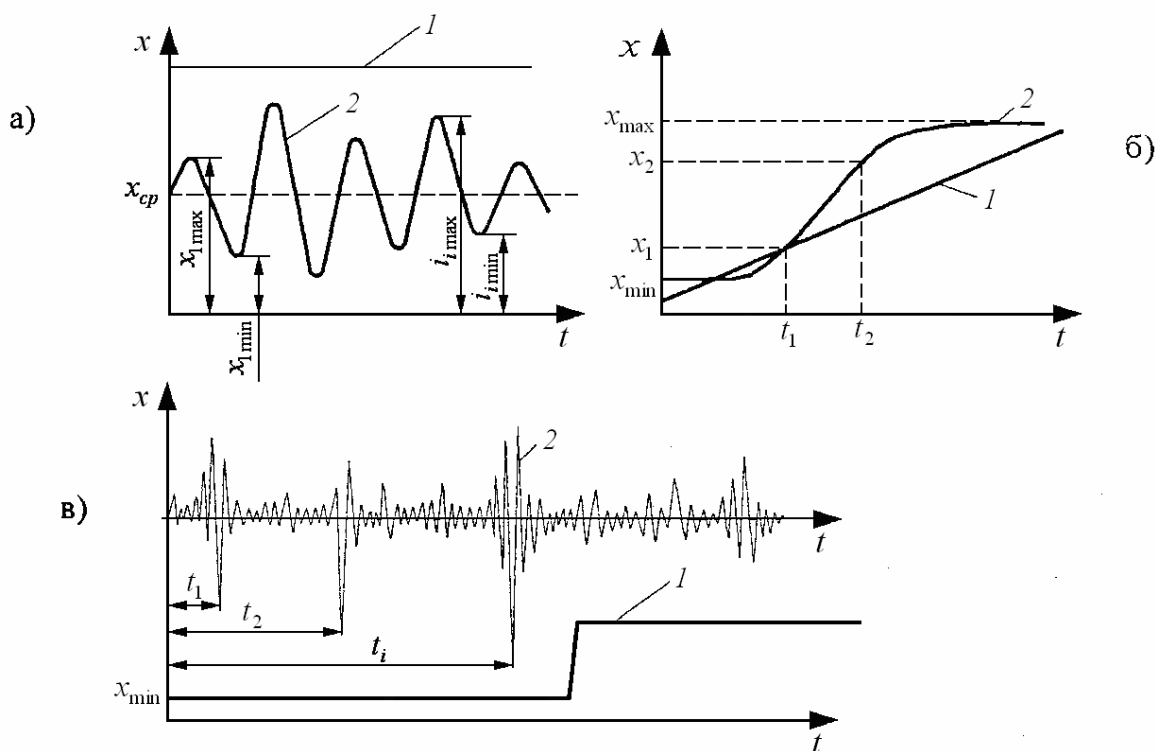
Статодинамічний метод у процесі діагностування використовується з чергуванням сталого і перехідного режимів роботи об'єкта діагностування. Під час діагностування автотранспортних засобів застосовують, переважно, сталі режими, рідше – перехідні і дуже рідко – статодинамічні. Із застосуванням електронних і автоматизованих засобів діагностування діапазон останніх двох методів розширюється. З їх допомогою визначають технічний стан автотранспортних засобів та їх складових частин за параметрами кутового прискорення колінчастого вала двигуна (вимірювання потужності), швидкості збільшення і зменшення тиску в магістралі масла (перевірка роботоздатності гідропривода), час зупинки (оцінка роботоздатності силової передачі, масляної центрифуги) і таке інше.

Статодинамічний метод може бути реалізований тільки в автоматизованому ЗД, тому що вимірюють параметр у чітко заданих за черговістю сталому і перехідному режимах. Такі режими можуть бути використані, наприклад, при вимірюванні витрати палива, потужності і деяких інших параметрів під навантаженням, що створюється періодичним автоматичним відключенням одного або декількох циліндрів бензинового двигуна (дизеля).

За фізичною суттю методи діагностування поділяються на енергетичний, пневмогідравлічний, кінематичний, тепловий, віброакустичний, електромагнітний, оптичний, радіоактивний. Кожен метод призначений для контролю певного фізичного процесу і заснований на застосуванні певного фізичного явища. Класифікація за фізичною суттю дає найбільшу можливість виявити технічну характеристику конкретного методу діагностування. Фізичний процес характеризується зміною фізичної величини за часом. В основі енергетичного методу лежить фізична величина – сила, потужність; пневмогідравлічного – тиск; кінематичного – переміщення, прискорення, швидкість; теплового – температура, кількість тепла; віброакустичного – амплітуда коливань на певних частотах. Зміну фізичного

процесу можна спостерігати на зміні фізичної величини в часі (або залежно від шляху), тобто за двома координатами (рис. 5.2).

Залежно від характеру зв'язку фізичної величини з технічним станом об'єкта діагностування, зручності вимірювання й інших чинників діагностичним параметром може бути характеристика процесу в заданому інтервалі часу: мінімальне, максимальне, миттєве, середнє, середньоквадратичне значення фізичної величини, її швидкості, прискорення. Природно, що поряд з цими характеристиками діагностичним параметром може виступати і час (друга координата) досягнення величиною заданого значення. При цьому сам фізичний процес залишається без змін. Змінюється лише вимірювана характеристика – діагностичний параметр.



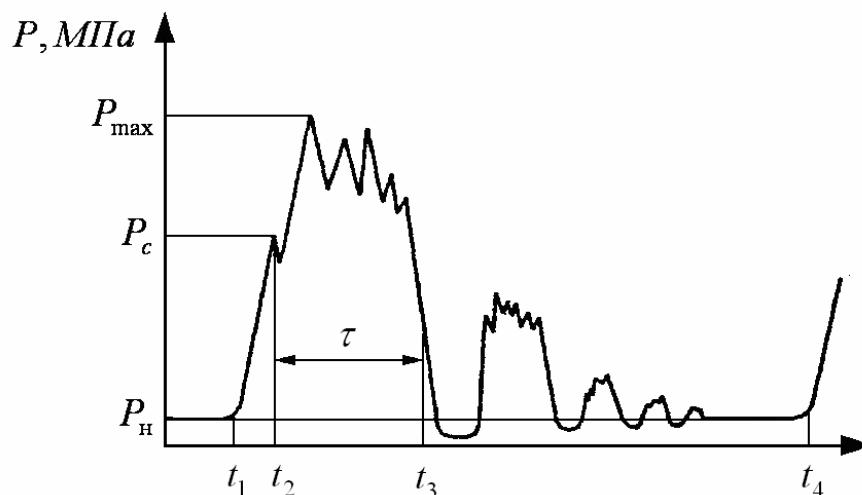
а – стаціонарний (1) і пульсуючий щодо середнього значення (2);
б – повільно- (1) і швидкоплинний (2); в – стрибкоподібно змінний (1) і у вигляді віброакустичного сигналу (2)

Рисунок 5.2 – Характер зміни параметрів фізичних процесів

Для вимірювання обраного діагностичного параметра застосовують різні первинні вимірювальні перетворювачі, на які впливає фізична величина. Вона перетвориться в іншу фізичну величину, зручну для вимірювань або спостереження, тобто вхідний сигнал перетвориться у вихідний (зазвичай електричний). Вихідний сигнал, будучи відображенням вхідного, тобто первинної фізичної величини, містить вимірювані характеристики. В результаті опрацювання вихідного сигналу вимірюють, а потім реєструють діагностичні параметри.

Назву методу звичайно встановлюють саме за тим фізичним процесом, який впливає на чутливий елемент вимірювального засобу первинного у вимірювальному ланцюзі елемента (тиск рідини – на мембрану; збільшення сили – на важіль вагового механізму; підвищення температури – на термопару; збільшення відстані – на шток індикатора; коливання блоку двигуна – на п'єзоелектричний елемент віброперетворювача).

Фізичний процес може нести інформацію про робочий процес об'єкта діагностування, тому він може мати декілька діагностичних параметрів, що відображають роботу і стан окремих складових частин об'єкта. Наприклад, фізична величина – тиск у трубопроводі високого тиску системи живлення (рис. 5.3).



$P_{\max}$ – максимального, P_c – середнього, P_n – номінального; $t_1 - t_4$ – моменти відповідних значень тиску; τ – тривалість впорскування

Рисунок 5.3 – Характер зміни тиску в паливопроводі дизеля від тривалості процесу

Під час роботи двигуна цей тиск змінюється. Фізичний процес його змінення за період T може мати вісім діагностичних параметрів, що характеризують роботу і стан основних деталей паливної апаратури (таблиця 5.2).

Стан деталей паливної апаратури дизельного двигуна можна визначити пневмогідравлічним методом діагностування з використанням електронної апаратури й вмонтованого в паливопровід мініатюрного первинного вимірювального перетворювача тиску.

За швидкістю змінення фізичної величини під час вимірювання усі методи поділяються на діагностування з повільнозмінними і швидкозмінними фізичними процесами. У повільнозмінному процесі постійно вимірюють фізичну величину, яка постійно змінюється. До таких величин відносяться всі структурні параметри, а також більшість характеристик робочих і допоміжних процесів, коли визначаються середні значення робочих

параметрів: продуктивність, зусилля стиску, потужність під час гальмування при сталому режимі, витрати палива. У більшості відомих неавтоматизованих засобах діагностування реалізовано методи вимірювання параметрів за повільнозмінного фізичного процесу з періодом змінення від декількох секунд до десятків хвилин. За швидкозмінного фізичного процесу швидкість змінення діагностичного параметра є дуже високою – від часток мілісекунди до кількох секунд. До таких фізичних процесів можна віднести віброакустичні, процеси зміни кутового прискорення колінчастого вала, вала силової передачі під час розгону або зупинки, тиску палива, масла. Методи діагностування швидкозмінного фізичного процесу реалізують за допомогою електронних засобів діагностування.

Таблиця 5.2 – Взаємозв'язок структурних і діагностичних параметрів паливної апаратури дизеля

Назва діагностичного параметра	Що характеризує
Залишковий тиск перед початком подачі палива	Стан нагнітального клапана і форсунки
Момент початку нагнітання палива	Стан кулачків вала паливної помпи, плунжера і розподільних шестерень
Тиск початку впорскування	Пружність пружини форсунки і знос торцевих поверхонь, на які опирається пружина
Момент початку впорскування	Стан приводу паливної помпи, паливопроводів високого тиску
Інтервал часу наростання тиску	Знос плунжерної пари насоса
Максимальний тиск	Регулювання пружини форсунки
Тривалість впорскування	Хід голки, пропускна здатність розпилювача
Інтервал часу спаду тиску	Стан плунжерної пари і пропускна здатність розпилювача форсунки

Для вимірювання визначеного діагностичного параметра необхідний відповідний спосіб опрацювання вихідного сигналу для заданого режиму роботи об'єкту діагностування. В одному випадку потрібно виміряти середнє, в іншому – максимальне значення фізичної величини, а в третьому – момент досягнення заданого значення. У зв'язку з цією метою, у кожному методі використовується кілька способів діагностування.

Одним із найстаріших є **енергетичний спосіб діагностування**, заснований на вимірюванні потужності або амплітуди вихідного сигналу. Діагностичним параметром при цьому може бути температура (перепад температур), тиск, шум, вібрація і багато інших фізичних параметрів. Сучасним розвитком енергетичних способів є інформаційна частотна технологія, що припускає виділення з вимірюваного сигналу складових у визначених частотних діапазонах і подальший енергетичний аналіз виділених складових. Енергетичний спосіб при використанні об'єкта діагностування на сталому режимі роботи служить для оцінювання технічного стану механізмів і систем, які виробляють, передають або споживають енергію. Існує де-

кілька різновидів такого діагностування: гальмівний, парціальний, диференціальний, безгальмівний. Енергетичний спосіб застосовують, у першу чергу, для визначення технічного стану двигунів внутрішнього згоряння за параметрами потужності. Гальмівний спосіб дає змогу визначати ефективну потужність, яка оцінюється мірою механічної енергії, отриманої в результаті згоряння палива в циліндрах, за реактивною силою або гальмівним моментом під час гальмування на стенді. Фізична величина – робота, а діагностичний параметр – сила. Під час діагностування двигуна його режим роботи є сталим, сила – практично постійною. Парціальний спосіб, для якого об'єкт діагностування (наприклад, двигун) працює з частиною виключених циліндрів, дає можливість випробовувати його на стендах малої потужності. Він також характеризується стаціонарним режимом і постійним рівнем діагностичного параметра. Диференціальний спосіб діагностування за ефективною потужністю, за якого вимірюється відхилення потужності від номінального значення по окремих циліндрах, аналогічний парціальному. Безгальмівний спосіб (без стенду) передбачає створювати навантаження на циліндри двигуна, які працюють, за рахунок виключених. За потреби створюють додаткове навантаження, наприклад, дроселюванням випускних газів або масла в гідроприводі машини.

Віброакустичний метод діагностування базується на вимірюванні параметрів вібрацій. Під час експлуатації автотранспортного засобу їх елементи зазнають переміщень, які змінюються в часі (вібропереміщення). Причинами виникнення вібропереміщень можуть бути циклічні процеси (обертання роторів, валів, періодичні навантаження), власні коливання тощо. У загальному випадку вібропереміщення можна подати у вигляді накладених елементарних гармонічних коливань. В зв'язку з цим основними параметрами вібрації є частота, віброприскорення, амплітуда, інтенсивність віброхвиль. Для задач технічної діагностики частота вимірюється у діапазоні 0-30 кГц залежно від чутливості вимірювальної апаратури; віброприскорення з верхньою межею вимірювань – 1000 м/с^2 ; амплітуда віброколивань – весь діапазон вібропереміщень; інтенсивність віброхвиль – весь діапазон переносу енергії за одиницю часу (Вт/м^2).

Віброакустичний метод діагностування використовують при сталому режимі роботи об'єкта діагностування. Зміну віброакустичних параметрів подають у вигляді періодичних загасаючих коливань.

Вібраційний метод має три різновиди. Одним з них є частотна технологія, що припускає виділення з вимірюваного сигналу складових у певних частотних діапазонах і подальший енергетичний аналіз виділених складових. Технологія частотного аналізу використовується не тільки для контролю і діагностування машин, але й для їх аварійного захисту.

Іншим різновидом віброметоду є фазочасова технологія заснована на порівнянні форми сигналів, які вимірюються через фіксовані інтервали часу. Ця технологія успішно використовується для контролю стану машин зворотно-поступальної дії з декількома однаковими вузлами (циліндрами і

поршнями), які навантажуються послідовно через однакові інтервали часу. Наприклад, за формою сигналу вібрації двигуна автомобіля можна визначити якість роботи кожного з циліндрів. Порівняння форми сигналів з еталонною можна здійснювати за допомогою третього різновиду вібраційного методу спектральної технології, заснованої на вузькосмуговому спектральному аналізі сигналів.

Перераховані вище інформаційні технології застосовувалися ще і XIX столітті для контролю роботоздатності парових машин. Лише остання, спектральна технологія, почала широко використовуватись в середині XX століття після створення відносно простих аналізаторів спектра сигналів різної природи.

Розвиток засобів діагностування і обчислювальної техніки в останні роки дозволили частково розв'язати проблеми контролю та діагностики з використанням систем моніторингу машин і устаткування на базі розглянутих віброметодів. Такі системи, орієнтовані на неперервний контроль діагностичних параметрів конкретної машини, мають спеціальні режими адаптації на початковому етапі експлуатації, коли дефекти найчастіше відсутні.

