

ЛЕКЦІЯ 3

СТРУКТУРА ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ. СПОСОБИ ДІАГНОСТИКИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

План

1. Структура діагностичних систем.
2. Способи діагностики мехатронних систем.

3.1 Структура діагностичних систем

Розрізняють системи тестового й функціонального діагностування. У системах тестового діагностування на об'єкт подаються спеціально організовані *тестові впливи* від засобів діагностування. У цьому разі, зазвичай об'єкт діагностики не використовується за головним призначенням, а працює тільки для завдань діагностики. У системах функціонального діагностування на об'єкт надходять *робочі впливи*, передбачені його алгоритмом функціонування за призначенням. У системах обох видів, системи діагностування сприймають і аналізують *відгуки* об'єкта на вхідні (тестові або робочі) впливи (*стимули*) й видають результат діагностування, тобто ставлять діагноз (об'єкт справний або несправний, працездатний або непрацездатний, функціонує правильно або неправильно, має певний дефект або в об'єкті ушкоджена окрема його частина).

Отже, діагностична система складається з активізуальної (діагностичної установки) та вимірювальної (діагностичного приладу) частин.

Діагностичні системи залежно від рівня керованості можуть бути виконані як неавтоматичні, *автоматизовані* (керування подачею палива) або *автоматичні* (керування запалюванням). Для реалізації автоматизованого чи автоматичного процесу діагностування зазвичай використовують комп'ютеризовані або комп'ютерні діагностичні системи [1, 3].

Некомп'ютерна діагностична система не виключає застосування персонального комп'ютера оператором із метою отримання довідкової діагностичної інформації про об'єкт діагностики, занесення та обробки результатів діагностування. При цьому персональний комп'ютер не має безпосереднього інформаційного зв'язку з засобами та об'єктами діагностики (рис. 3.1, а).

Комп'ютеризована діагностична система передбачає застосування у своєму складі комп'ютерних засобів для отримання інформації про технічний стан об'єкта діагностики. У таких системах програмно-апаратні засоби системи (давачі, актуатори, перетворювачі сигналів, комп'ютери) цілком розташовані за межами автомобіля (не є штатним обладнанням автомобіля). Зазвичай комп'ютеризована система створюється на базі звичайної електромеханічної діагностичної системи шляхом її комп'ютеризації та цілком підпадає під

категорію «діагностичне устаткування» (рис. 3.1, б). Для узгодження цифрових сигналів діагностичного комп'ютера з електромеханічними перетворювачами діагностичної установки використовуються цифроаналогові перетворювачі (ЦАП). Для вимірювання аналогових сигналів електричних приладів вимірювальної частини системи діагностичним комп'ютером застосовуються аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП).

Комп'ютерна діагностична система передбачає обмін інформацією між діагностичним комп'ютером зовнішнього підключення та бортовим комп'ютером, на базі якого інтегрована бортова діагностична система. У таких системах основні діагностичні функції реалізуються на базі елементів штатного обладнання автомобіля (рис. 3.1, в).

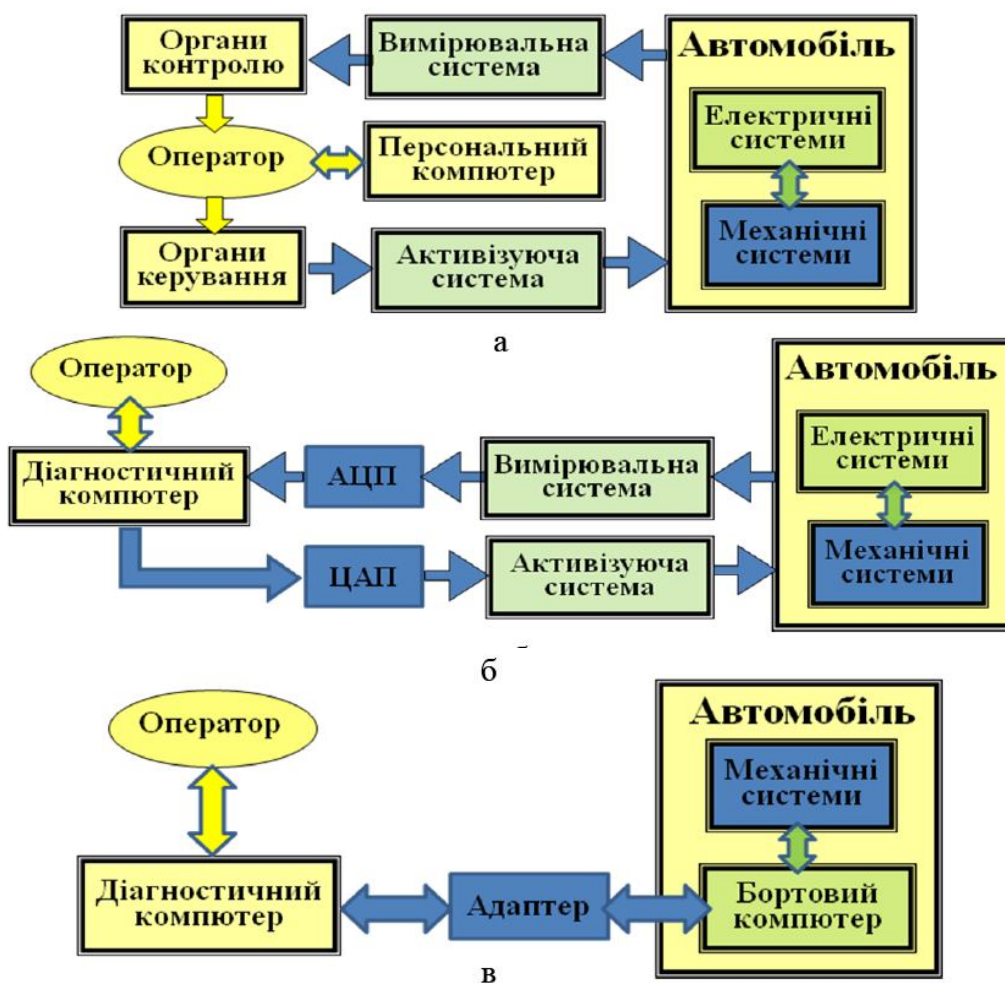


Рисунок 3.1 – Узагальнені структури діагностичних систем:
а – некомп'ютерної; б – комп'ютеризованої; в – комп'ютерної

У такому разі діагностична система за категорією засобу поділяється на «діагностичне обладнання» і «діагностичне устаткування». При цьому діагностичний комп'ютер (прилад), що підключається до бортового комп'ютера зазвичай виконує тільки функції операторської периферії (клавіатури та

монітора). Узгодження рівнів цифрових сигналів, утвореної у такий спосіб локальної комп'ютерної мережі, здійснюється за допомогою адаптера.

Інтегровані діагностичні системи належать до класу вмонтованих засобів діагностики, які втілені у мехатронні системи на програмному та апаратному рівнях і виконують декілька пасивних (спостереження, інформування) та активних (резервування, адаптація) функцій, реалізація яких базується на використанні програми експертної системи.