Паралельно із застосуванням систем моніторингу на базі вже існуючих методів у багатьох країнах велись пошуки нових методів аналізування сигналів для розв'язання діагностичних задач. Так, у 1968 році фахівцями Швеції був запатентований метод, який дав початок технології ударних імпульсів, зокрема щодо технології діагностики підшипникових вузлів.

У 1978 році російськими вченими розроблено технологію для діагностування багатьох видів вузлів роторних машин, відому як технологія обвідної кривої. Ця технологія набула значного поширення у багатьох країнах. Суть її полягає в аналізуванні коливань потужності сигналу, що вимірюється. Вона може застосовуватися для високочастотного сигналу, потужність якого змінюється значно повільніше, ніж його період. Оскільки потужність сигналу визначається обвідним значенням, ця технологія заснована саме на аналізуванні такої кривої високочастотного сигналу.

Найбільші успіхи методу обвідної кривої, як і методу ударних імпульсів, досягнуті щодо задач діагностики підшипників кочення.

Основні методи віброакустичної діагностики розраховані на виявлення дефектів, які зароджуються у вузлах машин і устаткування. Дефекти, які виявляються за характером впливу на вібрацію і шум ОД можуть бути розділені на три основні групи. До першої відносяться дефекти, поява яких змінює характеристики коливальних сил, що є причиною виникнення вібрації і шуму. Другу групу становлять дефекти, що не змінюють характеристики коливальних сил, а лише механічні властивості вузлів, у яких вони діють. До третьої групи відносяться дефекти, які зумовлюють зміну механічних властивостей вузлів і конструкцій, по яких поширюється вібрація.

Методи функціональної діагностики дають змогу ефективно виявляти дефекти першої групи. Методи тестової діагностики ефективніше пра-

цюють під час пошуку дефектів третьої групи. Дефекти другої групи можуть виявлятися методами як функціональної, так і тестової діагностики. Якщо ж дефекти мають властивості першої і другої груп, то для їх виявлення використовують методи функціональної діагностики. І, нарешті, дефекти всіх трьох груп на останніх етапах свого розвитку впливають на сигнали вібрації або шуму і тому можуть бути виявлені до моменту виникнення аварійної ситуації системами моніторингу віброакустичного стану машин і устаткування.

На початковому етапі розвитку віброакустичної діагностики її найбільші успіхи були пов'язані з діагностикою деталей двигуна. Під час експлуатації автотранспортних засобів через певні інтервали часу у двигуні формуються ударні імпульси, зумовлені особливостями згоряння палива, роботою поршнів і клапанів. Порівняння зумовленої ударами вібрації різних циліндрів за часом, формою й амплітудою дає можливість виявити дефекти систем газорозподілу та запалювання. Це можна зробити за допомогою найпростішої апаратури, а саме, датчика вібрації й осцилографа. Порівняння параметрів ударних імпульсів за формою між собою дає можливість досить просто діагностувати вузли, які є їх джерелом. Але одночасно ці імпульси вкрай утруднюють аналізування вібрації, що порушується іншими вузлами, наприклад, підшипниками колінчастого вала. Тому під час діагностування ДВЗ не обмежуються використанням лише віброакустичних технологій.

Досвідчений механік уміє ставити діагноз на слух. Це прообраз системи акустичного діагностування – людини, що володіє досвідом роботи з автомобілем і виявленням його несправностей у звуковому полі. Вимірними системами людини є вухо і мозок. Цим системам акустичного діагностування властивий певний суб'єктивізм в оцінках. Однак вона справно служила доти, доки науково-технічний прогрес не дозволив замінити навіть досвідченого механіка з його об'єктивізмом і об'єктивною високоточною технічною системою з ЕОМ.

Практика показала, що ця заміна, не завжди адекватна і безболісна, нерідко страждає спрощенням фізичної інтерпретації явищ, викликаних впливом дефектів і ушкоджень на робочі процеси в автомобілі, механічним підходом до опису віброакустичних процесів в агрегатах і в остаточному підсумку здатна дискредитувати саму ідею акустичної діагностики.

Існуюче механічне подання коливань вузлів агрегатів як системи мас і пружин, з'єднаних між собою, припускає, що прискорення від дії сили одержить об'єкт у цілому. Насправді агрегат коливається не як єдине ціле. Його деформований стан визначається законом поширення **пружних кіл**, що виникають під дією прикладеної сили (крутного моменту, навантаження). Передача збурень при цьому відбувається з кінцевою швидкістю, що залежить від властивостей середовища, виду і частоти збурення і пружної хвилі. Тому більш універсальним і плідним у діагностиці є акустичний підхід, що розглядає коливальні явища в механічних конструкціях як хви-

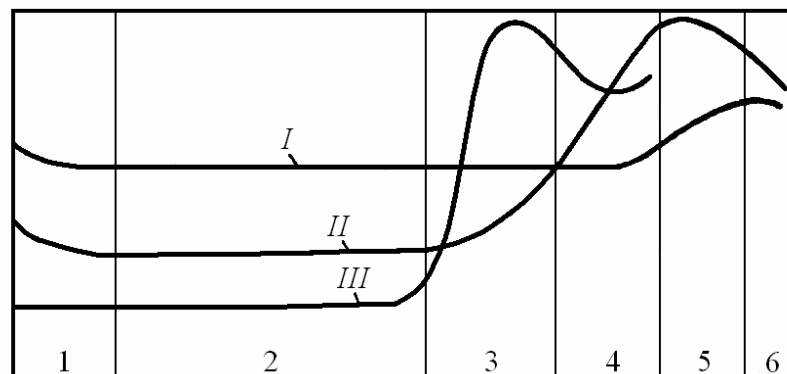
льовий процес. Сучасна віброакустична діагностика базується на досягненнях в області акустичної динаміки машин нового наукового напрямку, що виник на стику теорії механізмів і машин з акустикою. Специфічність задачі діагностування автомобільних агрегатів за зміною властивостей віброакустичних процесів, що супроводжують роботу їхніх вузлів, і своєрідність методів формування діагностичних ознак орієнтують на використання в перспективі швидкодіючих спеціалізованих обчислювальних засобів аналізування тонкої структури віброакустичних сигналів з метою розпізнавання акустичних образів найбільш небезпечних і прихованих копусами уш-коджень деталей.

Практика діагностування експлуатаційних ушкоджень деталей трансмісії пов'язана з рішенням таких задач:

- виявлення розрегулювання у вузлі агрегата, тобто встановлення самого факту зародження якої-небудь несправності;
- виявлення ушкоджень деталей на ранній стадії їхнього розвитку;
- визначення грубих дефектів і ушкоджень, коли параметри станів наближаються до гранично припустимого;
- діагностування передаварійних станів, коли подальша експлуатація агрегату неминуче призведе до катастрофічних наслідків.

Перші дві задачі, коли зміни параметрів стану і відповідно параметрів віброакустичного сигналу незначні, необхідно вирішувати з застосуванням тонких методів аналізу сигналів. Для рішення третьої і четвертої задачі можна обмежитися аналізом енергетичних характеристик сигналу, що визначаються кінетичною енергією взаємодії деталей, яка зростає із деградацією вузлів агрегата.

Найменш чутливою ознакою (рис. 5.4) є рівень сигналу в широкій смузі частот.

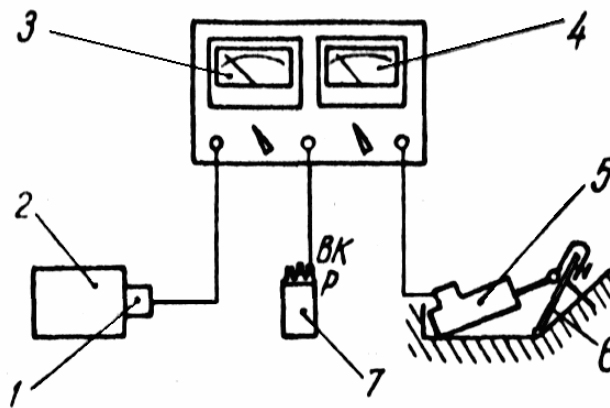


- 1 – припрацювання; 2 – нормальний стан; 3 – зародження дефекту й ушкодження;
 4 – припустимий рівень ушкодження; 5 – передаварійний стан; 6 – руйнування агрегата; I – загальний рівень сигналу в широкій смузі частот; II – глибина модуляції; III – число викидів сигналу в одиницю часу

Рисунок 5.4 – Поведінка різних характеристик віброакустичного сигналу зі збільшенням пробігу агрегата й етапи його деградації

Якщо ставиться задача діагностування передаварійних станів, то як діагностичну ознаку можна використовувати навіть загальний рівень сигналу в широкій смузі. Тому для своєчасного виявлення передаварійних станів агрегатів трансмісії цілком прийнятні енергетичні характеристики вимушених коливань, синхронізовані з роботою діагностованих вузлів. Однак необхідність установлення місця і характеру прихованих несправностей потребує застосування більш чутливих характеристик віброакустичних процесів агрегатів – звуження смуги спектрального аналізу з прив'язкою компонентом спектра до певного виду несправності.

Схема підключення для діагностування коробок передач і заднього моста за прискоренням вібрації показана на рисунку 5.5.



1 – датчик; 2 – агрегат, що перевіряється; 3 – вимірювальний прилад, що показує стан агрегата; 4 – тахометр; 5 – механізм дистанційного керування оборотами двигуна; 6 – педаль акселератора; 7 – котушка запалювання

Рисунок 5.5 – Схема підключення приладів при діагностуванні коробки передач і заднього моста за параметрами вібрації

Аналіз результатів досліджень і регулярного масового обстеження автомобілів сімейства ГАЗ, ЗІЛ і КамАЗ дозволив установити закономірності зміни прискорення вібрації ведучих мостів залежно від їхнього технічного стану.

Справний стан агрегатів і оптимальне регулювання зачеплення зубів і підшипників (зазор 0,20 мм; натяг 1,2 Н·м) характеризується мінімальним прискоренням вібрації 2...3 м/с². Це пояснюється тим, що при правильному регулюванні і відсутності ушкоджень миттєве навантаження і розвантаження спіральних з бочкоподібним профілем зубів перетворюється в поступово наростаюче, практично різке коливання. До того ж їхня притерта поверхня настільки гладка, що не виникають коливання від жорсткостей.

Порушення оптимальної плями і зазору зачеплення в 2-3 рази супроводжується зростанням прискорення вібрації до 10 м/с².

Характерно, що усунення розрегулювання зачеплення шестерень експлуатаційного зносу (крива 2, зазор зменшили від 0,95 до 0,6 мм при

припустимій плямі контакту) знизило діагностичний параметр від 30 до 15 м/с^2 (натяг підшипників оптимальний). Спроба зменшити зазор у зачепленні до 0,4 мм (у даному агрегаті) викликала зростання параметра.

Отже, для шестерень з рівномірно допустимим зносом зубів (без дефектів і ушкоджень) завжди існують найвигідніший із точки зору вібронпруженості (а виходить, і витрати ресурсу) зазор і таке розташування плями контакту, при якому прискорення вібрації мінімальне.

Цю характерну рису доцільно практично використовувати для діагностичного настроювання і забезпечення високої якості регулювання зачеплення зубів шестерень.

Настання передаварійного стану ведучих мостів автомобілів ГАЗ-53 характеризується прискоренням вібрації в межах 40...80 м/с^2 ; прогнозовано – 80...140 м/с^2 . Таким чином, порівняно з новими приробленими агрегатами при настанні їхнього граничного стану прискорення вібрації зростає в 25 разів. Отже, цей параметр надійно сигналізує про катастрофічне руйнування основних деталей головної передачі.

Як видно з графіка (рис. 5.6), збільшення сумарного зазору у ведучих мостах автомобілів КамАЗ з 8 до 26° викликає зростання параметра до 35 м/с^2 , (швидкість 45 км/год., технічно справні агрегати). При наявності прихованих несправностей і ушкоджень (порушення параметрів регулювання зачеплення зубів шестерень і підшипників, ушкодження окремих елементів підшипників) прискорення вібрації зростає в 2,5-3,0 рази (зона несправного, але роботоздатного стану агрегатів, рис. 5.6, зона 2). Для зони передаварійних станів (рис. 5.6, зона 3) характерне різке збільшення діагностичного параметра вже при швидкості 15 км/год. Контрольними розбираннями таких агрегатів виявлені підшипники і шестерні з тріщинами обойм, надламами і борознами роликів і зубів.

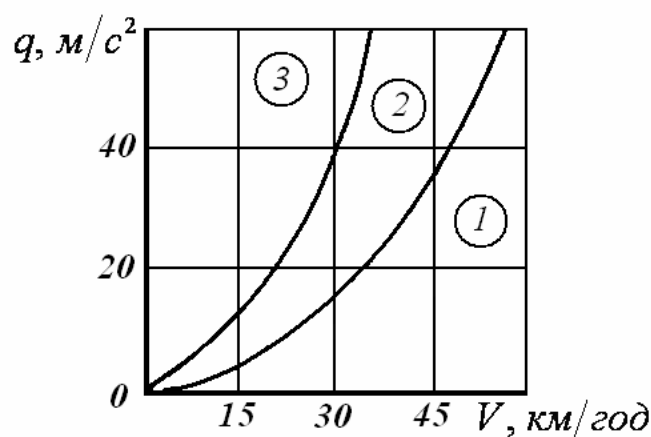
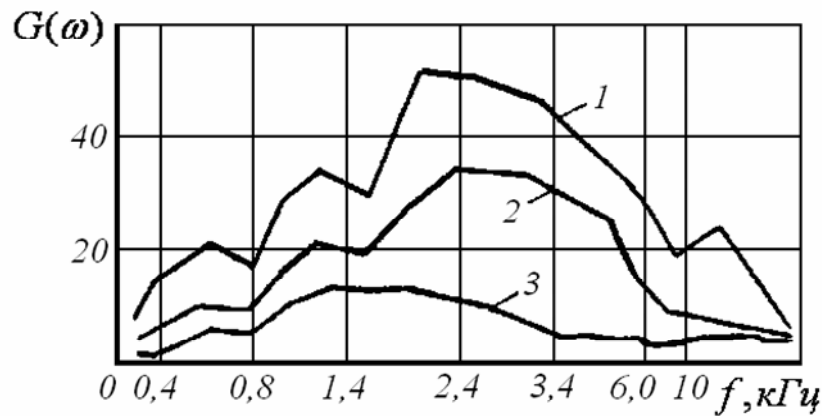
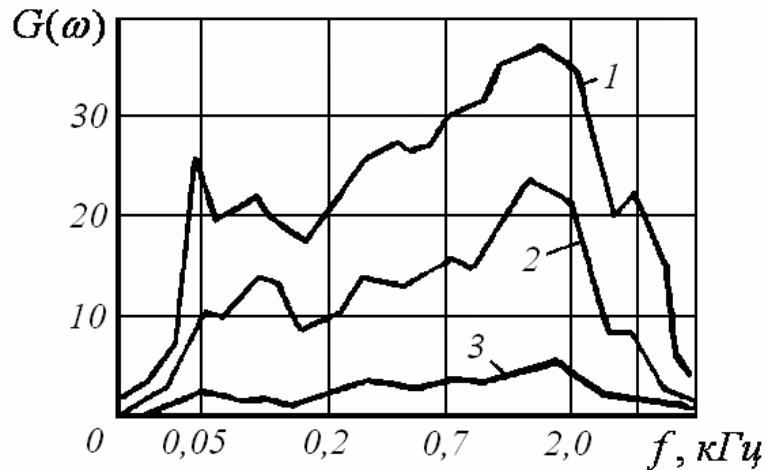


Рисунок 5.6 – Зони справних 1, роботоздатних 2 і передаварійних 3 станів ведучих мостів автомобілів КамАЗ-5320



1 – граничний знос зубів шестерень; 2 – бічний зазор між зубами $\delta = 0,52$ мм; 3 – нормальний бічний зазор у зачепленні

Рисунок 5.7 – Спектри вібрації коробки передач автомобіля ГАЗ-53 (III передача, $n = 1000$ об/хв.)



1 – надлам бігової доріжки зовнішнього кільця (натяг нормальний); 2 – зазор $\delta = 0,22$ мм; 3 – оптимальний натяг прироблених підшипників ведучої шестерні

Рисунок 5.8 – Спектри вібрацій заднього моста автомобіля ГАЗ-53 $n = 1450$ об/хв

Як діагностичну ознаку ступеня зносу підшипників ведучих мостів використовують середньоквадратичне значення рівня й енергетичні спектри вібрації в смузі частот, що містить власну частоту підшипникового вузла (рис. 5.9).

Аналіз вібраційних характеристик підтвердив, що амплітуди і спектральна щільність при збільшенні зазору і наявності ушкодження в підшипнику мають найбільше позитивне збільшення в трьох частотних діапазонах: 3 Гц ... 3,6 кГц; 4,5 ... 7 кГц і 7 ... 11,5 кГц (рис. 5.7-5.8, криві 1-3). Для зазначених діапазонів застосуємо спосіб діагностування підшипників мос-

тів і коробка трансмісії, заснована на статистичному аналізі вібрацій 2 за асиметрією (ексцесом) розподілів (рис. 5.10).

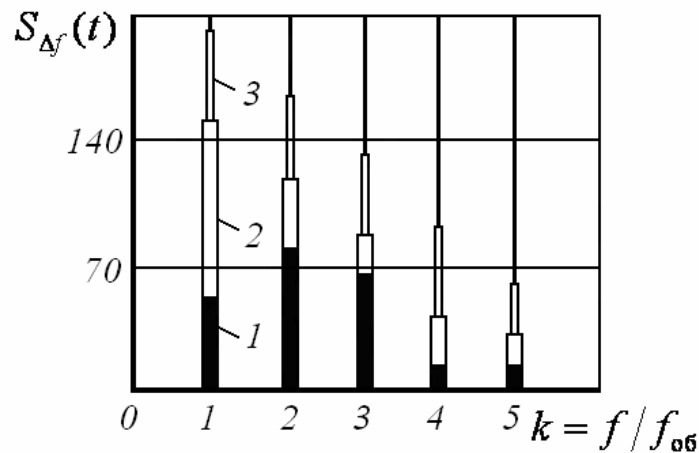


Рисунок 5.9 – Спектри частотної модуляції першої гармоніки частоти зачеплення для справного (1), переддефектного (2) і дефектного (3) стану головної пари редуктора заднього моста автомобіля КамАЗ

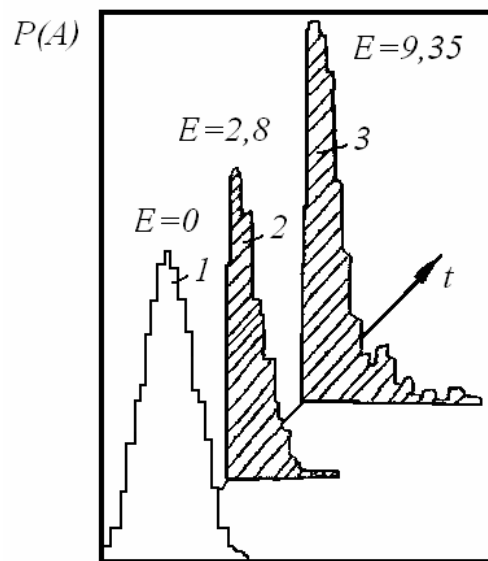


Рисунок 5.10 – Закони розподілу імовірностей амплітуд вібросигналу для справного стану (1), передвідмовного (2) і при заїданні (3) підшипника, що працює з надмірним натягом і без змащення

При відсутності ушкодження ексцес дорівнює нулеві у всіх смугах частот (гауссовський закон розподілу амплітуд). Ушкодження на ранній стадії викликає зміни в основному в смугах низьких частот. Більш розвинуте (а виходить, і більш небезпечне) ушкодження найбільшою мірою впливає на високі частоти, повертаючи ексцес знову до вихідного значення в області низьких частот. Це унікальна діагностична ознака, що дозволяє

давати кількісну оцінку підшипника при прогнозуванні його роботоздатності. Головна перевага методу – його нечутливість до змін швидкості і навантаження ушкодженого підшипника. Це значно спрощує технологічну реалізацію методу в ДТП на станціях діагностики, оснащених барабаними стендами різних моделей.

Виникнення заїдання в підшипнику ковзання редукторів головної передачі і коробки передач характеризується такими діагностичними ознаками: зменшенням рівня спектральної складової на частоті зачеплення; збільшенням рівнів спектральних компонентів в області власної частоти підшипникового кута і глибини частотної модуляції вібросигналу в околі частоти зачеплення; різким зростанням вібросигналу (рис. 5.10) на власній частоті підшипника. Комплекс зазначених ознак дозволяє діагностувати появу заїдань у підшипниках ковзання на ранній стадії, аналогічно діагностуванню заїдання зубів шестерень.

Сучасні системи віброакустичного діагностування першої групи призначені для поточного контролю характеристик агрегатів з метою виявлення попередніх станів (спектральний аналіз коливань). Другу групу складають спеціалізовані системи, орієнтовані на виявлення дефектів і ушкоджень на стадіях їхнього зародження. Ці системи використовують дані аналізування тонкої структури віброакустичних процесів.

Незалежно від призначення будь-яка система діагностування складається з двох підсистем (рис. 5.11).

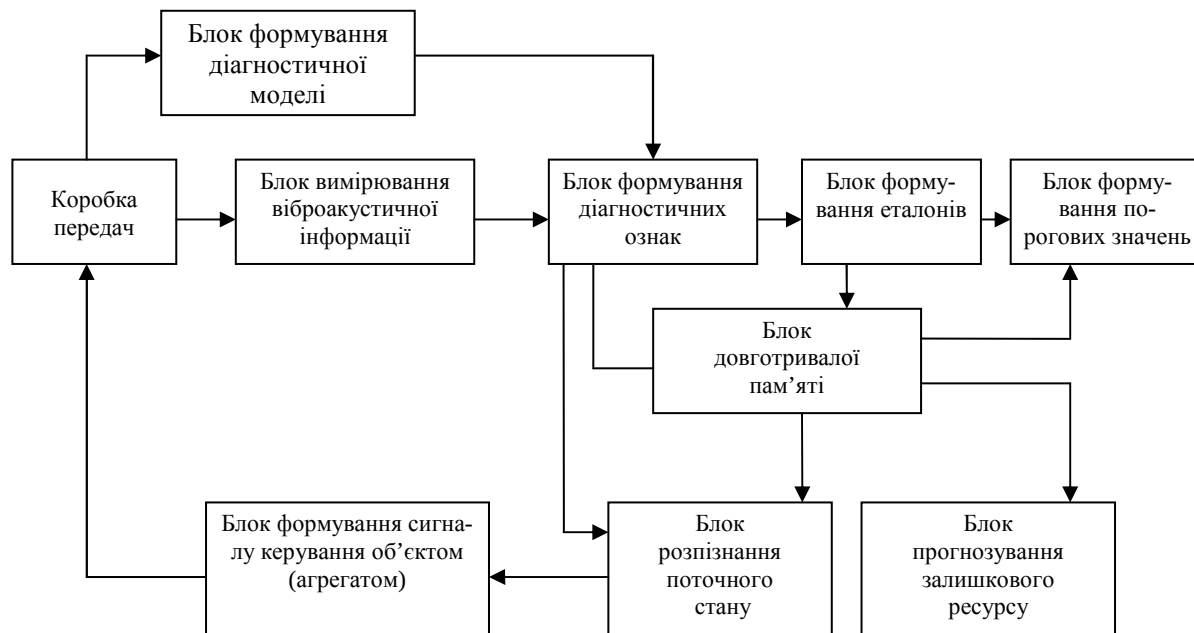


Рисунок 5.11 – Структурна схема системи віброакустичного діагностування

Оптичні методи діагностування. Найпростішим способом виявлення несправностей деталей є візуальний огляд. У важкодоступних місцях він утруднений. Тому для виявлення дефектів у таких ситуаціях засто-

совують спеціальні оптичні прилади – технічні ендоскопи.

Ендоскопія двигуна проводиться з метою якісного оцінення величини зносу і виявлення поломок у деталях циліндро-поршневої групи. Легко виявляються прогар і ушкодження клапанів, днищ поршнів, головки блоку і прокладки головки блоку з боку камери згоряння. За слідами масла на стержнях і тарілках клапанів, у камері згоряння, краях днища поршня встановлюють ступінь зносу поршневих кілець. Це далеко не повний перелік прикладів застосування оптичної ендоскопії у діагностиці технічного стану автомобіля.

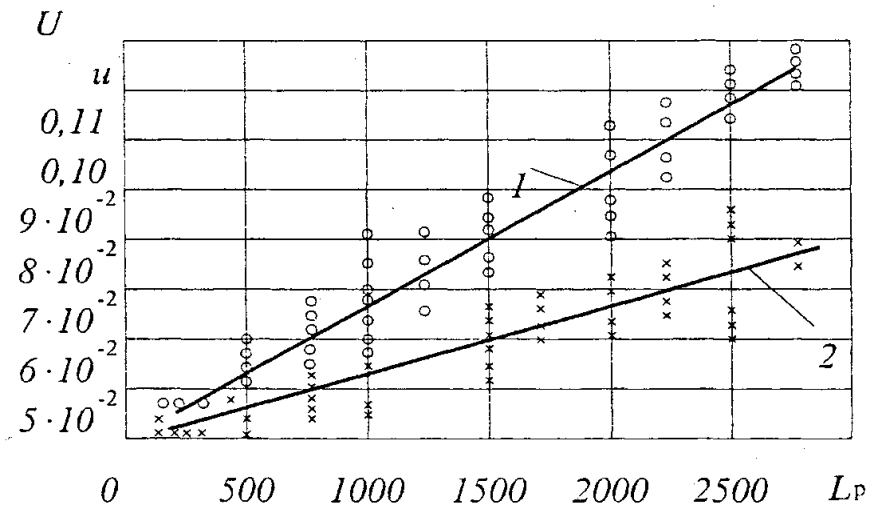
Застосування оптичних методів для діагностики автомобільних двигунів не обмежується ендоскопією. Спеціальні системи дозволяють заглянути усередину кожного циліндра працюючого двигуна і спостерігати за ходом процесу згоряння палива. Світлове випромінювання, що виникає при згорянні палива в циліндрах, несе величезну кількість діагностичної інформації. Його реєстрація і відповідне опрацювання дають змогу робити висновок про ступінь зношеності деталей, порушення у роботі систем керування двигуном, потребу відповідних регулювань конкретного двигуна.

В організації оперативного діагностичного контролю, оцінення рівня технічної експлуатації, технічного стану об'єкта діагностування важливе місце належить методам і засобам аналізу відпрацьованого масла. Наприклад, аналіз проб масла з картера двигуна і відкладень в мастилоочисниках виконується з метою визначення кількісного вмісту продуктів зношування деталей, забруднень і домішок, які потрапляють в масло ззовні, а також елементів, що входять до паспортного складу масла.

Концентрації заліза, алюмінію, кремнію, хрому, міді, свинцю, олова й інших характерних елементів в маслі дають змогу робити висновки про швидкість зношування деталей. За концентрацією заліза у відпрацьованому маслі можна оцінити швидкість зношування гільз циліндрів, шийок колінчастих валів, поршневих кілець, за концентрацією алюмінію – про швидкість зношування поршнів тощо.

Складники ґрунтового пилу (кварц, кальцій, оксиди алюмінію тощо) характеризують стан повітряно-масляного фільтрів, а також стан і роботу мастилоочисних пристроїв. Наприклад, погана робота повітроочисника або порушення герметичності повітряного тракту спричинює проникнення в циліндри великої кількості абразивних часток, які зумовлюють різке зростання зносу деталей. За зміною вмісту елементів, що входять до первинного комплексу масляних присадок (барій, фосфор, сірка, молібден), можна оцінювати придатність масла.

Збільшення зазорів від концентрації продуктів зносу із зростанням пробігу автотранспортних засобів мають лінійний характер (рис. 5.12). Потрібно зазначити, що в однакових умовах експлуатації автотранспортних засобів до першого капітального ремонту рівень вмісту продуктів зносу в маслі нижчий, ніж для відремонтованих. Він залежить також і від сезонності роботи.



1 – механічна коробка передач; 2 – гідромеханічна коробка передач

Рисунок 5.12 – Залежність концентрації U феромагнітних домішок в маслі коробки переміни передач (%) від пробігу авто-транспортних засобів L_p (км)

Для кількісного визначення продуктів зносу у відпрацьованому маслі існує декілька методів: спектрального аналізу, калориметричні, індукційні, радіоактивні тощо. Практично найбільший інтерес становлять перших три. Відрізняючись високою інформативністю та універсальністю, метод спектрального аналізу за характерним спектром, який можна спостерігати під час спалювання проби масла в зоні електричного розряду (прямий метод), дає змогу оцінювати вміст в маслі елементів зносу, сторонніх домішок, присадок. Спектри реєструються фотографуванням (спектрографи) або за допомогою фотоелементів (квантометри).

Для діагностування автомобільних двигунів застосовують прямі методи спектрального аналізу. Найбільшого поширення набув його різновид – метод обертового електрода. У цьому методі верхнім електродом служить графітовий стрижень, а нижнім – графітовий диск, що під час обертання захоплює масло зі спектральної ванночки і подає в зону електричного розряду.

Фотоелектричні калориметри, наприклад, ФЗК-М дають змогу за оптичною густиною стандартного розчину і розчину, отриманого способом оброблення проби відпрацьованого масла, оцінити вміст продуктів зносу. Метод потребує спалення проби масла упродовж 1,5-2 год., приготування початкових розчинів і відноситься до трудомістких. Перед проведенням аналізування будується тарувальний графік, за яким визначається оптична густина робочих розчинів. Для побудови тарувального графіка виготовляється еталонний розчин.

Останнім часом почали застосовувати прилади, засновані на принципах змінення показників індуктивності. Наприклад, індуктивний прилад,

що працює за принципом індукційного моста, балансують при уведенні всередину котушок індуктивності пробірок з однаковим заповненням еталонними зразками масла. Якщо потім в одну з котушок увести пробірку з маслом, що містить феромагнітні продукти зносу, то рівновага моста порушиться. Чим більше феромагнітних часток в маслі, тим більше змінюються показники індуктивності. Сигнал розбалансування моста підсилюється, а зміна індуктивності визначається стрілковим приладом, який градуують за еталонними зразками масла з відомим вмістом заліза.

Для аналізу картерного масла пробу відбирають, коли частки зносу знаходяться в завислому стані (на прогрітому і працюючому агрегаті), через отвір щупа за допомогою шприца. Якщо пробу беруть з масляної магістралі, то необхідно попередньо злити частину масла (0,5-1 л), а після відбору проби повернути зливу частину в картер. Періодичність відбору проб залежить від мети діагностування. Для контролю під час обкатування двигуна може бути взято кілька проб при переході з одного режиму обкатування на інший.