Експертна система (ЕС) – програма, що використовує експертні знання (знання спеціалістів) для забезпечення ефективного рішення неформалізованих задач в інтерактивному режимі [4,7,8]. *Неформалізованим задачам* властиві певні ознаки: завдання не можуть бути задані в числовій формі; мету не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції; не існує алгоритмічного рішення задачі; наявність ознак помилковості, неоднозначності й суперечливості вихідних даних.

В основі функціонування *ЕС* лежить використання знань, а маніпулювання ними здійснюється на базі евристичних правил, які сформовані експертом. Експертні системи видають поради, проводять аналіз, виконують класифікацію, дають консультації та ставлять діагноз. На відміну від звичайних програм, які використовують процедурний аналіз, *ЕС* вирішують задачі у вузькій предметній сфері на основі дедуктивних міркувань.

Окрім функціонального призначення, *ЕС* класифікують за декількома структурними ознаками [5,6]:

- способом формування рішення (аналізувальні або синтезувальні);
- часового обліку (статичні або динамічні);
- видом даних та знань (детерміновані або невизначені);
- кількістю джерел знань.

Під час розробки *ЕС* для певних предметних сфер використовують існуючі програмні оболонки:

1) SHELL – базовий елемент операційної системи, що визначає інтерпретацію команд і дій користувача;

2) CLIPS – система, що використовує висновок від фактів до мети;

3) DYNACLIPS – включає дошку оголошень, механізм динамічного обміну знаннями та інструментальні засоби для CLIPS;

4) FuzzyCLIPS – використовується для представлення та управління нечіткими фактами та правилами, використовує дві базисних концепції про неточність, нечіткість і невизначеність;

5) OPS5 – містить механізми подання знань та управління, дає змогу програмісту використовувати символи та представляти відношення між символами, за правилами, які пропанує програміст;

6) WindExS – повнофункціональна ЕС на базі Windows; містить механізм логічного висновку, диспетчер файлів, інтерфейс користувача, адміністратор повідомлень та модулі бази знань; підтримує висновок від фактів до мети та графічне представлення бази знань;

7) RT-EXPERT – експертна система загального призначення, що дає змогу програмістам інтегрувати правила експертної системи в прикладні програми.

Основу ЕС становить база знань (формалізовані емпіричні знання), яка призначена для зберігання довгострокових даних, що описують об'єктну сферу і правила доцільних перетворень даних цієї області. Аналіз об'єктної сфери в ЕС здійснюється шляхом вибору адекватного рішення із бази знань при надходженні бази даних, які визначають окремі факти, що характеризують об'єкти, процеси та явища в предметній сфері.

Стосовно діагностики автомобіля, як об'єктна сфера розглядається мехатронна система, а як предметна – її технічний стан. У такому разі, як база знань розглядаються допустимі (еталонні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування справної системи (далі по тексту – база даних), а як база даних – поточні (фактичні) значення діагностичних параметрів і алгоритми функціонування системи за фактом їх реалізації (далі по тексту – поточні дані). Зрозуміло, що вся поточна інформація про стан мехатронної системи, яка надходить та зберігається в ЕС, становить параметри електричних величин (сигналів), які аналізуються в інтерпретованому (кодовому) виді шляхом порівняння. При цьому можна розглядати й апаратний складник ЕС (рис. 3.2).

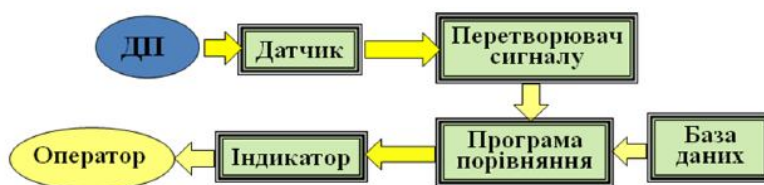


Рисунок 3.2 – Структурна схема діагностичної експертної системи

Залежно від призначення та режиму функціонування, інтегровані діагностичні системи мають різну структуру та поділяються на інформаційні системи, системи самодіагностики, адаптації та резервування (рис. 3.3).

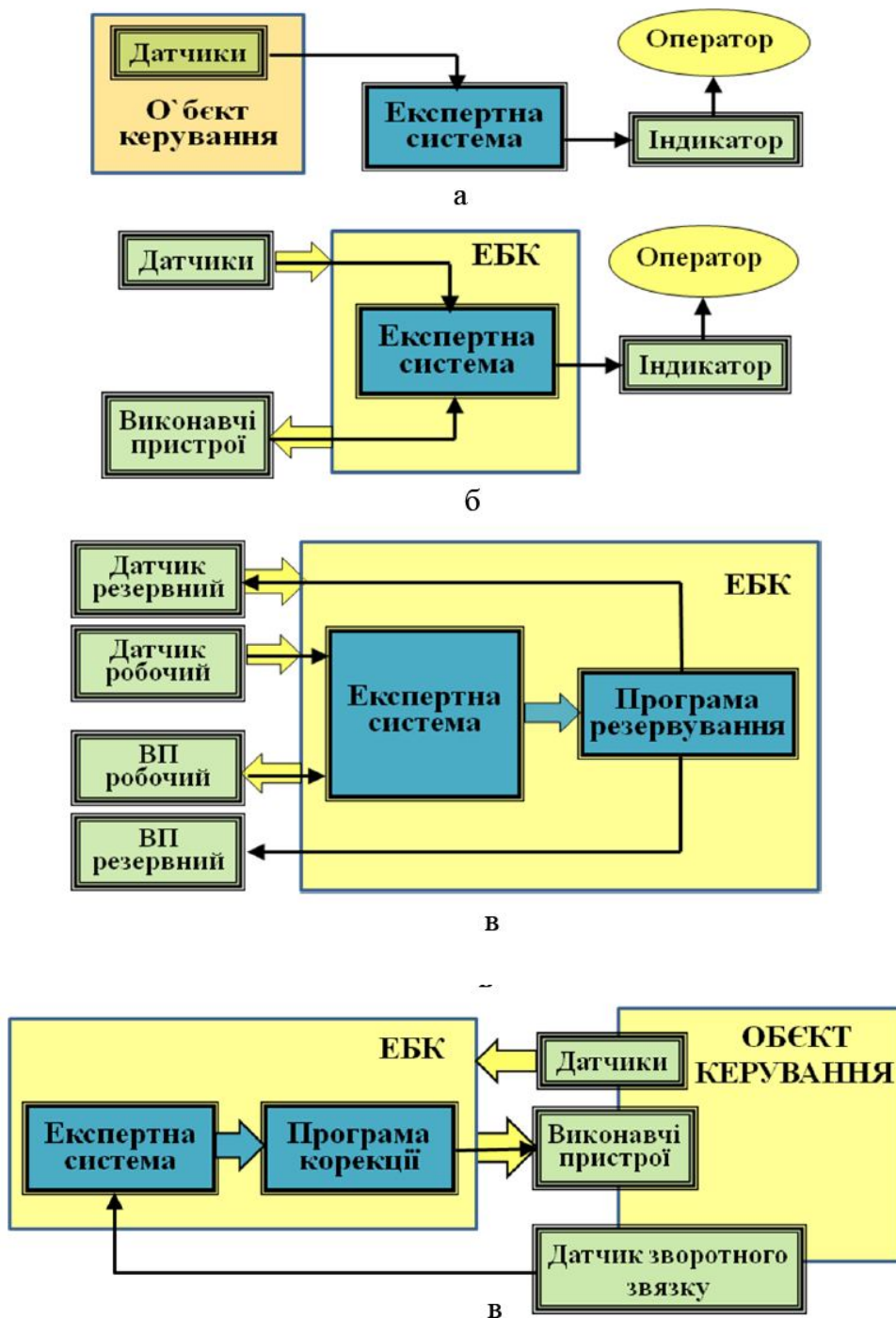


Рисунок 3.3 – Структурні схеми інтегрованих діагностичних систем:
а – інформаційна; б – самодіагностики; в – резервування; г – адаптації