Варто проводити аналізування масла під час діагностування перед ремонтом автотранспортних засобів або перед технічним обслуговуванням. Особливо важливим є аналіз відпрацьованого масла під час ТО-2 коли виконують його планову заміну. У цьому разі можна оцінити вміст елементів зносу й у відкладеннях фільтрів.

Безгальмівні методи визначення тягових показників автомобільних двигунів за режимом діагностування класифікуються на статичні і динамічні. Принцип безгальмівних методів заснований на використанні як навантаження механічних втрат самого двигуна. У багатьох випадках для підвищення вірогідності діагностування застосовують довантаження двигуна, наприклад, способом дроселювання відпрацьованих газів у випускному тракті.

Найпростіші методи безгальмівного навантаження – за нерівномірністю обертання колінчастого вала ДВЗ, у тому числі метод навантаження за рахунок вимикання циліндрів. Останній знайшов найбільше застосування у засобах діагностування двигунів і системи електроустаткування легкових автомобілів.

Усе більшого поширення набуває динамічний метод оцінки тягових характеристик двигунів за кутовим прискоренням колінчастого вала, який вимірюється в режимі вільного розгону і зупинення. Його перевагами є простота, невисока вартість і низька трудомісткість діагностування. Ефективна потужність двигуна визначається за кутовим прискоренням колінчастого вала. Під вільним розгоном розуміють перехід двигуна, вільного від зовнішнього навантаження, з режиму мінімально стійкої частоти обертання в режим максимальної частоти обертання колінчастого вала при різкому збільшенні до максимуму подачі палива в циліндри. У цьому разі ефективна потужність двигуна визначається з виразу:

$$N_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}} = kJ\varepsilon\omega, \quad (5.1)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

J – зведений до осі колінчастого вала момент інерції всіх мас двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

ε – кутове прискорення вала, с^{-2} ;

ω – кутова швидкість вала, за якої вимірюється ε , с^{-1} .

У наведеному виразі J та ω є постійними і відомими до проведення випробувань. Отже, ефективна потужність двигуна є пропорційною кутовому прискоренню колінчастого вала двигуна. У таких випробувальних приладах сигнал, пропорційний кутовому прискоренню, отримують звичайно за допомогою електричного диференціювання сигналу датчика частоти обертання колінчастого вала двигуна. Ним може бути датчик верхньої мертвої точки, переривник-розподільник, генератор.

Основним показником технічного стану деталей двигуна прийнято вважати витрату картерного масла. Однак, відсутність достатньо точного експрес-методу визначення цього показника не завжди дає змогу об'єктивно оцінювати зношеність деталей. Відомі й інші методи оцінення загального технічного стану деталей двигуна. До них відноситься, наприклад, вимірювання тиску газів у картері за допомогою водяних манометрів; концентрації барвника бензину у картерному маслі тощо. Однак, за їх допомогою не можна визначати технічний стан кожного циліндра окремо.

Найбільшого поширення набув метод визначення кількості газів, що прориваються в картер, і характеризують рівень зношеності деталей циліндро-поршневої групи двигуна. Однак, через порівняно високий опір виходу газів з картера і, отже, за наявності в картері надлишкового тиску, частина газів іде в атмосферу через зношені манжети колінчастого вала й інші нещільності.

Витрата масла і кількість газів, що прориваються в картер, є інтегральними оцінками технічного стану деталей двигуна. На практиці зустрічаються випадки порушення нормальної роботи окремих циліндрів, що можуть спричинити вихід з ладу двигуна. Тому разом із загальною перевіркою циліндро-поршневої групи необхідно перевіряти і стан кожного циліндра окремо, тому що нерідко спостерігаються поломки або закоксовування окремих поршневих кілець, утворення подряпин на поверхнях окремих циліндрів тощо. Порівняльну оцінку технічного стану будь-якого із циліндрів можна дати за різницею між витратою газів, отриманою декомпресуванням, і середньою витратою газів, що одержана з декомпресування кожного з інших циліндрів. Якщо різниця буде незначною, то стан всіх циліндрів є однаковим. Якщо ж вона велика, то це свідчить про аварійний стан окремого циліндра.

Порівняльне оцінення технічного стану циліндрів можна провести також за рівнем компресії в них (тиску в кінці такту стиску). Однак при

цьому необхідно враховувати нещільності клапанів газорозподільного механізму. У надмірно зношеного двигуна витік газів у картер при роботі на максимальному швидкісному режимі становить лише 3-4 % від загальної витрати повітря двигуном. Тому тиск кінця такту стиску в даному разі спадає незначно. Компресію рекомендується визначати при пускових обертах колінчастого вала: у цьому разі прорив газів у картер у зношеного двигуна становить 35-45 % від загальної витрати повітря, а в нового двигуна – лише 10-12 %.

Технічний стан кожного циліндра окремо рекомендують оцінювати і за нещільністю, обумовленою витіком повітря, яке подають під тиском у циліндр непрацюючого двигуна. Ця нещільність характеризується сумарною площею зазорів, через які проникає стиснене повітря з надпоршневого простору в картер двигуна. Вона залежить від зношеності деталей циліндро-поршневої групи, клапанів газорозподільного механізму, прокладки і головки циліндрів. Виміряти нещільність окремих циліндрів важко, тому визначають сумарну нещільність, яку прийнято називати відносною. З цією метою застосовують пневматичні калібратори. За їх допомогою можна давати лише порівняльну оцінку технічного стану циліндрів. Вони легко виявляють задири робочої поверхні гільзи, поломку поршневих кілець, тріщини в гільзі або на днищі головки, прогоряння прокладки, обгоряння тарілки клапанів.

Загальний недолік методів визначення технічного стану деталей циліндро-поршневої групи – труднощі в оцінюванні ступеня зношеності окремих деталей, а, отже, і у прийнятті рішення щодо виду ремонту й обсягу ремонтних робіт. Ними характеризують технічний стан деталей циліндро-поршневої групи в цілому або в окремих циліндрах.

Для певних режимів роботи однотипних двигунів за рівнем енергії вібрацій блоку циліндрів, що вимірюється поблизу вищої мертвої точки у смузі частот коливання гільзи, можна визначити зазор між гільзою і поршнем. Недоліком цього способу вважають неможливість встановлення зносу поршневих кілець, а також труднощі відділення корисних сигналів від завад, що виникають від інших джерел коливань. Нагар і відкладення смол у зоні поршневих кілець знижують силу удару поршня по гільзі, що впливає на точність показів віброакустичних приладів.

За параметрами вібрацій можна визначати знос поршневих кілець за висотою. Під час обертання колінчастого вала кільця, пересуваючись у канавках поршня під впливом сил інерції, вдаряються об стінки канавок і вібрують. Потужність вібрації кілець при певному швидкісному режимі роботи двигуна пропорційна зазорам між кільцями і канавками.

Кожен з відомих типів систем запалювання (контактна, безконтактна, мікропроцесорна) має свій набір датчиків і виконавчих пристроїв. Вимірювання первинної напруги на котушці в усіх системах і, відповідно, методи діагностики є дещо різним. Але форма вторинної напруги, незалежно від системи, є однаковою. Виняток становить мікропроцесорна система, у

якій до однієї котушки підключаються дві свічки запалення. У цьому разі загальна картина є іншою. Але, якщо розглядати один з імпульсів мікропроцесорної системи, то він за формою не буде відрізнятися від імпульсів інших систем.

Для того, щоб дослідити вторинну напругу, необхідно підключити джерело напруги до високовольтного провідника. Якщо потрібно дослідити імпульс на одному циліндрі, то датчик підключають до провідника цього циліндра, якщо ж всі циліндри відразу, то датчик підключають до центрального високовольтного провідника (між котушкою і розподільником запалювання).

У мікропроцесорних системах проконтролювати первинну напругу на котушці неможливо, тому що виводи котушки недоступні. Можна лише простежити низьковольтні команди, що йдуть від контролера до модуля. Вхід модуля необхідно розглядати як вхід комутатора. Такі модулі застосовуються, наприклад, в автомобілях ВАЗ-2110. Якщо мікроконтролер має силові вихідні частини для підключення котушок (автомобілі ГАЗ-3110), то можна простежити первинну напругу як у безконтактній системі запалювання. На два оберти колінчастого вала є два імпульси первинної напруги. Усі дефекти іскроутворення є такими ж, як і в безконтактній системі.

Система живлення дизелів потребує особливої точності встановлення діагнозу, оскільки більшість несправностей дизельних двигунів виникають через дефекти зношування прецизійних деталей паливної апаратури. Зноси мають різний характер, відповідно до умов роботи деталей, якості палива. Це впливає на стійкість роботи дизеля, особливо на холостому ходу.

Визначальним видом зношування є гідроабразивне. У паливі завжди є тверді механічні частки. Сучасні фільтри тонкого очищення палива не в змозі відокремити частки, менші 0,002 мм. Передбачений технологією відстій палива не завжди здійснюється в умовах експлуатації, а частки, менші 0,001 мм, містяться у паливі у зваженому стані навіть після тривалого відстою. В результаті зносу плунжерних пар знижується циклова подача і зростає нерівномірність паливоподачі секціями помпи. Це погіршує техніко-економічні показники дизеля, збільшує вібрацію, викликає інтенсифікацію зносу. Надмірні зноси призводять до погіршення якості впорскування палива. У цьому разі дизель стає нероботоздатним. Тому періодично паливні помпи дизелів підлягають діагностуванню і регулюванню на стаціонарних стендах. Щоб встановити, які елементи апаратури впливають на стабільність її роботи, на практиці розглядають осцилограми процесу впорскування. Осцилограми отримують під час дослідження паливоподачі за допомогою осцилографів, датчиків тиску і підсилювачів. На рис. 5.13 показано осцилограму одиничного впорскування, на якій записано змінення тиску в штуцері помпи (4), у порожнинах форсунок (1), переміщення голки розпилювача (3), характеристика впорскування (2). Фіксуються: максимальний тиск у штуцері помпи ($P_{\phi . \max}$), форсунці ($P_{\phi . \max}$), тривалість

проходження імпульсу тиску від помпи до форсунки (t_1); тривалість спаду тиску в нагнітальній порожнині (t_2); максимальний тиск першого сплеску ($P_{\text{дпн, max}}$).

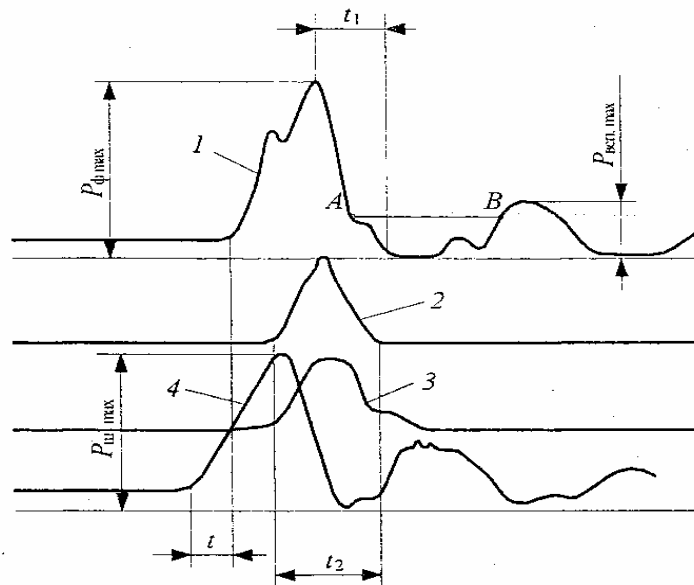


Рисунок 5.13 – Приклад осцилограми впорскування на дизельному двигуні

Діагностування системи живлення бензинових двигунів здійснюють за параметрами: питома витрата палива, подача паливної помпи, вміст шкідливих компонентів у відпрацьованих газах. Сучасні системи впорскування бензину є настільки інтегровані з іншими системами двигуна (запалювання, охолодження, подачі повітря), що визначати їх технічний стан за названими параметрами неможливо. З цією метою застосовують загальне діагностування ДВЗ або самодіагностування на основі кодів несправностей.

5.2 Засоби технічного діагностування

За виконанням засоби технічного діагностування поділяють на зовнішні, які не є складовою частиною об'єкта діагностування; вмонтовані – із системою вимірювальних перетворювачів (датчиків) вхідних сигналів, виконаних у спільній конструкції з об'єктом діагностування як його складова частина.

Зовнішні засоби технічного діагностування поділяють на стаціонарні, пересувні і переносні.

За функціональним призначенням засоби технічного діагностування поділяють на такі групи: комплексні – для діагностування машини в цілому; двигуна і його системи; органів керування, гальмових систем; системи зовнішніх світлових приладів; трансмісії; ходової частини і підвіски; електроустаткування; гідравлічних систем; робочого і спеціального облад-

нання.

За *ступенем охоплення машин* діагностуванням і видом застосовуваних систем діагностування засоби технічного діагностування поділяють: на ті, що входять до загальних систем діагностування машин у цілому; які входять до локальних систем діагностування окремих складальних одиниць або складових частин машин; засоби діагностування, що застосовуються окремо.

За *ступенем автоматизації* процесу керування засоби технічного діагностування поділяють на автоматичні, напівавтоматичні, з ручним або ножним керуванням, комбіновані.

За *видом застосовуваних засобів* розрізняють стендове і портативне діагностування. Уже перші стенди технічної діагностики були обладнані стендами з біговими барабанами або роликowymi стендами, як їх тепер ще називають. Ці стенди імітують рух автомобіля по дорозі.

Проте в реальних умовах автомобіль переміщується по нерухомій дорозі. При цьому деякі його агрегати недоступні для контролю технічного стану в процесі роботи. На стенді, навпаки, автомобіль стоїть на місці, а дорога (барабани, що обертаються під автомобілем) переміщується. Відомі також стенди, де замість бігових барабанів застосовується нескінченна стрічка типу гусеничного тракторного руху. Такі стенди називають стрічковими.

Якщо перші стенди з біговими барабанами були універсальними (на них перевіряли тягові якості автомобіля, його економічність, технічний стан силової передачі, ходової частини і гальм), то тепер у ВАТ АТП застосовують також спеціалізовані стенди для діагностування тягових якостей, гальм і ходової частини.

Стенди для діагностування тягових якостей дають змогу імітувати характерні швидкісні і навантажувальні режими роботи автомобілів, вимірювати при цьому потужність, витрачання палива, опір трансмісії і робити відповідні регулювання. Потужність і економічні дані автомобіля – основні фактори його ефективності.

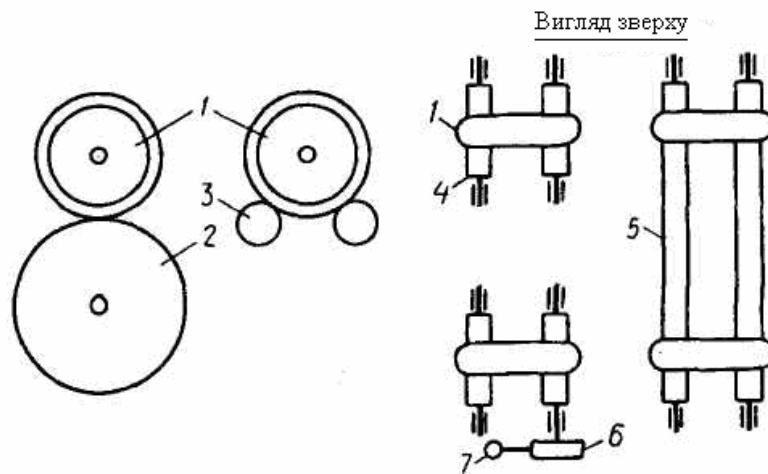
За даними досліджень, до 30 % автомобілів експлуатуються із значним недовикористанням потужності і перевитратою палива. Близько 50 % втрат потужності й економічності цих автомобілів можуть бути відновлені нескладними регулюваннями у ВАТ АТП.

Крім того, на стендах тягових якостей можна визначати технічний стан агрегатів силової передачі автомобіля в процесі її роботи: зчеплення – за його пробуксовуванням; карданного вала – за його биттям; коробки передач і редуктора заднього моста – за нагріванням, рівнем шуму і вібрації та інше.

На стендах застосовують одинарні і найчастіше спарені барабани. Одинарні барабани великого радіуса добре відтворюють умови руху автомобіля по дорозі (поздовжній радіус горизонтальної ділянки дороги дорівнює безконечності). Перевага спарених барабанів – значно більша стійкість

установленого на них автомобіля в процесі випробування.

Спарені барабани найчастіше виготовляють під одне колесо, але іноді і в цілому під вісь автомобіля так, як це показано на рисунку 5.14.

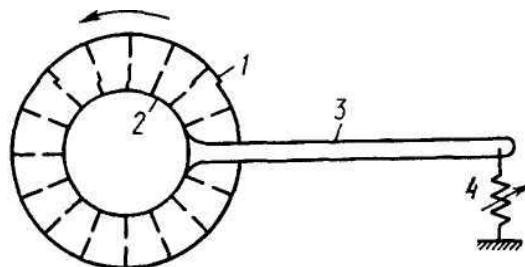


- 1 – колесо автомобіля; 2 – одинарний барабан; 3 – спарені барабани;
4 – барабани під колесо; 5 – барабани під вісь; 6 – гальмовий пристрій;
7 – датчик вимірювання крутного моменту

Рисунок 5.14 – Типи бігових барабанів

Щоб визначити крутний момент на колесах і потужність автомобіля, у стендах тягових якостей слід застосовувати навантажувальні гальмові пристрої, встановлені на одному з барабанів під ведучими колесами автомобіля (рис. 5.14). Застосовують такі типи навантажувальних пристроїв стендів тягових якостей: гідравлічні, механічні й інерційні.

У гідравлічних навантажувальних пристроях гальмування відбувається за рахунок роботи, що затрачається на переміщення води між статорм і ротором, а також унаслідок тертя ротора об рідину. Гідрогальмо часто вводять усередину одного з барабанів (рис. 5.15). Роль ротора виконує біговий барабан, а роль статора – балансірно підвішений усередині нього циліндр. Крутний момент, що надійшов від ротора до статора через рідину, передається потім важелем до динамометра, де й фіксується.



- 1 – ротор гальма (біговий барабан спеціальної конструкції);
2 – статор; 3 – балансір; 4 – вимірник крутного моменту

Рисунок 5.15 – Схема гідравлічного гальма

Механічні гальма, як і в автомобілях, бувають двох типів – колодкові і дискові. Диск, який охолоджується, або гальмовий барабан кріпиться на осі бігового барабана, охоплюючи їх гальмові колодки на відповідній обоймі, балансірно з'єднані з динамометром, який фіксує реактивний момент.

В електричних навантажувальних пристроях гальмування створюється в результаті взаємодії обертового ротора, з'єданого з віссю бігового барабана, й електромагнітного поля балансірно підвішеного статора двигуна. Змінюючи силу струму в обмотці збудження за допомогою реостата, на барабанах створюють різні гальмівні моменти.

Як електрогальмові пристрої застосовують асинхронні двигуни змінного струму з короткозамкнутим ротором або електродвигуном постійного струму. Як правило, на стендах вони працюють у двох режимах: рушійному й генераторному. В рушійному режимі, при нейтральному положенні важеля коробки передач, за затратами електроенергії на прокручування силової передачі визначається опір силової передачі автомобіля, її КПД. У генераторному режимі визначаються тягові якості автомобіля.

Електрогальма постійного струму порівняно з електрогальмами змінного струму дають змогу випробовувати автомобіль у ширшому діапазоні швидкостей і навантажень, а також мають інші високі експлуатаційні властивості. Однак широкому застосуванню їх перешкоджають більша вартість стенда, потреба мати установку для випрямлення струму. Зауважимо, що порівняно з іншими стендами тільки стенди з двигунами постійного і змінного струму дають змогу безпосередньо визначати втрати в силовій передачі автомобіля.

Уже є тягові стенди з електродинамічними (індукторними) гальмами з використанням ефекту вихрових струмів. Такі гальмові пристрої мають найбільші діапазони швидкостей і навантажень, краще пристосовані до автоматизації постових випробувань, мають невеликі габаритні розміри, невисоку вартість, прості в експлуатації й економічні.

На інерційних стендах замість гальмових пристроїв до бігових барабанів приєднують маховики. Якщо на стендах з гальмовими пристроями діагностування автомобілів здійснюється в постійному режимі, то на інерційних стендах – у розгінному. Потужність на ведучих колесах автомобіля при цьому визначається за інтенсивністю розганяння і за втратою в силовій передачі на «вибіг», тобто за кількістю обертів бігових барабанів після відключення двигуна, що працював з певною частотою обертання колінчастого вала, до повної зупинки коліс автомобіля.

В процесі експлуатації під впливом різних причин (технологічних, організаційних і т. п.) параметри кутів встановлення коліс і характеристики шини при коченні можуть змінюватися в деяких межах. Від того, наскільки об'єктивно і достовірно буде поставлено діагноз залежить якість і ефективність технологічних впливів. В зв'язку з цим доцільно проаналізувати існуючі методи та засоби діагностування встановлення коліс.

Принцип діагностики: дві рухомі гідравлічні площадки (рис. 5.16) імітують усі можливі навантаження, випробовувані підвіскою і рульовим керуванням автомобіля в процесі руху; оцінення стану вузлів і агрегатів автомобіля здійснюється візуальним способом.



Рисунок 5.16 – Стенд для діагностування кутів встановлення керованих коліс (справа) та виконання на підйомнику (зліва)

Технічні характеристики стенда наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики стенда для діагностування кутів встановлення керованих коліс напольного виконання

Технічні характеристики	PMS 3/2	PMS 3/X
Особливості	Рухливі площадки переміщуються на підшипниках ковзання по хромованих напрямних	До стандартної комплектації входить пульт дистанційного керування
Максимальне навантаження на вісь, т	3	3,5
Хід площадок, мм	100	100
Обсяг масла, л	5	40 (з гідросистемою підйомника)
Максимальне осьове зусилля на кожну площадку, кН	11	11
Розміри площадки, мм	625×625×150	500×500×120
Максим. тиск у гідроприводі, бар	120	120
Потужність гідроагрегата, кВт	2,5	2,5/5,5 (підйомник)
Напруга, В	380	–
Запобіжник, А	16	–

До комплекту входять:

- дві рухомі гідроплощадки;
- пульт дистанційного керування, вмонтований у ручний ліхтар;
- гідроагрегат.

Стенд для діагностування кутів встановлення керованих коліс APD7000–1 показаний на рисунку 5.17.

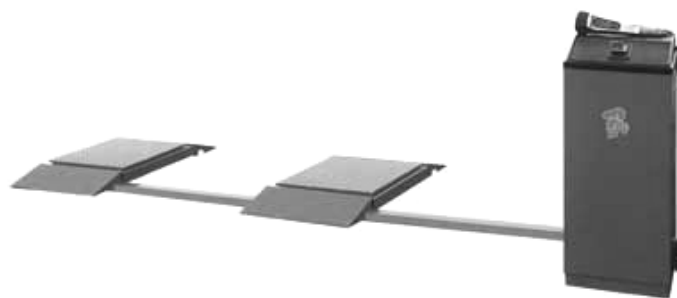


Рисунок 5.17 – Стенд для діагностування зазорів ходової частини APD7000–1

Детектори зазорів ходової частини призначені для виявлення дефектів і зазорів у шарнірних з'єднаннях, сайлентблоках, кріпленнях амортизаторів ходової частини легкових і вантажних автомобілів.

Принцип роботи: спеціальні площадки, на яких установлюються колеса автомобіля, передають повздовжні, поперечні, повздовжно-поперечні коливання (по діагоналі 45°). Контроль з'єднань здійснюється візуально за допомогою підсвічування, умонтованого у переносний пульт керування.

Стенди можуть монтуватися на оглядовій ямі, естакаді, підйомнику (у двох виконаннях – із заглибленням або установленням на поверхні).

Технічна характеристика стенда наведена в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики стенда для діагностування зазорів ходової частини APD7000–1

Габарити, мм	800 × 800
Макс. навантаження на вісь, кг	18 000
Робочий тиск, бар	130
Рух плати 1	Поперечне і подовжнє
Рух плати 2	Поперечне і подовжнє
Порядок руху	Один за одним
Зусилля зсуву, кг	1 260 кг

5.3 Питання для самоперевірки

1. Перерахуйте основні методи діагностики.
2. Назвіть методи діагностування за параметрами робочих процесів.
3. Назвіть методи діагностування за параметрами супутніх процесів.
4. Назвіть методи діагностування за структурними параметрами.
5. Охарактеризуйте віброакустичний метод діагностування.

6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛІВ

6.1 Діагностична інформація в системі управління технічним станом автомобіля

Діагностика автомобілів в АТП – інформаційно-контрольовальна підсистема в управлінні їх технічним станом. Мета управління технічним станом автомобіля – відновлення втраченої ним в експлуатації якості. Основу процесу відновлення якості складає та його частина, що пов'язана з якісною зміною технічного стану, тобто технологічна. Для організації оптимального технологічного процесу необхідно, в першу чергу, знати в кожний конкретний момент часу перелік операцій, їх кількість та характер, трудомісткість виконання, тобто слід знати в кожний конкретний момент часу на конкретному автомобілі обсяг роботи. Ця задача вирішується на базі діагностичної інформації, у чому і полягає перша задача діагностичної інформації.

Проте знання технічного стану ще недостатньо для організації оптимального виробничого процесу відновлення якості автомобіля, що є складною динамічною частиною, в якій у єдиний комплекс об'єднані гаражне обладнання, контрольно-діагностичне устаткування, засоби керування; інструмент, який знаходиться в постійному русі; об'єкти виробництва – деталі, агрегати, вузли та механізми автомобілів; матеріали та запасні частини, а також люди, які є виконавцями процесу та керують ним. Випадковий характер формування обсягів та режимів робіт при відновленні якості автомобіля, а також недостатнє вивчення фізико-хімічної природи виникнення відмов та дефектів призводять до того, що повторність результатів виробничого процесу не завжди стійка. Може статися, що окремі підсистеми виробничого комплексу не готові виконати покладені на них функції. Дуже часто через відсутність необхідних матеріалів та запасних частин, вільних робочих місць, а то й виконавців систему виводять з рівноваги. Це питання підготовки виробництва, пов'язані з прогнозуванням технічного стану автомобіля, нормуванням режимів технологічних процесів, необхідності в матеріалах і запасних частинах. Вирішення даних питань забезпечується наявністю діагностичної інформації, у чому й полягає суть її другої задачі. Історичний досвід використання діагностичної інформації на АТП можна розділити на два етапи.

На першому етапі діагностична інформація використовувалася на робочому місці. Вона була покликана визначити необхідність профілактичних робіт та придатність конкретного автомобіля до подальшої експлуатації. Діагностика розглядалася як елемент технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту автомобілів. На даному етапі був утворений промисловий діагностичний комплекс: стенди тягових, гальмівних та ходових якостей автомобіля, стенди для діагностування системи запалювання двигуна тощо. Діагностична інформація використовувалась в

основному лише на робочому місці, що знижувало її ефективність.

На другому етапі діагностична інформація використовувалася не тільки на робочому місці при проведенні технічного обслуговування і ремонту, а й в системі керування підготовкою автомобілів до експлуатації. Вона дозволяла виявити несправності, планувати підготовку виробництва технічного обслуговування і ремонту, а також забезпечувала контроль якості виконання технічних робіт. Теоретичні розрахунки показали, що використання діагностичної інформації в системі керування технічним станом рухомого складу може знизити витрати на технічне обслуговування і ремонт до 20 % порівняно з регламентною профілактикою без діагностування.

Використання діагностичної інформації в системі керування висуває нові вимоги до контрольно-діагностичних засобів, їх достовірності, швидкодії, використання. Нині проводиться робота зі створення автоматизованих систем зовнішнього та вбудованого діагностування, яке за допомогою електронних модулів забезпечує автоматичне завдання тестових режимів, поставлення діагнозу, накопичення та видачу діагностичної інформації як на робоче місце, так і в центр керування виробництвом.

Активна організація керування технічним станом автомобілів під час експлуатації на основі досвіду водія ще не використовується повною мірою. При цьому, як показує досвід, майстерність водіїв дозволяє підвищувати довговічність автомобіля на 30-40 %, економити запасні частини, матеріали та паливо. Подальше раціональне використання досвіду водія можливе за рахунок освоєння вбудованого діагностування. Значну увагу при цьому приділяють контролю параметрів, що характеризують експлуатаційні якості автомобіля: паливну економічність, гальмівні властивості, рівень забруднення навколишнього середовища, стійкості та керованості рухом. Вбудована система діагностування може виконувати такі функції:

- в режимі службових гальмувань оцінює загальний стан гальм і при їх погіршенні видає інформацію на світловий індикатор;
- в режимі екстрених гальмувань оцінює і запам'ятовує ефективність гальмових якостей та видає їх значення, обмежує швидкість руху звуковим сигналом при недостатній ефективності гальмування;
- окремо оцінює основні системи карбюратора та двигуна і при погіршенні їх роботи видає інформацію на світлові індикатори;
- через кожні 100 м шляху індикатор визначає та видає середню витрату палива (в літрах на 100 км), що дозволяє водію аналізувати та вибирати економічну швидкість руху, а також раціональний режим руху;
- за бажанням водія може видавати на зображувальний прилад значення таких діагностичних параметрів, як витрата пального на один оберт колінчастого вала, розрідження у впускному трубопроводі, напруження системи живлення, частота обертів колінчастого вала, кут замкнутого стану контактів переривника та ін. У цьому і полягає третя задача діагностування.

Четверта задача діагностичної інформації – контроль якості технологічних процесів підготовки автомобілів до експлуатації.

Організація використання діагностичної інформації повинна йти шляхом удосконалення нормативно-технологічної документації, обґрунтування типізованих рішень та автоматизації процесів діагностування.

Методи аналізу та ефективності діагностування. Під ефективністю діагностування будемо розуміти ступінь пристосованості методів та контрольно-діагностичних засобів до визначення технічного стану автомобіля. Основне призначення діагностики – правильно визначити технічний стан об'єкта та оптимально керувати ним з урахуванням його стану. Мета оптимізації – досягнення мінімуму матеріальних та трудових витрат при раніше визначеному рівні коефіцієнтів технічної готовності парку автомобілів.

Синтез системи контрольно-діагностичних робіт потрібно починати з вибору та обґрунтування такого критерію оцінення ефективності, який дозволив би синтезувати оптимальний процес контрольно-діагностичних робіт з урахуванням найбільш вагомих показників ефективності. До таких критеріїв можна віднести:

- ймовірність правильності визначення технічного стану автомобіля з урахуванням системи діагностування;
- інформаційну здатність алгоритмів діагностування і контрольно-діагностичних засобів;
- точність та достовірність діагностичної інформації;
- технологічність системи діагностування та зручність проведення регулювальних робіт;
- метало- та енергомісткість контрольно-діагностичних засобів;
- вартість виготовлення та експлуатаційні витрати, економічну ефективність системи діагностування.