Інформаційна діагностична система (рис. 3.3, а) – інтегрована система, побудована на базі експертної системи, призначена для контролю ДП об'єкта керування та виконує пасивні функції діагностики (реєстрація відхилень ДП за межі допустимих значень). Сигнали давачів інформаційної системи не використовуються для реалізації процесу керування об'єктом і розглядаються

тільки як діагностичні параметри. У базі даних *ЕС* зберігаються допустимі значення параметрів сигналів переліку давачів інформаційної системи.

Система самодіагностики (рис. 3.3, б) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для діагностики елементів системи керування (давачів, виконавчих пристроїв, ЕБК) та виконує пасивні функції діагностики (реєстрація факту та локалізація несправності). Інформаційні сигнали давачів і сигнали керування виконавчими пристроями системи самодіагностики використовуються для реалізації процесу керування об'єктом. Отже, режимні (робочі) сигнали системи керування (об'ємні стрілки зв'язків) одночасно розглядаються і як діагностичні параметри (тонкі стрілки зв'язків).

Система резервування (рис. 3.3, в) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для підтримки працездатності мехатронної системи в разі виходу з ладу окремих її елементів та виконує активні функції діагностики (апаратна заміна елемента або програмне заміщення сигналу). Система резервування, як і система самодіагностики, базується на аналізі поточної інформації, що надходить із робочих сигналів системи керування.

Система адаптації (рис. 3.3, г) – інтегрована діагностична система, побудована на базі експертної системи, призначена для підтримки оптимального керування об'єктом у разі впливу на мехатронну систему дестабілізуючих факторів (зовнішніх, структурних) та виконує активні функції діагностики (корекція функцій перетворення у середовищі ЕБК). Використовується в гнучких (зі зворотними зв'язками) системах керування. Система адаптації відтворює функції системи автоматичного керування (стабілізації вихідного параметру) де в контурі зворотного зв'язку використовується давач вихідного сигналу (параметру), а як опірний рівень розглядається зразкове значення цього параметра, що зберігається в базі даних *ЕС*.

3.2 Способи діагностики мехатронних систем

Під назвою способу діагностики зазвичай розуміють декілька ознак, які можуть визначати: вид перевірок технічної системи; спосіб постановки діагнозу; вид діагностичного параметра, на підставі якого ставиться діагноз; принцип побудови діагностичної системи; місце та умови проведення діагностичних операцій; засіб діагностики, який використовується. Інакше кажучи, спосіб постановки діагнозу визначається методами діагностування та засобами за допомогою яких вони реалізуються для визначеного об'єкта діагностики (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Класифікаційна структура способів діагностування механічних систем

Методи діагностування технічних систем за видом перевірок можна класифікувати за такими ознаками: характером участі людини у процесі діагностування; способом виявлення несправності; способом відтворення при перевірках методами заміни; типом пошуку; гнучкістю реалізації алгоритмів діагностування; глибиною локалізації несправності [4, 6].

За характером участі людини у процесі діагностування розрізняють *органолептичні* (суб'єктивна оцінка за ознаками та симптомами несправностей), *статистичні* (аналіз напрацьованої інформації про відмови) та *інструментальні* або *апаратні* (із використанням засобів діагностики) методи визначення технічного стану автомобіля.

Під *інструментальними* будемо розуміти методи, у яких використовуються неелектричні засоби контролю ДП (вимірювальний інструмент, механічне обладнання, прилади безпосередньої оцінки), а під *апаратними* – де застосовуються електричні вимірювальні прилади, які контролюють електричні та неелектричні ДП. Зауважимо, що в межах цього питання під категорією «електричні» методи будемо розуміти методи діагностування механічних систем із застосуванням електричних пристроїв та приладів.

Сучасні апаратні методи діагностики передбачають використання спеціальних випробувальних стендів та комплексів, структура яких складається з електромеханічних приводів (актуаторів), давачів неелектричних величин,

електричні засоби відображення інформації (вимірювальні прилади) та пристроїв перетворення вимірюваних сигналів до інформаційних. Стосовно цього зазначимо, що залежно від рівня будови діагностичного обладнання, для перевірок механічних систем застосовуються або некомп'ютерні (електромеханічні з аналоговими перетворювачами) або комп'ютеризовані діагностичні стенди та комплекси.

Вид обраного ДП визначає метод постановки діагнозу (принцип побудови діагностичної системи) та відповідно і засіб діагностики, у якому ці функції реалізовано. До того ж усі ці позиції відносно щодо об'єкта діагностики можуть бути альтернативними. Наприклад, стан ЦПГ і ГРМ за герметичністю робочих об'ємів можна оцінювати механічним методом із застосуванням приладів безпосередньої оцінки або електричним – за допомогою мотор-тестера із застосуванням давача тиску або давача струму стартерної мережі. Склад мастила (продукти зношення ЦПГ) системи змащування визначають хімічним методом із застосуванням реактивів або спектрографічним – за допомогою спектрографа рідини.

За структурною ознакою розрізняють комплексну діагностику за вихідними характеристиками транспортних засобів (ТЗ) (функціональними параметрами), системну й агрегатну діагностику та діагностику вузлів і складальних одиниць за структурними параметрами. Залежно від цього, обумовлюються місце та умови проведення діагностичних операцій. Зазвичай комплексна діагностика проводиться на посту, системна – на борту ТЗ, агрегатна – в умовах електровідділення або авторемонтного підприємства (АРП). Із огляду на це тестове діагностування зазвичай проводять за статичних умов, а функціональне – під час їздових випробувань автомобіля. Перевірки можуть проводитись з працюючими (активованими) або непрацюючими агрегатами та системами.

Значна увага приділяється системам ходової частини ТЗ, від яких залежить безпека руху автомобіля (гальма, кермо, підвіска). Загальний технічний стан гальмівної системи оцінюють за допомогою *деселерометрів* (вимірювачів уповільнення руху автомобіля) та *деселерографів* (реєстраторів процесу уповільнення). В умовах поста розповсюдження знайшли *роликові стенди* (із біговими барабанами) де використовуються сили зчеплення колеса з опорною поверхнею та стенди де гальмівний момент передається безпосередньо через колесо або через маточину [7, 8].