Трудність оцінення ефективності системи діагностування одним критерієм визначається необхідністю одночасного обліку якості функціонування контрольно-діагностичних засобів, техніко-економічних можливостей та економічної доцільності самого діагностування. У зв'язку з цим розглянемо окремі критерії ефективності системи діагностування, а також узагальнений функціонально-статистичний критерій, який відповідає переліченим умовам.

6.2 Точність і достовірність діагностичної інформації

Точність і достовірність вимірювань при діагностуванні має вирішальне значення, тому що від цих показників залежить якість поставлення діагнозу. Іншими словами, ці показники визначають ступінь удосконалення наших знань про технічний стан об'єкта діагностування.

Точність вимірювань характеризує якість вимірювань, відтворюючих їх близькість до істинного значення вимірювальної величини. При цьому

висока точність вимірювань відповідає незначним похибкам всіх видів як систематичних, так і випадкових.

Найважливішою характеристикою якості вимірювань є їх достовірність. Вона характеризує довіру до результатів вимірювань і розподіляє їх на дві категорії – достовірні та недостовірні залежно від того, відомі чи невідомі ймовірні характеристики їх відхилень від істинних значень відповідних величин. Результати вимірювань, достовірність яких невідома, не мають цінності, а в деяких випадках можуть бути джерелом дезінформації.

Точність використовуваного методу вимірювань діагностичних параметрів характеризується вибіркоvim коефіцієнтом варіації результату вимірювань:

$$V\{D\} = \sigma\{D\} / \bar{D} \cdot 100\%,$$

де $\sigma\{D\}$ – середньоквадратичне відхилення результату вимірювання (стандартне відхилення);

$\bar{D}$ – вибіркoве середнє значення параметра;

N – число спостережень вибірки;

D_i – значення параметрів на i -му інтервалі.

Під методом вимірювань розуміється сукупність заходів використання принципів вимірювання та контрольно-діагностичних засобів.

Похибка вимірювань вибіркових середніх значень параметрів, одержаних різними засобами, оцінюється за допомогою показника точності дослідy:

$$V\{D\} = \sigma\{\bar{D}\} / \bar{D} \cdot 100\%,$$

де $\sigma\{\bar{D}\} = \sigma\{D\} / \sqrt{N}$ – середньоквадратична похибка вибіркової середньої.

Поряд з цим визначається довірний інтервал для середньої генеральної сукупності:

$$Q\{D\} = \bar{D} \pm t \cdot \sigma\{\bar{D}\},$$

де t – параметр розподілу Стюдента, який визначається за таблицею.

Приклад. Розглянемо обґрунтування правильності вимірювань при діагностуванні встановлення керованих коліс автомобіля.

Важливою операцією при діагностуванні встановлення керованих коліс автомобіля є вимірювання діагностичних параметрів. Один із основних способів при вимірюванні параметрів встановлення коліс, які забезпе-

чують правильність вимірювання, є встановлення їх у положення, що відповідає прямолінійному руху автомобіля, тобто нейтральне.

На існуючих типах контрольно-діагностичного устаткування встановлення коліс у нейтральне положення виконується по-різному.

У деяких випадках показником встановлення коліс у нейтральне положення є рульове колесо. Встановлення коліс вважається правильним, якщо кількість обертів рульового колеса в одну та іншу сторони однакова, а його спиця займає горизонтальне положення. Але цей засіб не забезпечує правильності встановлення коліс у нейтральне положення через відсутність баз відліку положення спиці рульового колеса.

На багатьох контрольно-діагностичних приладах поєднують позовжні осі автомобіля та стенда. Базовими поверхнями при цьому служать задні колеса автомобіля, його задні та передні осі. Наприклад, сходження коліс регулюють в положенні, коли переднє колесо точками рівного бокового биття торкається натягнутої нитки, що проходить через точки рівного бокового биття заднього колеса. База вимірювання (натягнута нитка) визначається суб'єктивно. Якщо припустити, що точка рівного бокового биття колеса визначена з точністю 0,1 мм, то відхилення від прямолінійності на відстані 3000 мм буде 2,5 мм, що викличе великі похибки при вимірюванні сходження коліс. Використання засобу натягнутої струни, відомого у вимірювальній практиці, для діагностування недоцільне, тому що це ускладнить процес визначення діагнозу.

У значній групі стендів вирівнювання положення передніх коліс відносно позовжньої осі проводиться за допомогою протекторів або вимірювальних дисків з індикаторами, які встановлюються на передні та задні колеса автомобіля. Поєднання позовжніх площин автомобіля та стенда припускається також у випадках, коли ведучі колеса встановлюються на ролики, розташовані паралельно поперечній осі вимірювальних засобів на відстані бази автомобіля, і прокручуванні цих роликів ведучими колесами автомобіля. Обертання коліс на роликах проводиться тільки до закінчення їх переміщення. При цьому критерієм встановлення коліс у положення прямолінійного руху на стендах є рівність бокових сил на керованих колесах.

Більшість автомобілів експлуатується з кутовими зміщеннями мостів. Наявність кутових зміщень мостів, різних дотикових сил на ведучих колесах, неоднаковий технічний стан підвіски автомобіля, різні шини, призводить до перерозподілу бокових реакцій на керованих колесах. Встановити такий автомобіль у положення прямолінійного руху, як показали дослідження А. С. Литвинова, можна лише при його русі з поворотом рульового колеса на деякий кут. При цьому позовжня вісь автомобіля не збігається за напрямом прямолінійного руху. Відхилення позовжньої осі автомобіля від положення прямолінійного руху буде залежати від багатьох факторів, котрі призводять до перерозподілу бокових реакцій на керованих колесах.

Бажання поєднати поздовжні площини автомобіля і контрольно-діагностичного засобу в результаті встановлення однакових бокових сил на керованих колесах поворотом рульового колеса не може служити критерієм правильності встановлення автомобіля при діагностуванні. В результаті при вимірюваннях з'являються систематичні помилки, які обумовлюються встановленням та взаєморозміщенням контрольно-діагностичного засобу та автомобіля. Врахувати це при діагностуванні за наявними методиками неможливо, тому що вони не враховують властивостей конкретного автомобіля. У зв'язку з цим ставиться задача теоретичного обґрунтування правильності вимірювань при діагностуванні, розробки методики вимірів та перевірки її в експлуатаційних умовах.

Для вирішення цих задач розглянемо взаємодію керованих коліс автомобіля і вимірювального пристрою стенда як статично невизначену пружну систему (рис. 6.1). Пружні елементи лівого та правого вимірювальних пристроїв мають жорсткості C' і C'' ; бокові жорсткості шин C_{y1} і C_{y2} ; кути розвалів коліс α_{01} і α_{02} . Припускаємо, що кожне колесо повернуто на один і той же кут сходження θ_0 , відповідний прямолінійному руху автомобіля.

Автомобіль через наявність реакцій неголономних зв'язків, що виникають при коченні шин на опорних площинах, чинить опір боковому зміщенню від зовнішньої поперечної сили. Для спрощення задачі реакція автомобіля на бокове зміщення приведена до переднього моста автомобіля і на схемі позначена R_{yz} .

Припустимо, що між приведеною реакцією R_{yz} та боковими зміщеннями Δ_z існує лінійна залежність:

$$R_{yz} = C_z \Delta_z,$$

де C_z – приведена до передньої осі «курсова жорсткість» автомобіля, що визначається внутрішньою структурою динамічної системи «опорна площа – шина – автомобіль» на вибраній траєкторії і обумовлює у даному випадку взаємозв'язок переднього моста з автомобілем в цілому. Залежність C_z від параметрів автомобіля при його взаємодії з опорними площинами вимірювального пристрою потребує особливого розгляду.

Податливість пружних елементів C' і C'' вимірювального пристрою зменшує деформації пружної лінії шин в центрах контактів λ'_1 і λ'_2 на величину деформації пружних елементів лівого Δ_1 , та правого Δ_2 вимірювальних пристроїв.

З урахуванням можливого зміщення Δ_z центра мас переднього моста відносно уявної траєкторії прямолінійного руху та перерозподілу сил пружності зліва і справа деформації шин на вимірювальних пристроях будуть такі:

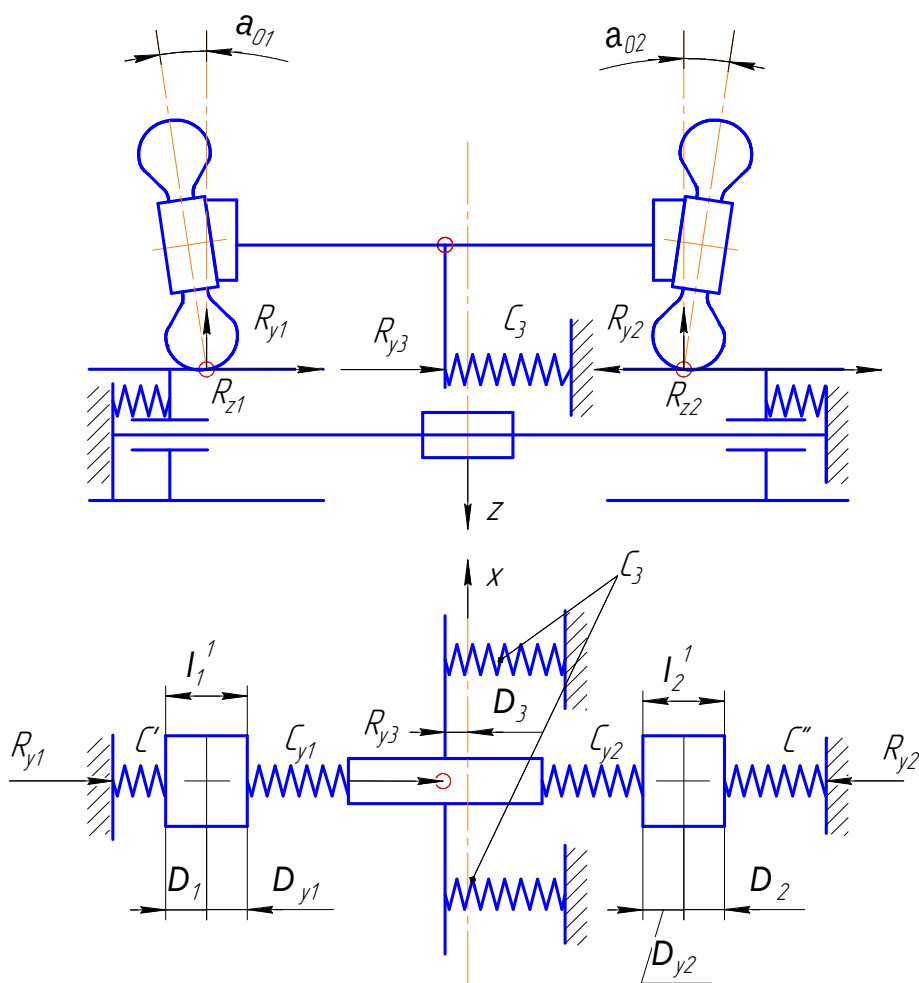


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема взаємодії керованих коліс автомобіля і вимірювального пристрою стенда

$$\begin{aligned}\Delta y_1 &= \lambda'_1 - \Delta_1 + \Delta_3; \\ \Delta y_2 &= \lambda'_2 - \Delta_2 - \Delta_3,\end{aligned}\tag{6.1}$$

де $\Delta y_1, \Delta y_2$ – деформації середньої лінії шини в центрах контактів лівої та правої шин при взаємодії з вимірювальним пристроєм. Ця система рівнянь дозволяє розкрити статичну невизначеність системи і дає можливість визначити розподіл бокових реакцій на лівому і правому вимірювальних пристроях.

Додаючи до основного рівняння рівноваги:

$$R_{y1} - R_{y2} + R_{y3} = 0\tag{6.2}$$

рівняння деформацій системи (6.1), одержимо систему трьох лінійних рівнянь відносно трьох невідомих реакцій:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{C'} + \frac{1}{C_{y1}} & 0 & -\frac{1}{C_3} \\ 0 & \frac{1}{C''} + \frac{1}{C_{y2}} & \frac{1}{C_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{y1} \\ R_{y2} \\ R_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \end{bmatrix}, \quad (6.3)$$

де R_{y1} і R_{y2} – бокові реакції, які визначаються лівим та правим вимірювальними пристроями; R_{y3} – реакція опору боковому переміщенню передньої частини автомобіля.

Розв'язання системи (6.3) відносно реакцій в матричній формі має вигляд:

$$\begin{bmatrix} R_{y1} \\ R_{y2} \\ R_{y3} \end{bmatrix} = \frac{1}{C_1 + C_2 + C_3} \begin{bmatrix} C_1 & C_1(C_2 + C_3) & C_1C_2 \\ -C_2 & C_2C_1 & C_2(C_1 + C_3) \\ C_3 & -C_3C_1 & C_3C_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda'_1 \\ \lambda'_2 \end{bmatrix}, \quad (6.4)$$

де $C_1 = C'C_{y1}/(C' + C_{y1})$, $C_2 = C''C_{y2}/(C'' + C_{y2})$ – сумарні жорсткості лівої та правої сторін системи «керований міст – шини – вимірювальний пристрій».

У загальному випадку поперечні деформації середніх ліній лівої та правої шин (λ'_1, λ'_2) в центрі контактів будуть різними:

$$\begin{aligned} \lambda'_1 &= -C_{\varphi 1} \theta_0 / C_{\lambda 1} + C_{\alpha 1} \alpha_{01} / C_{\lambda 1} \pm \lambda_{i1}; \\ \lambda'_2 &= -C_{\varphi 2} \theta_0 / C_{\lambda 2} + C_{\alpha 2} \alpha_{02} / C_{\lambda 2} \pm \lambda_{i2}, \end{aligned} \quad (6.5)$$

де $C_{\varphi}, C_{\alpha}, C_{\lambda}$ – кінематичні коефіцієнти шин;

$\lambda_{i1}, \lambda_{i2}$ – деформації шин від їх несиметричності.

Із виразів (6.4) і (6.5) видно, що бокові реакції опорних площин вимірювальних систем залежать не тільки від характеристик самої системи (сходження, розвалу, характеристик шини, її несиметричності), а й від сумарних жорсткостей вимірювальної системи та взаємного перерозподілу бокових реакцій через наявність зведеної до переднього моста жорсткості C_3 .

В результаті аналізування впливу жорсткості C_{φ} на формування бокових реакцій встановлено:

– примусове вирівнювання бокових сил на керованих колесах при діагностуванні не може бути критерієм правильності встановлення автомо-

біля в положення прямолінійного руху;

- жорстке кріплення передньої частини автомобіля при діагностуванні порушує процес взаємодії шини з опорною поверхнею, що призводить до значних похибок при вимірюваннях;

- вихідні параметри потрібно вимірювати в положенні стабілізованого руху автомобіля з незакріпленим рульовим керуванням, при цьому не порушується процес встановленого прямолінійного руху і враховується взаємодія керованих коліс з автомобілем в цілому.

Для перевірки цих теоретичних положень та висновків були проведені експериментальні дослідження, програмою яких був запланований порівнювальний аналіз точності вимірювання бокових сил на керованих колесах автомобіля ГАЗ-24 «Волга» з шинами 7,35-14" на стендах площинних, однобарабанної та двобарабанної конструкції.