Гальмівні стенди мають пристрій для завдання (контролю) зусилля натискання на гальмівну педаль (*недометр*), гальмівний механізм, канал вимірювання та реєстрації результатів тестування. Системи гальм на роликівих стендах перевіряють силовим або інерційним методом. При цьому вимірюється

гальмівний шлях для кожного окремого колеса, час спрацювання гальмівного приводу й уповільнення (загальне й по кожному колесу окремо).

Для систем гідравлічних гальм за допомогою діаграм самописців додатково оцінюють залежність між силою натискання на педаль і гальмівною силою. Синхронність дії гальм перевіряють за допомогою диференціальних електричних секундомірів. Еліптичність гальмівних барабанів визначають за місцями найбільшого тертя за допомогою температурних щупів. Для автоматизації процесу контролю та діагностування системи гальм використовуються комп'ютерні засоби та програми (рис. 3.5).

Діагностування органів керування полягає у перевірках ступеня зношування й люфтів сполучених деталей, деформації важелів і тяг, порушення регулювань. Діагностування рульового керування здійснюється шляхом оцінки сумарного окружного люфту (за шкалою люфтоміра) та значенню сили тертя (за показаннями динамометра).

На сучасному рівні такі вимірювальні системи реалізуються електричними методами із застосуванням статичних давачів кутових відхилень (енкодерів), сили (зусилля), переміщення (повороту) та електричних індикаторів (рис. 3.6, а).



Рисунок 3.5 – Комп'ютеризований гальмівний стенд:
а – загальний вигляд; б – установка ТЗ на бігові барабани



а



б

Рисунок 3.6 – Комп'ютеризовані контрольні-вимірювальні комплекси для перевірки:

а – системи рульового керування; б – куту установки коліс

Перевірки ходової частини за характеристиками керованості ТЗ полягають у контролі кутів установки керованих коліс за величиною сходження й кутам розвалу та нахилу шворня поворотного кулака в поперечній і поздовжній площинах; співвідношенню кутів повороту; паралельності передньої й задньої осей, зміщенню моста вбік. Для безпосередньої оцінки кутів нахилу коліс відносно базової площини використовують вимірювальні рівні. За конструктивним виконанням стенди для контролю встановлення коліс у статичному режимі поділяють на майданчикові й роликові. У таких стендах вимірювальна система базується на вимірювачах безпосередньої оцінки (динамометрах) бічної сили, що завдає колесо під час його наїзду на вимірювальний елемент (механічні методи), або на давачах бічної сили (тензодавачів, давачів переміщення) та електричних вимірювальних приладах (електричні методи). У сучасних контрольно-вимірювальних комплексах аналогічного призначення використовуються електрооптичні (з використанням лазерних пристроїв) методи вимірювання кутових відхилень та мікропроцесорні засоби автоматизації процесу діагностування, обробки результатів вимірювання, постановки діагнозу та надання рекомендацій щодо проведення регулювальних робіт (рис. 3.6, б).

Діагностування підвіски автомобіля може здійснюватися за змушеними або вільними коливаннями підресореної або не підресореної мас [5, 7, 8]. Існує декілька методів визначення стану амортизаторів:

- візуальний огляд і підрахунок коливань кузова автомобіля (суб'єктивна оцінка працездатності амортизаторів);
- зняття характеристик амортизаторів на спеціальному стенді (агрегатна діагностика апаратним методом);
- вимірювання параметрів коливань кузова або колеса (апаратні методи в умовах діагностичного поста).

Оцінка ефективності роботи амортизатора, знятого з автомобіля, проводиться на спеціальних приводних стендах (рис. 3.6, а) за результатами аналізу кругових діаграм (залежність сили опору від переміщення штока), площа яких відповідає значенню дисипативної сили (енергії), що гасить амортизатор.

Методи, засновані на аналізі параметрів коливаннях кузова (амплітудний, метод «шок-тест», метод гальмування) або коліс (методи BOGE / MAXA, EUSAMA) полягають у діагностуванні не самих амортизаторів, а роботи підвіски загалом.

Амплітудний метод полягає у вимірюванні загасання коливань кузова після його розгойдування. Прилад (рис. 3.6, б) складається із блоку реєстрації (1), який містить ультразвуковий давач переміщення (коливань),

обчислювальний пристрій, органи керування, дисплей і комплектується джерелом ультразвуку (2). ТЗ із закріпленням на крилі блоком, однократно штовхають долілиць. Прилад реєструє коливання й обчислює коефіцієнт загасання за кількістю коливань та спаду їхньої амплітуди.

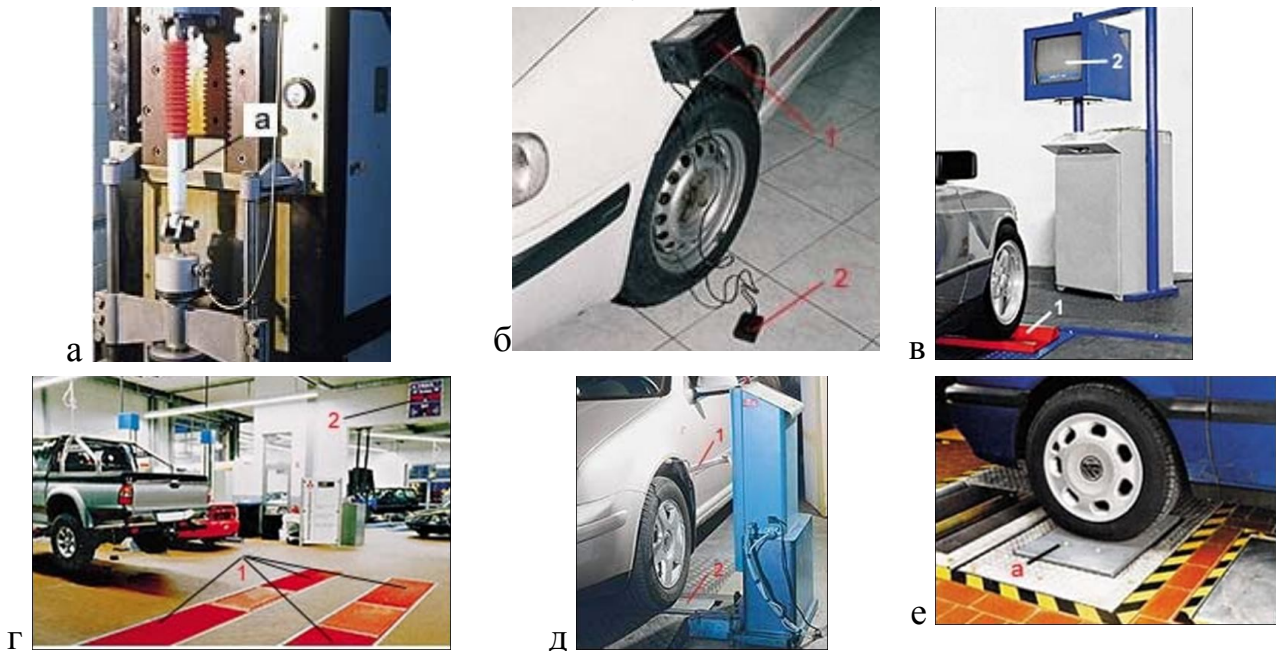


Рисунок 3.6 – Способи перевірок системи підвіски:

- а – стендова перевірка амортизаторів; б – за амплітудним методом;
- в – за методом BOGE / MAXA; г – за методом гальмування;
- д – за методом «шок-тест»; е – за методом EUSAMA

Під час виконання «шок-тесту» випробування проводяться на стенді (рис. 3.6, д), який складається з пневматичного підйомника (2) і пристрою з пружним важелем (1), що відслідковує вертикальні переміщення кузова. Важіль пристрою зачіпають знизу за колісні арки. За допомогою приводу стенда колеса випробуваної осі піднімають, а потім різко відпускають, викликаючи коливання кузова та відповідно і вимірювальних важелів. За результатами тесту комп'ютер стенда видає часову діаграму коливань на екран монітора й обчислює коефіцієнт загасання коливань для кожної випробуваної осі.

Метод гальмування реалізується на стаціонарних стендах лінії експрес-діагностики (рис. 3.6, г), де додатково перевіряються ефективність роботи гальмівних систем і бічне відведення автомобіля при відпущеному кермовому колесі. Стенд складається із вмонтованих у підлогу платформ із давачами (1), обчислювального пристрою й монітора (2). Для проведення вимірів, ТЗ заїжджає на платформи й різко загальмовується. При цьому кузов починає коливатися. Давачі фіксують динамічну зміну навантаження на платформи. За кількістю й інтенсивністю коливань обчислювальний пристрій оцінює ефективність роботи амортизаторів.

Метод виміру за коливаннями коліс також реалізується на лініях експрес-діагностики двома методами – BOGE / MAXA і EUSAMA (European Association

of Shock Absorber Manufacturer – Європейська асоціація виробників амортизаторів). В обох випадках автомобіль установлюється на спеціальні платформи, які по черзі збуджують вертикальні коливання коліс.

Метод BOGE/MAXA полягає у вимірюванні ваги колеса й амплітуди коливань платформи із установленим на неї колесом ТЗ (рис. 3.6, в). Платформа (1) збуджує коливання із частотою, вищою за резонансну частоту підвіски. Під час зниження частоти примушених коливань, настає резонанс. Найбільші значення амплітуди коливань у зоні резонансу, відповідають найгіршому стану амортизатора. Результати тестування виводяться на екран монітора (2). Додатково, комп'ютер стенда перераховує отримані значення амплітуд у відсотковий коефіцієнт ефективності амортизатора.

За методом EUSAMA оцінюється здатність підвіски втримувати контакт колеса з нерівною дорогою. Стенд (рис. 3.6, е) відслідковує силу, із якої колесо автомобіля впливає на платформу. Спочатку вимірювання проводяться на нерухомій платформі, а потім у процесі загасаючих коливань. За результатами тестування комп'ютер обчислює коефіцієнт зчеплення колеса з опорною поверхнею, виражений у відсотках. Він дорівнює відношенню мінімального навантаження під час коливань до навантаження на нерухому платформу.

Силова частина автомобіля складається з ДВЗ і трансмісії. Трансмісія складається з послідовності вузлів, що передають потужність від ДВЗ до коліс автомобіля (зчеплення, коробка передач, карданна передача, ведучий міст). Засоби діагностики трансмісії дають змогу визначати: потужність, затрачувану на прокручування трансмісії та ведучих коліс; кутовий зазор у карданній передачі; биття карданного вала; рівень вібрації; сумарний люфт головної передачі; сумарний люфт коробки передач на різних передачах; зусилля включення передач; сталу температуру та рівень мастила в агрегатах трансмісії; вміст продуктів зношування в маслі агрегатів трансмісії.

Найскладнішим агрегатом силової частини автомобіля є двигун внутрішнього згорання. На практиці використовуються різні методи діагностування ДВЗ засновані на вимірюванні вихідних та структурних індикаторних параметрів, пов'язаних із такими: порушенням герметичності робочих об'ємів; відхиленнями у робочих процесах; зношенням спряжених деталей; втратою фізичних властивостей матеріалів та кінематичних властивостей механізмів.

Методи діагностування ДВЗ засновані на аналізі характеру механічних процесів із прив'язкою до кутового положення колінчастого валу та відповідно і положення усіх елементів, що мають із ним кінематичні зв'язки (ГРМ, ЦПГ, КШМ). Застосування мотор-тестера порівняно з

компресометром або вакуометром дає змогу значно підвищити рівень локалізації (деталізації) несправності ДВЗ.

У цьому разі поряд із застосуванням давача тиску в отворі свічі запалювання (отримання кутової та індикаторної діаграми тиску) може використовуватися віброакустичний метод із застосуванням давача шуму (п'єзоелектричного акселерометра) [7, 8]. Щоб забезпечити необхідну чутливість цього діагностичного параметра, вимірювання шумів механізмів ДВЗ, проводиться під час провертання колінчастого валу стартером, (системи запалювання та паливного живлення відключені).

Такий спосіб дає змогу виявити приховані дефекти (зношування деталей КШМ, ГРМ, форсунок, ланцюгових передач, підшипників), без розбирання двигуна (рис. 3.7).

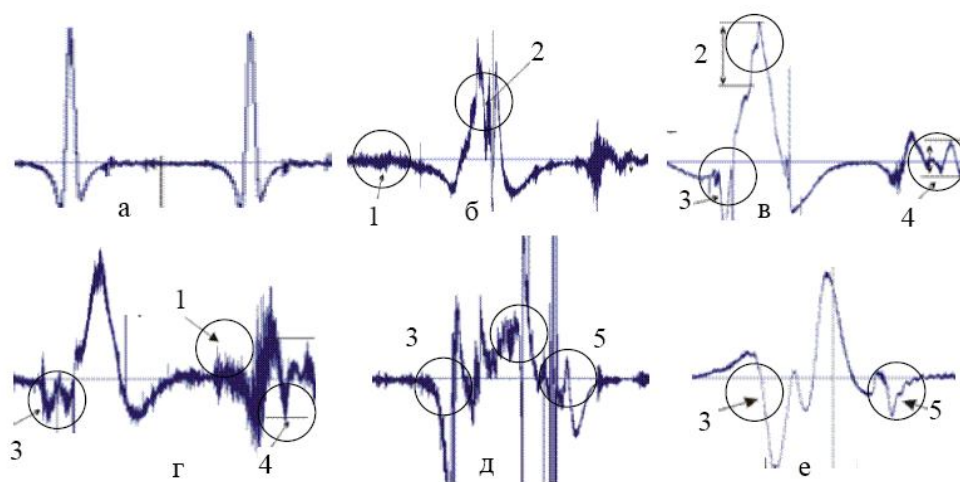


Рисунок 3.7 – Часові (кутові) діаграми шуму у циліндрах ДВЗ:
а – справного двигуна; б...е – несправного двигуна

Позиціям у кружках на діаграмах шуму несправного двигуна відповідають дефекти: 1 – тертя кулачків ГРМ; 2 – зношення КШМ; 3 – несправність механізму впускного клапану ГРМ; 4 – втрата щільності випускних клапанів ГРМ; 5 – несправність механізму випускного клапана ГРМ; 6 – значне зношення КШМ.

Перевірка тягово-потужних показників і характеристик силової частини автомобіля проводиться на роликкових (із біговими барабанами) стендах [6,7], альтернативу яким становлять динамометричні стенди з безпосереднім вимірюванням силових параметрів на осях ведучих коліс. Прикладом такої технології є стенд Дунарск 6033 4WD (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Технологія діагностування на комп'ютеризованому стенді типу Dynapack 6033 4WD

Таке обладнання дає змогу істотно підвищити точність вимірів, особливо при проведенні послідовних тестів у процесі налаштувань параметрів роботи та зняття характеристик двигуна та трансмісії: потужнісної; крутного моменту; роботи турбіни; якості суміші; температурних режимів впуску й випуску; детонаційної; швидкісної; динамічної; передатної; роботи кожного диференціала окремо; роботи електронних диференціалів.

Відсутність шини (колеса) під час тестування виключає її боковий ухил, не виникає опір коченню, немає ризику сходу машини зі стенда на високій швидкості, усуваються дестабілізуючі фактори (температура шини, тиск, зчеплення) які змінюються під час тестування. Крім того, відсутність інерції колеса й бігового барабана дають змогу прискорювати транспортний засіб за обраним законом та підвищити чутливість порівняно з іншими традиційними динамометрами. Це дає змогу реєструвати малі структурні відхилення при зміні зазору свічі запалювання, марки рідини у двигуні й трансмісії, навантаження від генератора при включених фарах.

Комплексний контроль вихідних характеристик (функціональних діагностичних параметрів) автомобіля в обсязі експрес-діагностики проводиться за допомогою переліку спеціалізованих приладів під час випробувань автомобіля на спеціальних або багатофункціональних стендах.

Засоби експрес-діагностики, поєднані мережею центрального комп'ютера, утворюють інформаційно-вимірювальні діагностичні комплекси (рис. 3.9).



а

б

Рисунок 3.9 – Пости експрес-діагностики:
а – стаціонарний діагностичний комплекс;
б – мобільний діагностичний комплекс

За результатами експрес-діагностики локалізується несправна система, агрегат чи вузол та призначається місце й умови подальшої (поглибленої) діагностики.

Способи діагностики електричних систем, як і неелектричних, можна класифікувати за загальними ознаками (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Класифікація способів діагностування електричних систем

Діагностичні параметри електричних та електронних пристроїв та систем можна поділити умовно на декілька груп: параметри постійних значень, параметри діючих значень, часові параметри, параметри форми. Для електричних систем здебільшого альтернативними ДП є струм споживання, електричний опір кола живлення, напруга на ділянках кола. Для контролю цих параметрів на борту автомобіля застосовують універсальні вимірювальні прилади.

До приладів оцінки параметрів постійних значень належать вимірювачі електричного опору R (омметри), постійної напруги U (вольтметри) та струму I

(амперметри). Омметри використовуються для «холодної» перевірки кіл та дискретних елементів схеми. Вольтметри та амперметри використовують для оцінки діагностичних параметрів при ввімкнутому об'єкті діагностування («гаряча» перевірка кіл). Діагностичні параметри діючих значень, до яких належать напруга змінного струму та змінний струм, вимірюють амперметрами та вольтметрами змінного струму. Функції перелічених вимірювальних приладів зазвичай реалізовані в комбінованих приладах універсального (мультиметри) або автомобільного (авто тестери) застосування.

Часові параметри електричних сигналів (частота f , тривалість імпульсу t та їхня шпаруватість q , дають змогу оцінити роботу задавальних, формувальних і релаксаційних кіл, а також каскадів електронних пристроїв систем керування; вимірюються за допомогою частотомірів та осцилографів. Параметри форми сигналу (амплітуда, крутизна фронтів, нерівність вершини імпульсу), використовуються для оцінити значень розподілених реактивних параметрів імпульсних кіл (електронні блоки, система запалювання), вимірюються за допомогою осцилографів.

Фазовий зсув між періодичними гармонійними сигналами однакової частоти (напруги та струму) характеризує реактивну складову опору кола змінного струму, вимірюється за допомогою осцилографів. В імпульсних пристроях фазовий зсув періодичних сигналів взагалі розглядається як функціональний параметр. Інформація про фазові зсуви у робочих процесах ДВЗ зазвичай надається за кутом положення колінчастого валу α (кути випередження запалювання, подачі палива, випуску газів) і дає змогу оцінити оптимальність функціонування його систем (вимірюються за допомогою стробоскопів).

В електричних системах ТЗ застосовуються перетворювачі електричної енергії різного призначення (прилади освітлювання, нагрівачі, актуатори тощо), тому до переліку діагностичних параметрів можна додати неелектричні параметри: сили та напрямку світлового пучка головних фар, температуру нагрівальних елементів, робочі зазори тощо. До переліку методів вимірювання у такому разі потрібно додати відповідно оптоелектричні, термоелектричні, тензометричні тощо, а до переліку діагностичних приладів – реглоскоп, термометр, динамометр тощо.

Оскільки в мехатронних системах електричні системи пов'язані з механічними, можна вважати, що вихідні параметри мехатронної системи (механічної частини) непрямо визначаються через вихідні, а відповідно і структурні параметри електричної частини. Стосовно мехатронної системи ДВЗ, таке ствердження трактується стосовно тягово-швидкісних характеристик на виході трансмісії (рис. 3.11).

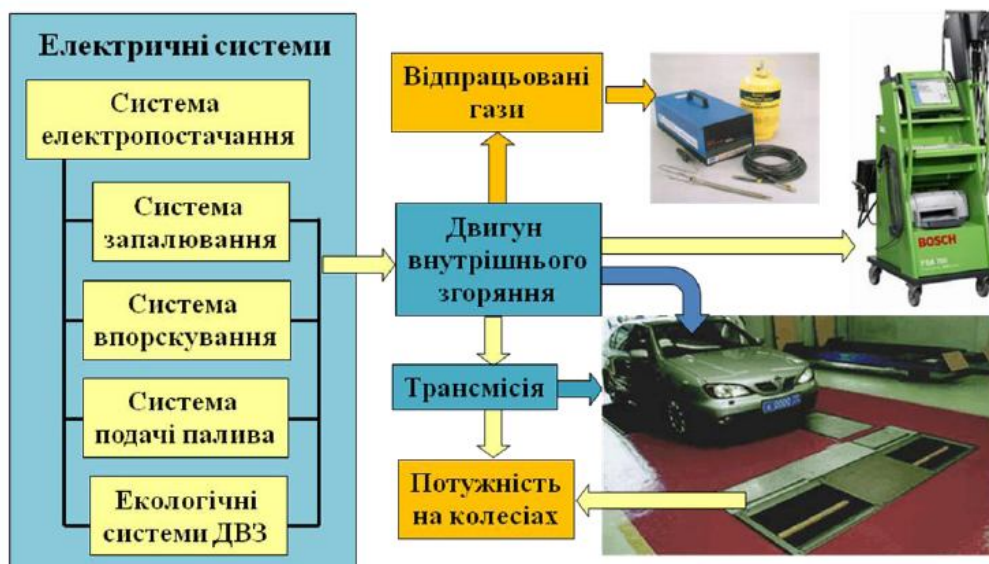


Рисунок 3.11 – Структура комплексної діагностики

Отже, для діагностування електричних систем автомобіля, окрім універсальних приладів вимірювання електричних параметрів, використовують і засоби діагностики неелектричних систем, що застосовуються на діагностичних постах і лініях (регласкоп, мотор-тестер, тяговий стенд).