На площинному стенді бокові сили вимірювались на лівому та правому колесах при коченні керованих коліс по його опорній площині. При цьому дотримувались таких вимог:

- заїзд автомобіля виконувався по розмічальних лініях;
- поверхня, де був встановлений стенд, була рівною, без вибоїн, очищена від бруду;
- проїзд площинного стенда виконувався «вперед» та «назад» при вільному рульовому керуванні;
- швидкість проїзду площинного стенда була мінімальною (в межах 3...5 км/год).

На стенді однобарабанної конструкції бокові сили вимірювались після встановлення керованих коліс на вимірювальні барабани та закріплення передньої частини автомобіля жорстко за поперечину № 2 за двома методиками. За першою вимірювання проводилося на обох колесах в положенні, в якому вони були зорієнтовані при заїзді на стенд; за другою – бокові сили вимірювались після того, як оператор поворотом рульового колеса домагався їх рівності. Для орієнтування відносно стенда заїзд проходив по розмічальних лініях.

На стенді двобарабанної конструкції бокові сили вимірювались також за двома методиками (при цьому передня частина автомобіля не кріпилась відносно стенда): за першою методикою – при незакріпленому рульовому керуванні, за другою – при вирівнюванні бокових сил на вимірювальних барабанах.

На стенді однобарабанної конструкції з орієнтувальними роликами бокові сили вимірювались на обох керованих колесах за трьома методиками: за першою методикою – в положенні стабілізованого руху автомобіля з незакріпленим рульовим керуванням; за другою – після орієнтування автомобіля на стенді прокрученням задніх коліс до положення, коли задні колеса не переміщуються у поперечному напрямі; за третьою – після заїзду автомобіля на стенд по розмічальних лініях.

Точність прийнятого засобу вимірювання оцінювалась вибіркоким

коефіцієнтом варіації $V\{P_y\}$. Похибки вимірювань вибірових середніх значень бокових сил, одержаних різними засобами, оцінювались показником точності досліду. Статистиками визначався довірчий інтервал Q для генеральної сукупності. Достатня кількість спостережень n з урахуванням вибірового коефіцієнта варіацій дорівнює 16. Перевірка розподілу проведена за допомогою статистичної функції розподілу результатів спостережень. Вона показала, що розподіл значень бокових сил підлягає нормальному закону. Основні результати виконаних експериментальних досліджень наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Аналіз точності вимірювань бокових сил на стендах барабанного і площинного типів

Оцінка	Барабанні стенди					Площин- ний стенд
	одноба- рабанний з захва- том	двобара- банний	однобарабанний з орієнтувальними роliками			
			Динаміч- не орієн- тування	Силове орієнту- вання	Без орієн- тування	
P_y, H	155	64	107	98	93	69
n	16	18	30	20	18	46
$S\{P_y\}, H$	123	27,2	5,5	27,4	54,8	28,5
$S\{P_y\}, H$	34,3	6,4	1,0	6,1	12,9	4,2
$P\{P_y\}, \%$	22,1	13,9	0,9	6,2	13,9	6,1
$V\{P_y\}, \%$	79,4	23,1...80,0	5,1...6,9	28,0...29,5	37,4...59,0	36,0...41,1
Q, H	155±75	64±7	106±3	98±13	93±27	69±8

На стендах однобарабанної конструкції з закріпленням передньої частини автомобіля вибіровий коефіцієнт варіації змінюється у дуже широких межах внаслідок порушення взаємодії шини з опорною поверхнею, а також можливої переорієнтації керованих коліс під час закріплення передньої частини автомобіля. Закріпити передню частину автомобіля без порушення процесу взаємодії шини з опорною поверхнею неможливо. Тому на практиці поворотом рульового колеса добиваються вирівнювання бокових сил на лівому і правому вимірювальних барабанах. Вибірковий коефіцієнт варіації при цьому становить 5,5 % при середній точності вимірів 1,3 %. Така точність використовуваного засобу вимірювання бокових сил могла б бути достатньою. Але відомо, що більшість автомобілів експлуатуються з перекосами мостів, різним станом підвісок коліс, різними характеристиками шин. Це призводить до перерозподілу бокових сил на керованих колесах таким чином, що в положенні прямолінійного руху вони не однакові. Напрямок прямолінійного руху не буде збігатися з поздовжньою віссю автомобіля. Для кожного конкретного експлуатаційного автомобіля цей напрямок буде визначатися зовнішньою боковою силою в центрі ваги ав-

томобіля, що обумовлює перерозподіл бокових реакцій. Тому закріплення передньої частини автомобіля та примусове вирівнювання бокових сил на керованих колесах не враховують взаємодію положення керованих коліс з напрямом руху, що призводить до появи систематичних помилок і зниження якості діагнозу.

При діагностуванні на стендах двобарабанної конструкції автомобіль не закріплюється відносно вимірювальних барабанів. Однак і в цьому випадку спостерігається поперечне переміщення керованих коліс на барабанах. Коефіцієнт варіації змінюється від 23,1 до 80 % при точності одержання середньої варіації 5,4 – 18,9 %. У разі примусового вирівнювання бокових сил на керованих колесах коефіцієнт варіації дорівнює 27,3 % при точності одержання середньої варіації 6,3 %, що відповідає точності вимірювальної системи стенда. Дослідження проводились на стенді моделі СХК-1.

На стенді однобарабанної конструкції при вимірюванні бокових сил в положенні стабілізованого руху з незакріпленим рульовим керуванням коефіцієнт варіації знаходиться у межах 5,1 – 6,9 % при точності одержання середньої варіації 0,9 – 1,2 %, що відповідає точності вимірювальної системи стенда. При вимірюванні за другою методикою після силового орієнтування коефіцієнт варіації знаходиться у межах 28 – 29,5 % при точності одержання середньої варіації 6,2 – 6,4 %. За третьою методикою, коли вимірювання бокових сил на керованих колесах проходить без орієнтації, вибіркового коефіцієнт варіації знаходиться у межах 37,4 – 59 % при точності одержання середньої варіації 8,8 – 13,9 %.

Таким чином, найбільша точність вимірювань досягається на стендах однобарабанної конструкції з орієнтувальними роликами в положенні стабілізованого руху з незакріпленим рульовим керуванням.

Як видно із таблиці 6.1, коефіцієнт варіації для площинного стенда знаходиться в межах 36 – 44,1 %. Збільшення його до 36 – 41,1 % порівняно з 5,1 – 6,9 % на однобарабанному стенді в положенні динамічного орієнтування виникає за рахунок присутності несиметричності по периметру шини.

Бокова сила – комплексний параметр, який залежить від багатьох факторів: сходження, розвалу, характеристики шини. Тому вона не може бути діагностичним параметром ні для одного із структурних параметрів встановлення коліс.

Діагностичними параметрами, як визначено раніше, є: для сходження – різниця бокових сил на одному з керованих коліс при його обертанні «вперед» і «назад»; для розвалу – добуток кута розвалу на коефіцієнт опору нахилу колеса; для несиметричності шини – різниця між сумою бокових сил на керованих колесах при його обертанні «вперед» та «назад» і діагностичним параметром його розвалу.

У зв'язку з цим доцільно провести порівняльний аналіз визначення діагностичних параметрів на площинному та барабанному стендах.

На рисунку 6.2 показано регресивні залежності різниці бокових сил на керованих колесах автомобіля ГАЗ-24 при коченні «вперед» і «назад» від сходження для шин 7,35-14", одержані на площинному та однобарабанному стендах з орієнтувальними роликками. Дисперсійний аналіз цих залежностей показує, що в межах зміни сходження колеса від -3,0 до +3,0 мм вони є лінійними з певним коефіцієнтом кореляції (0,978...0,998 для площинного і 0,976...0,991 для барабанного стендів). Коефіцієнт варіації результатів вимірювання для площинного стенда становить 2,5 – 3,2 %, для однобарабанного 2,1 – 3,7 %. Кутові коефіцієнти цих залежностей як на площинному (7,1...8,67), так і на однобарабанному (6,78...7,29) стендах близькі за своїм значенням.

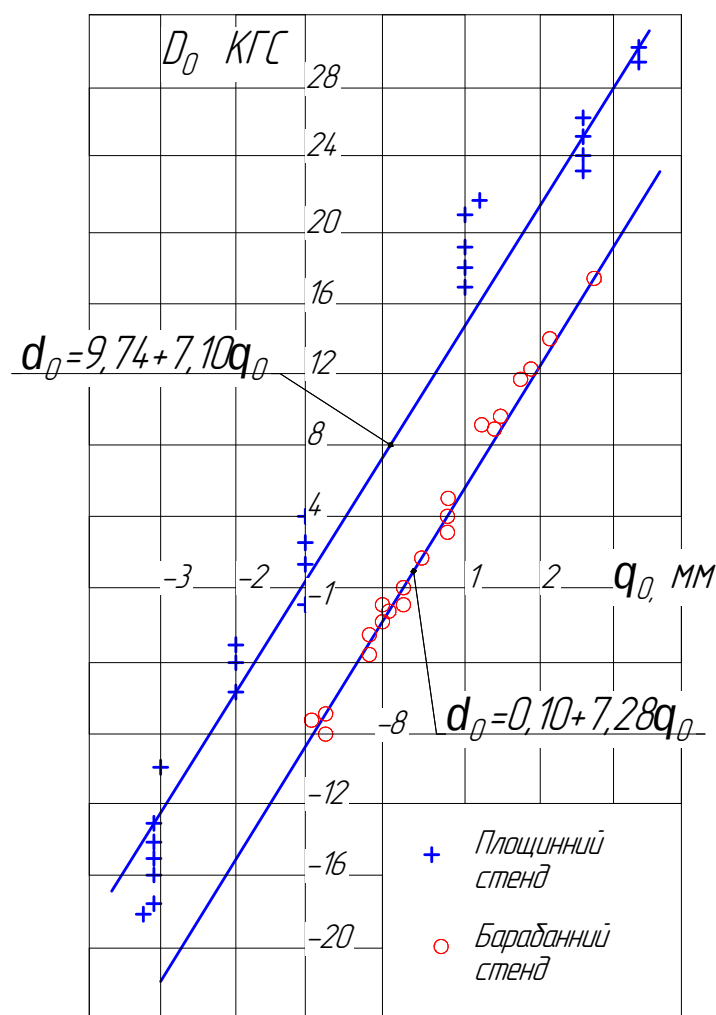


Рисунок 6.2 – Регресивні залежності різниці бокових сил на керованих колесах автомобіля ГАЗ-24 «Волга» при коченні «вперед» і «назад» від сходження для шин 7,35-14"

Таким чином, діагностичні параметри встановлення керованих коліс автомобілів слід вимірювати в положенні встановленого прямолінійного руху автомобіля.

6.3 Економічна ефективність діагностування

Рішення про доцільність створення та впровадження системи діагностування приймається на основі річного економічного ефекту, що являє собою сумарну економію всіх виробничих ресурсів, яку одержує народне господарство в результаті освоєння системи діагностування. Річний економічний ефект розраховується за формулою:

$$Q = (Z_1 - Z_2)A_2,$$

де Z_1, Z_2 – приведені витрати одиниці транспортної роботи, виконаної за допомогою базової системи обслуговування та системи діагностування, яка впроваджується на виробництві;

A_2 – річний об'єм транспортної роботи, яка виконується за допомогою системи діагностування в розрахунковому підвищенні.

Приведені затрати – це сума собівартості та нормативного прибутку:

$$Z = C + E_H K,$$

де C – собівартість одиниці транспортної роботи, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні вкладення у виробничі фонди, грн.

6.4 Узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінки ефективності діагностування

Процес діагностування завжди пов'язаний з більшим чи меншим ступенем невизначеності, тому що об'єкт діагностування може мати множину станів. При цьому вихідні характеристики процесу функціонування об'єкта діагностування мають ймовірний характер. Недолік розглянутих показників ефективності діагностування полягає в тому, що вони не дають інтегральних якісних та кількісних оцінок, невизначеності стану об'єкта. Для усунення цього необхідно й достатньо визначити інформаційні характеристики об'єкта та системи діагностування – ентропію, середню кількість інформації та ін.

Ентропія обумовлена наявністю в об'єкті дискретних систем і визначається за формулою:

$$H_0(Y, P_m, t, \tau) = - \sum_{i=1}^m P_i \log p_i, \quad (6.6)$$

де $Y\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – вектор випадкових функцій часу, характеризуючих вихідні параметри об'єкта;

P_i – ймовірність стану окремих систем;

t – момент часу, до якого аналізується об'єкт;

τ – поточне значення часу.

При діагностуванні частина невизначеності заміщується інформацією, яка одержується в процесі виконання за певним алгоритмом дослідження деякої кількості об'єктів. Кількість інформації, одержаної при діагностуванні за інтервал часу $t - \tau$, дорівнює зміні кількості ентропії:

$$I_p(t, \tau) = H_0(t, \tau) - H(t, \tau) \quad (6.7)$$

де $I_p(t, \tau)$ – реальна інформаційна ймовірність даної системи діагностування;

$H(t, \tau)$ – ентропія об'єкта і системи діагностування, яка характеризує невизначеність після діагностування.

Одержану кількість інформації можна збільшити за рахунок підвищення точності контрольно-діагностичних засобів (ентропія $H_{\text{пр}}(t, \tau)$ зменшується), а також підвищенням пристосованості алгоритму діагностування до одержання інформації і зниження ентропії $H_{\text{олг}}(t, \tau)$.

Потенціальна можливість системи діагностування визначається так:

$$I_n(t, \tau) = H_0(t, \tau). \quad (6.8)$$

Тоді ефективність системи діагностування з інформаційної точки зору можна оцінити за критерієм:

$$E_I(t, \tau) = I_p(t, \tau) / I_n(t, \tau), \quad (6.9)$$

або з урахуванням ентропії:

$$E_I(t, \tau) = [H_0(t, \tau) - H(t, \tau)] / H_0(t, \tau). \quad (6.10)$$

Переваги цього критерію:

- має фізичний зміст і характеризує ефективність однозначно числом, що змінюється від нуля до одиниці;
- характеризує безвідмовність роботи, точність і якість алгоритму системи діагностування.

Проте інформаційний критерій має й значні недоліки, тому що не враховує динаміки процесу діагностування, складності процесу і вартості діагностування. Критерієм, що практично не має перелічених недоліків, можна вважати узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінювання ефективності:

$$E(t, \tau) = K_I(t, \tau) / K_{IO}(t, \tau), \quad (6.11)$$

де

$$K_I(t, \tau) = I_{\max}(t, \tau) / C(t, \tau) \quad (6.12)$$

є узагальненою статистичною характеристикою реальної системи діагностування;

$$I_{\max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{\max}(t, \tau) \quad (6.13)$$

є максимальною середньою кількістю інформації, одержаної за дослідом найкращої системи діагностування з точки зору отримання $I_{\max}(t, \tau)$; $C(t, \tau)$ – вартість реального процесу діагностування;

$$K_{II}(t, \tau) = I_{\max \max}(t, \tau) / C_{\min}(t, \tau) \quad (6.14)$$

є узагальненою потенціальною статистичною характеристикою ідеальної системи діагностування;

$$I_{\max \max}(t, \tau) = \sum_{i=1}^m I_{i \max \max}(t, \tau) \quad (6.15)$$

є максимальним середнім значенням інформації, одержаної за дослідом найкращої системи діагностування при максимальній невизначеності системи; $C_{\min}(t, \tau)$ – вартість ідеалізованої системи діагностування.