Після локалізації несправної системи, пристрою або агрегата в автомобілі чи за умов статичності, їх скеровують в електровідділення для усунення несправності (технічне обслуговування та заміна структурних елементів) або для відновлення агрегата (перемотування обмоток, проточування якорів). У першому випадку застосовуються спеціальні стенди та спеціалізовані прилади агрегатної діагностики, у другому – стаціонарне промислове устаткування. Комп'ютерна діагностика мехатронних систем під час їздових випробувань ТЗ здійснюється за допомогою портативних діагностичних сканерів.

Контрольні питання

1. Проаналізувати узагальнену структуру діагностичних систем.
2. Комп'ютеризовані контрольно-вимірювальні комплекси.
3. Класифікація способів діагностування електричних систем.
4. Пости експрес-діагностики
5. Структура комплексної діагностики.

ЛЕКЦІЯ 4

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ ДІАГНОСТИКИ

4.1 Головні поняття та терміни теорії надійності

Теорія надійності встановлює закономірності виникнення відмов у різних виробках, вивчає вплив зовнішніх та внутрішніх впливів на процеси в них, закладає основи розрахунку надійності та прогнозування відмов, визначає способи підвищення надійності у процесі конструювання, виготовлення та експлуатації виробів, встановлює методика збору, обліку та аналізу статистичних відомостей, що характеризують надійність.

Предмет теорії надійності становить сукупність математичних методів, що базуються на теорії імовірності та математичній статистиці, організаційних і технічних заходів.

Під час аналізу та оцінки надійності конкретні технічні пристрої називаються узагальненим поняттям «об'єкт».

Об'єкт – це предмет певного цільового призначення, що розглядається в періоди проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження та випробувань на надійність. Об'єктами можуть бути системи та їхні елементи, зокрема технічні вироби, пристрої, апарати, прилади, їхні складники, окремі деталі тощо.

Надійність – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта та умов його застосування може включати:

- безвідмовність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- збережаність, або поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту [6, 7].

Ремонтпридатність – властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до підтримання та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування та ремонту.

Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції під час та після зберігання та транспортування.

Об'єкт може перебувати в таких станах:

1) *справний стан* – стан об'єкта, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної документації;

2) *несправний стан* – стан об'єкта, при якому він не відповідає хоч би одній з вимог нормативно-технічної документації;

3) *працездатний стан* – стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації;

4) *непрацездатний стан* – стан об'єкта, при якому значення хоч б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (чи) конструкторської (проектної) документації;

5) *граничний стан* – стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація недопустима або недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе або недоцільно.

Для опис різних пошкоджень об'єктів використовуються такі терміни:

1) *дефект* – кожна невідповідність властивостей об'єкта встановленим вимогам.

2) *ушкодження* – подія, що полягає в порушенні справного стану об'єкта при збереженні працездатного стану.

3) *відмова* – подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Розрізняють такі типи відмов:

- ресурсна відмова, у наслідок якої об'єкт досягає граничного стану;
- незалежна відмова, що не обумовлюється іншими відмовами;
- залежна відмова;
- раптова відмова;
- поступова відмова;
- збій – відмова, що самоусувається, або одноразова відмова, що усувається шляхом втручання оператора;
- явна відмова (виявляється візуально);
- прихована відмова;
- конструктивна відмова;
- виробнича відмова;
- експлуатаційна відмова.

Часові поняття, що використовуються в теорії надійності.

1. *Напрацювання* – тривалість або об'єм роботи об'єкта. Напрацювання може бути як безперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометраж пробігу тощо), так і дискретною величиною (кількість робочих циклів, запусків).

2. *Напрацювання до відмови* – напрацювання об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.

3. *Напрацювання між відмовами* – напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

4. *Час відновлення* – тривалість відновлення працездатного стану об'єкта.

5. *Ресурс* – сукупне напрацювання об'єкта від початку його експлуатації або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

6. *Термін служби* – календарна тривалість експлуатації від початку експлуатації об'єкта або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан [6, 7].

7. *Показник надійності* – кількісна характеристика одного або декількох властивостей, що становлять надійність об'єкта.

Розрізняють такі головні показники надійності:

1. *Одиничний показник надійності* – показник надійності, що характеризує одну з властивостей, що становлять надійність об'єкта.

2. *Комплексний показник надійності* – показник надійності, що характеризує декілька властивостей, які становлять надійність об'єкта.

3. *Розрахунковий показник надійності* – показник надійності, значення якого визначаються розрахунковим методом

4. *Експериментальний показник надійності* – показник надійності, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними випробувань.

5. *Експлуатаційний показник надійності* – показник надійності, точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними експлуатації.

4.2 Методи прогнозування надійності. Класифікація та загальна характеристика

На сьогодні в різних яферах науки та техніки існує досить багато методів прогнозування показників надійності, що відрізняються сукупністю розв'язуваних завдань і особливостями застосовуваного математичного апарату.

За обсягом інформації, використовуваної для прогнозу, ці методи можна розподілити на три групи:

– методи експертних оцінок, що застосовуються в тих випадках, коли

відсутня достовірна інформація про об'єкт і дані про зміни його стану за час експлуатації;

– методи, засновані на екстраполяції та використовуються в тих випадках, коли є достатньо повні дані, але невідомі загальні закономірності зміни стану об'єкта за час експлуатації;

– методи моделювання, які використовуються при наявності достатнього обсягу статистичних даних про зміну стану однотипних об'єктів у процесі експлуатації.

На сьогодні найпоширенішими під час прогнозування технічного стану об'єктів є методи другої групи.

Основою для прогнозування технічного стану в цих методах є аналітичне прогнозування, при якому за багатовимірним вектором станів $S (s_1, s_2, \dots, s_n)$ або діагностичних сигналів $X (x_1, x_2, \dots, x_m)$, певних або вимірних у моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_k$, необхідно визначити їх значення в наступні моменти часу $t_j (j = k + 1, \dots, k + l)$.

Аналітичне прогнозування стану технічних об'єктів ґрунтується на об'єктивному існуванні певної тенденції в зміні параметрів їхнього стану або діагностичних сигналів під час експлуатації, головні закономірності якої можна охарактеризувати деякою часовою функцією. При цьому вважають, що ця залежність, звана трендом (trend, англ. – тенденція), що виражає усереднену в часі для певного періоду спостереження тенденцію, може бути екстрапольована на наступні періоди часу.

Отже, завдання прогнозування технічного стану об'єкта аналітичними методами полягає в отриманні масиву ретроспективних значень прогнозованого параметра $X (t_i)$, його аналізі та виділення тренда у вигляді апроксимуючої тимчасової функції, визначенні прогнозованої величини параметра $X (t_j)$ і оцінці точності прогнозу.

Знаходження функції регресії $f (t) = x (t)$, що апроксимує характер зміни параметра (процесу) у часі, грає важливу роль у завданні прогнозування, оскільки визначає фактично результати екстраполяції тренда.

Для вибору виду апроксимуючої функції використовуються різні методи, зокрема метод послідовних різниць, що визначає ступінь апроксимуючого полінома; а також – критеріальні методи, засновані на оцінці критерію близькості фактичної кривої до розрахункової.

4.3 Урахування питань надійності під час проектування та виробництва

На противагу пристроям радіоелектроніки й автоматики електричні машини лише зрідка допускають підвищення надійності за допомогою схемних рішень. Хоча вибір типу та схеми обмотки, кількості пазів, провідників у пази тощо, надає певний вплив на властивості машини стосовно її безвідмовності та довговічності. Однак головним шляхом цих властивостей є підвищення якості проектування та виготовлення. Недоліки конструкції відображаються переважно на довговічності, тоді як дефекти технології – на інтенсивності раптових і приробіткових відмов.

Забезпечення необхідних характеристик машини є головним завданням проектування. Але під час її вирішення потрібно також проводити попередню оцінку конструкційної надійності машини. Це доцільно виконувати в три етапи.

На першому етапі проводиться розрахунок і порівняння показників надійності для різних варіантів виконання машини й вибирається варіант оптимальний з усякого погляду. На цій стадії для розрахунку не потрібно ще знати точних значень показників надійності окремих елементів машини, оскільки проводиться лише порівняльна оцінка розглянутих варіантів [6, 7].

На другому етапі виконується поглиблене дослідження надійності обраного варіанта, з тим щоб забезпечити виконання заданих умов. При цьому потрібно вже знати точне значення показників надійності елементів. Виробництво сучасних електричних машин здебільшого має серійний характер, що повідомляє машинам кожної серії значний ступінь подібності й полегшує екстраполяцію показників надійності на нові зразки. Кількісні показники надійності комплектуючих виробів повинні бути видані постачальником.

Третій етап контролю надійності включає випробування дослідних зразків і порівняння результатів з розрахунковими значеннями. Практично цей етап реалізуємо лише для машин малої потужності, оскільки випробування на надійність великих машин неприйнятні з економічних міркувань. Результати розрахунків і випробувань дають змогу вносити відповідні корективи в конструкцію, матеріали й обмотувальні дані остаточного варіанта виконання машини.

Найважливішими засобами підвищення надійності електричної машини є спрощення її конструкції та застосування для її виготовлення якісних активних і конструкційних матеріалів.

Водночас необхідно забезпечити також збереження на належному рівні та інших техніко-експлуатаційних показників: питомої витрати активних і конструкційних матеріалів (на одиницю потужності), мінімальних габаритів і вартості. Ці вимоги суперечать умовам вибору засобів для підвищення

надійності. Тому під час проектування необхідний детальний аналіз всіх заходів для отримання заданої надійності машини при мінімальних вагових і габаритних показниках, а також – належних її пускових і робочих характеристик.

Інакше кажучи, у процесі проектування та виготовлення електричної машини необхідно прагнути до виконання таких головних вимог:

- максимальне спрощення конструкції машини загалом, а також її вузлів і деталей;

- вибір електромагнітних навантажень з урахуванням як вимог отримання заданої надійності, так і забезпечення мінімальних вагових і габаритних показників;

- зменшення робочої температури машини шляхом застосування, у разі необхідності й можливості, належних коштів для її охолодження;

- усунення вібрацій машини в діапазоні робочих швидкостей обертання шляхом вибору належних розмірів корпусу та інших частин і ретельної балансування ротора;

- застосування для виготовлення машини якісних активних і конструкційних матеріалів, особливо теплостійких корпусної ізоляції та обмотувальних проводів;

- вдосконалення технології виготовлення машини з належною організацією поопераційного контролю окремих її деталей і автоматизація виробництва;

- ретельне проведення типових випробувань макетних і дослідних зразків на відповідність технічним вимогам за надійністю;

- розробка технічних умов, норм та інструкцій із монтажу, ремонту і експлуатації.

Завдання надійності. Теорія надійності слугує науковою основою діяльності лабораторій, відділів, бюро та груп надійності на підприємствах, у проектних, науково-дослідних і експлуатаційних організаціях. Математичний апарат теорії надійності заснований на таких розділах сучасної математики, як теорія ймовірностей і математична статистика, теорія випадкових процесів, теорія масового обслуговування, математична логіка, теорія графів, теорія оптимізації, теорія експертних оцінок, теорія великих систем

З проблемою надійності в електроенергетиці пов'язані такі практичні завдання [3–5]:

- статистична оцінка та аналіз надійності діючого обладнання та установок;

- прогнозування надійності обладнання та установок;

- нормування рівня надійності;

- випробування на надійність;
- розрахунок і аналіз надійності;
- оптимізація технічних рішень щодо забезпечення надійності у процесі проектування, створення та експлуатації електротехнічного обладнання, установок, систем;
- економічна оцінка надійності.

Теорія надійності вводить у практику інженерного дослідження кількісні оцінки, які дають змогу:

- встановлювати вимоги та нормативи надійності обладнання для установок і систем;
- порівнювати різні види обладнання, установок і систем їхньої надійності;
- розраховувати надійність установок за надійністю їхніх елементів;
- оптимізувати величину необхідного резерву та структуру технічних об'єктів;
- виявляти найменш надійні елементи обладнання, установок і систем;
- оцінювати терміни служби обладнання та установок.

Проблема аналізу й розрахунку надійності систем електропостачання (СЕС) і електроенергетичних систем (ЕЕС) пов'язана з вирішенням низки теоретичних і практичних завдань.

Для цього необхідно:

- вибрати міру надійності;
- дати математичний опис явищ, пов'язаних з ненадійною роботою обладнання та всієї установки або системи загалом;
- розробити математичну модель взаємозв'язку окремих явищ, що визначають виникнення пошкоджень і порушень роботи установки та її відновлення як випадковий процес;
- дати пропозиції щодо врахування надійності в моделях прийняття технічних рішень у проектних і експлуатаційних завданнях [6, 7].

Контрольні питання

1. Предмет та об'єкт надійності. Дайте визначення.
2. Які властивості має надійність? Дайте характеристику кожній з них.
3. Методи прогнозування надійності. Класифікація та загальна характеристика.
4. Проаналізувати часові поняття, що використовуються в надійності.
5. Як враховуються питання надійності у процесі проектування та виробництва транспортних засобів?