Система діагностування може дати максимальний обсяг інформації при найбільшій невизначеності стану об'єкта. Якщо стан об'єкта при діагностуванні i -ї його системи розглядати як одну подію, то найбільша невизначеність цього стану буде при $p_{0i}(t, \tau) = 1/2$.

Ентропія стану об'єкта при діагностуванні:

$$H_0(t, \tau) = -\{p_{0i}(t, \tau) \log_2 p_{0i}(t, \tau) + [1 - p_{0i}(t, \tau)] - \log_2 [1 - p_{0i}(t, \tau)]\}, \quad (6.16)$$

де $p_{0i}(t, \tau)$ – ймовірність виконання задачі i -ю системою об'єкта.

Підставляючи $p_{0i}(t, \tau) = 1/2$ у (6.16) знаходимо: $H_{0i}(t, \tau)_{\max} = 1$.

У випадку, коли об'єкт складається з не дискретних систем,

$$H_0(t, \tau)_{\max} = \sum_{i=1}^m H_{0i}(t, \tau)_{\max} = m, \quad (6.17)$$

з урахуванням рівнянь (6.14) – (6.17) можна записати остаточно:

$$E(t, \tau) = \frac{\sum_{i=1}^m \{H_{i0}(t, \tau) - H_i(t, \tau)\} C_{\min}(t, \tau)}{m \sum_{i=1}^m c_i(t, \tau)}. \quad (6.18)$$

Таким чином, для оцінення ефективності системи діагностування необхідно визначити:

- ентропію цієї системи діагностування;
- ентропію об'єкта і системи діагностування з урахуванням ентропії, яка обумовлюється помилками системи діагностування кожної системи;
- середню кількість інформації кожного досліджу;
- вартість діагностування;
- провести розрахунки за формулою (6.18).

Узагальнений функціонально-статистичний критерій оцінення ефективності дає повну можливість і просту оцінку, що характеризує систему діагностування одним числом.

6.5 Практика освоєння систем діагностування

Практичний досвід показує, що своєчасне та в повному обсязі виконання діагностичних робіт дозволяє збільшити ефективність та якість підготовки автомобілів до експлуатації, а також підвищити довговічність автомобіля.

Діагностування паливної системи конкретного автомобіля та оптимальне регулювання, обслуговування за потребою, своєчасне виявлення дефектів окремих агрегатів та вузлів, підвищення якості обслуговування дозволяють знизити потребу на паливо, запасні частини та матеріали, збільшити потужність двигуна і зменшити викиди отруйних речовин в навколишнє середовище.

На рисунку 6.3 показано змінення густоти розподілу діагностичних параметрів сходження (рис. 6.3, а) та розвалу (рис. 6.3, б) коліс для автомобілів-таксі ГАЗ-24 до та після освоєння діагностування. В результаті діагностування й усунення несправностей діагностичні параметри знаходяться в межах їх нормативних значень, Крім цього, зменшилось розсіювання значень цих параметрів. Середнє квадратичне відхилення діагностичного параметра сходження зменшилось до 14 Н проти 94 Н. Зменшення середнього квадратичного відхилення значно знижує ймовірність виходу параметра за його кінцеві значення, що веде до підвищення якості встановлення діагнозу.

Використання діагностики на АТП дозволяє значно підвищити коефіцієнт технічної готовності, знизити собівартість підготовки автомобілів до експлуатації, підвищити продуктивність праці.

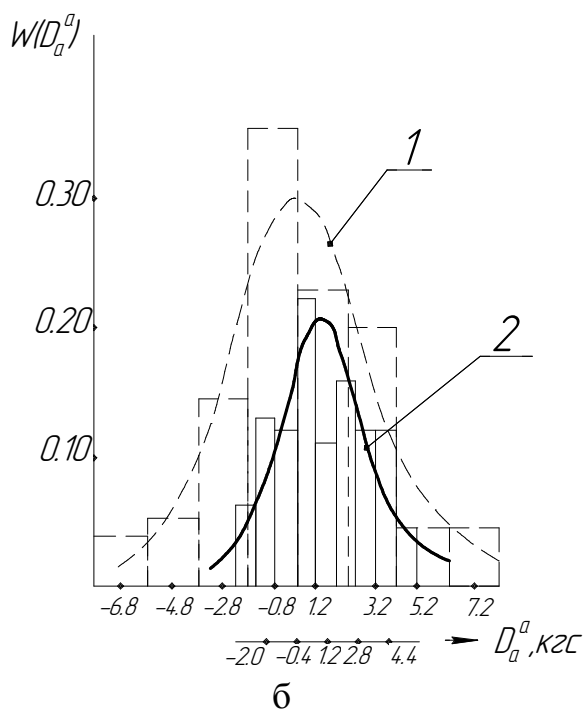
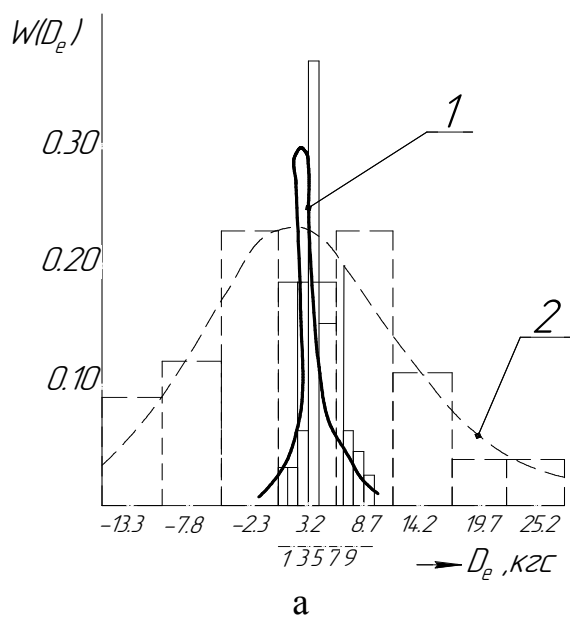


Рисунок 6.3 – Гістограми розподілу на їх вирівнювальні нормальні криві величин діагностичних параметрів сходження (а) та розвалу (б) до (пунктирна лінія) і після (суцільна лінія) освоєння системи діагностування

6.6 Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте діагностичну інформацію в системі управління технічним станом автомобіля.
2. Вкажіть точність і достовірність діагностичної інформації
3. Які критерії оцінки ефективності діагностування ви знаєте?

ГЛОСАРІЙ

Автомобіль (car)

Самохідна колісна машина, яка приводиться в рух встановленим на ній двигуном і призначена для перевезення людей, вантажу, буксирування транспортних засобів, виконання спеціальних робіт та перевезення спеціального устаткування по безрейкових дорогах.

Агрегат (aggregate)

1. Декілька з'єднаних між собою різних за призначенням машин чи пристроїв, які працюють в єдиному комплексі.

2. Складальна одиниця машини, якій властива повна взаємозамінність, можливість складання окремо і здатність виконувати окремі функції (наприклад, двигун).

Амплітуда (amplitude)

Найбільше значення величини, яка періодично змінюється. Наприклад, амплітудою називається найбільше зміщення маятника від положення рівноваги.

Водій (driver)

Особа, яка керує транспортним засобом. Вершник, візник, погонич тварин, який веде їх за повід, прирівнюється до водія. Водієм є також особа, яка навчає керуванню, знаходячись безпосередньо у транспортному засобі.

Втомленість (fatigue)

Процес постійного накопичення пошкоджень під дією змінних (часто циклічних) напружень, що призводить до зміни властивостей, виникнення тріщин, їх розвитку і пошкодження матеріалу за вказаний час.

Дефект (defect)

Порушення цілісності деталі, вузла або системи автомобіля, що призводить до подальшої втрати роботоздатності.

Діагноз (diagnosis)

Висновок про сутність поломки та стан деталі, вузла або автомобіля в цілому. Процес встановлення діагнозу називається діагностикою.

Діагностичний параметр (diagnostic parameter)

Величина, що нею характеризують якусь властивість, стан, розмір або форму пристрою, робочого тіла, процесу, явища або системи тощо.

Діагностичний тест (diagnostic test)

Сукупність вхідних даних, а також точний опис всіх результатів, які повинен виконати працівник на основі цих даних.

Діагностична карта (diagnostic card)

Призначена для реєстрації результатів діагностування в усіх випадках діагностування і прийняття рішення про необхідні роботи при технічному обслуговуванні і ремонті автомобіля. Діагностична карта є вихідним документом при виконанні нагромаджувальної карти в усіх випадках діагностування.

Двигун внутрішнього згоряння (combustion engine)

Це тип двигуна, теплова машина, в якій хімічна енергія палива (звичайно застосовується рідке або газоподібне вуглеводневе паливо), що згорає в робочій зоні, перетворюється в механічну роботу. Одним із найпоширеніших видів теплової машини є двигун внутрішнього згоряння, який нині широко використовується в різних транспортних засобах, зокрема в автомобілях.

Інформація (information)

Це абстрактне поняття, що має різні значення залежно від контексту. Походить від латинського слова «informatio», яке має декілька значень:

- роз'яснення; виклад фактів, подій; витлумачення;
- уявлення, поняття;
- ознайомлення, просвіта.

Експлуатаційна якість (operating quality)

Сукупність властивостей автомобіля, які визначають ступінь придатності для використання за призначенням.

Корозія (corrosion)

Процес хімічного руйнування металів і сплавів при їх взаємодії з зовнішнім середовищем: повітрям, водою, розчинами електrolітів тощо. Розрізняють два види корозії: хімічну і електрохімічну.

Хімічна корозія відбувається в середовищах, які не проводять електричного струму. Вона обумовлюється дією на метали неелектrolітів (спирту, бензину, мінеральних масел тощо) і сухих газів (кисню, оксидів азоту, хлору, хлороводню, сірководню і ін.) при високій температурі (так звана газова корозія).

Електрохімічна корозія більш поширена і завдає значно більшої шкоди, ніж хімічна. Вона виникає при контакті двох металів у середовищі водних розчинів електrolітів. На відміну від хімічної електрохімічна корозія супроводжується переміщенням валентних електронів з одної ділянки

металу на іншу, тобто виникненням місцевих електричних струмів внаслідок утворення на корозійній поверхні так званих гальванічних пар.

Критерій (criterion)

Критерій – види умов зв'язку суджень. Розходження цих умов використовуються в логіці і математиці для позначення видів зв'язку суджень.

Нагромаджувальна карта (story card)

Призначена для нагромадження інформації про зміни діагностичних параметрів у процесі експлуатації автомобіля, збирання вихідних даних для прогнозування залишкового ресурсу і ймовірності безвідмовної роботи в межах міжконтрольного періоду. Нагромаджувальна карта ведеться на кожен автомобіль протягом усього терміну його експлуатації. При передачі автомобіля в іншу організацію нагромаджувальну карту передають разом із ним.

Надійність (reliability)

Властивість технічних об'єктів зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, необхідних для виконання технічних (технологічних та ін.) функцій в заданих режимах і умовах застосування.

Пасажир (passenger)

1. Особа, яка користується транспортним засобом і знаходиться в ньому, але не причетна до керування ним.

2. Особа, яка здійснює поїздки у дорожньому транспортному засобі (за винятком водія та іншого персоналу із обслуговування пасажирів).

Ремонт (repair)

Процес зміни, відновлення, покращення будь-чого, доведення об'єкта до початкових характеристик.

Роботоздатність (capacity)

Здатність до трудової діяльності, яка залежить від стану здоров'я людини.

Залежно від характеру роботи, яку може виконувати людина, розрізняють

- загальну (тобто здатність до виконання роботи в звичайних умовах),
- професійну (здатність до виконання роботи певної професії),
- спеціальну (тобто здатність до виконання робіт у певних виробничих або кліматичних умовах – під землею, у тропіках тощо).

Система змащування (system of greasing)

Це система, за допомогою якої відбувається змащення робочих поверхонь деталей, що взаємодіють між собою.

Справність (good condition)

У справному стані об'єкт повинен відповідати всім вимогам, встановленим для нього нормативно-технічною і конструкторською документацією. Невідповідність хоч би одній з вимог переводить об'єкт в категорію несправних.

Технічна діагностика (technical diagnostics)

Розділ експлуатаційної науки, в якому вивчаються, встановлюються і класифікуються відмови та несправності агрегатів, вузлів і симптоми цих відмов та несправностей, а також розробляються методи і засоби для їх виявлення з метою визначення необхідних профілактичних і ремонтних дій на об'єкт для підтримки високого рівня його надійності і прогнозування ресурсу його справної роботи.

Частота (frequency)

Фізична величина, характеристика будь-яких процесів, які повторюються (періодичних процесів або коливань). Частота показує скільки періодів процесу відбувається за одиницю часу. Частота вимірюється у герцах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Авдонькин Ф. Н. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
2. Аригин И. Н. Диагностирование на автомобильном транспорте / Аригин И. Н. – М. : Высшая школа, 1985. – 80 с.
3. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Говорущенко Н. Я. – Харьков : Высшая школа, 1984. – 312 с.
4. Дунаев А. П. Организация диагностирования при обслуживании автомобилей / Дунаев А. П. – М. : Транспорт, 1987. – 207 с.
5. Канарчук В. Є. Виробничі системи на транспорті : підручник / В. Є. Канарчук, П. П. Куртков. – К. : Вища школа, 1997. – 359 с.
6. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець. – К. : Вища школа, 1994. – (У 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. – 342 с.; Кн. 2: Організація, планування і управління. – 383 с.; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. – 599 с.
7. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Кузнецов Е. С. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
8. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник / Лудченко О. А. – К. : Знання-Прес, 2003. – 511 с.
9. Мирошников Л. В. Диагностирование технического состояния автомобилей на АТП / Мирошников Л. В. – М. : Транспорт, 1977. – 263 с.
10. Надійність техніки. Терміни і визначення: ДСТУ 2860:1994. – К. : Держстандарт України, 1994. – 36 с. – (Національні стандарти України).
11. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания : учебник для вузов / Напольский Г. М. – М. : Транспорт, 1985. – 231 с.
12. Основы технической диагностики / под ред. П. И. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.
13. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К. : Мінтранс України, 1998. – 16 с.
14. Сапон Н. С. Элементы технической диагностики автомобилей : учебное пособие / Сапон Н. С. – К. : УМК ВО, 1988. – 80 с.
15. Спичкин Г. В. Диагностирование технического состояния автомобилей / Спичкин Г. В., Третьяков А. М., Либин Б. Л. – М. : Высшая школа, 1983. – 368 с.
16. Спичкин Г. В. Практикум по диагностированию автомобилей / Г. В. Спичкин, А. М. Третьяков. – М. : Высшая школа, 1986. – 439 с.
17. Тертя і зношування в машинах. Терміни і визначення : ДСТУ 2823:1994. – К. : Держстандарт України, 1994. – 46 с. – (Національні стандарти України).

18. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник / под ред. Е. С. Кузнецова. – М. : Транспорт, 1991. – 413 с.

19. Технические средства диагностирования : справочник / [Клюев В. В., Пархоменко П. П. и др.]; под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.

20. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навчальний посібник / Є. Ю. Формальчик, М. С. Олісевич, О. Л. Мастикаш, Р. А. Пельо. – Львів : Афіша, 2004. – 492 с.

Навчальне видання

**Біліченко Віктор Вікторович
Крещенецький Володимир Леонідович
Кукурудзяк Юрій Юрійович
Цимбал Сергій Володимирович**

ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено С. Цимбалом

Підписано до друку
Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.