

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних робіт

із навчальної дисципліни

«МЕТОДИ ТА АПАРАТУРА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ
СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами))*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2022

Методичні рекомендації до проведення практичних робіт із навчальної дисципліни «Методи та апаратура технічної діагностики систем електричного транспорту» (для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, спеціальності 275 Транспортні технології (за видами)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Вячеслав Шавкун. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 35 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. Вячеслав Шавкун

Рецензент

А. В. Коваленко, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол

№ 2 від 19.09.2022

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Основні поняття і визначення діагностики систем електричного транспорту.....	6
2 Фізичні основи прогнозування технічного стану систем електричного транспорту	12
3 Використання теорії імовірності при вирішенні практичних задач діагностування. Проста формула Байєса.....	15
4 Сучасні мобільні станції діагностики. Встановлення діагнозу на основі статистичного методу Байєса.....	17
5 Імовірність безвідмовної роботи. Напрацювання на відмову.....	25
6 Завдання і функції діляниць діагностування. Планування діляниць діагностики.....	29
7 Визначення економічної ефективності від впровадження засобів діагностики.....	32
Список рекомендованих джерел.....	34

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Методи та апаратура технічної діагностики систем електричного транспорту» є формування у здобувачів узагальненої системи знань про методи, засоби та алгоритми діагностики систем електричного транспорту.

Головні завдання вивчення дисципліни «Методи та апаратура технічної діагностики систем електричного транспорту»:

- вивчення головних положень діагностики систем електричного транспорту;
- оволодіння базовими принципами формування діагностичної інформації про стан системи;
- оволодіння головними характеристиками процесів, що використовуються при діагностиці технічних об'єктів;
- освоєння методів діагностики електромехатронних систем;
- оволодіння методикою побудови алгоритму діагностики вузлів та агрегатів;
- набуття навичок використання основних положень діагностики при визначенні технічного стану вузлів та механізмів.

Цей курс включає лекційний матеріал, практичні заняття та самостійну роботу.

Лекційний матеріал є теоретичною основою діагностування систем електричного транспорту; опис методів та характеристик, що використовуються при діагностуванні; основні закономірності формування та методи отримання діагностичної інформації; принципи і методи діагностування обладнання унікальних енергетичних об'єктів і транспортних систем тощо.

Практичні заняття – це зв'язуючий ланцюг теорії та практики, їх мета – поглибшати та закріпити теоретичні знання, які отримують здобувачі на лекціях. Досягнення цієї мети визначається практичним рішенням задач пов'язаних із лекційним матеріалом.

Практичні заняття з навчальної дисципліни «Методи та апаратура технічної діагностики систем електричного транспорту» призначені:

- для удосконалення і закріплення знань, які одержали студенти на лекційних заняттях;
- оволодіння здобувачами визначеними уміннями та навичками вирішення виробничих завдань та проведення практичних розрахунків;
- надання здобувачам допомоги щодо своєчасного та якісного виконання індивідуальних завдань.

На практичних заняттях розглядаються варіанти розв'язання задач для засвоєння лекційного матеріалу та приклади використання методів для діагностування систем електричного транспорту та особливості використання теоретичних знань.

Використання на практиці знань з цієї дисципліни пов'язане з розумінням методів та оптимального їх застосування при діагностуванні систем рухомого складу та основного обладнання, з використанням підходів та методів діагностування як систем в цілому, так і окремих вузлів.

Поточний контроль дозволяє виконати перевірку засвоєння здобувачами навчального матеріалу дисципліни. Він може здійснюватися у вигляді вибіркового або фронтального опитування, індивідуальної бесіди, перевірки конспектів, курсових проєктів, завдань до самостійної роботи, тестування тощо.

Під час поточного контролю викладач може оцінити індивідуальні якості та здібності здобувачів. Це додає навчальній та виховній роботі цілеспрямованості і конкретності. До цього поточний контроль стимулює навчальну діяльність здобувачів, виховує відповідальність і ритмічність у роботі.

Підсумковий контроль є необхідним для перевірки якості виконання навчальної програми дисципліни за семестр і проводиться у вигляді екзамену.

З метою розв'язання питань, які виникають у здобувачів під час підготовки до екзамену, розширення і поглиблення знань за окремими питаннями та для надання методичної допомоги при отриманні правильних навичок самостійної роботи проводяться індивідуальні та групові консультації за розкладом.

Під час індивідуальних консультацій викладач підводить здобувачів до самостійної відповіді на незрозумілі питання.

Сучасна система оцінювання знань разом із засобами викладання конкретних дисциплін потребує значних змін. З метою подолання накопичених останнім часом недоліків запропоновано модульну систему організації навчального процесу і модульно-рейтинговий контроль знань здобувачів.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Безперервне ускладнення технічних об'єктів і зростання ступеня автоматизації процесу управління висувають на передній план проблему оптимальної організації експлуатації складних технічних об'єктів. Важливу роль при цьому відводять визначенню стану об'єктів, який унаслідок дії зовнішніх і внутрішніх чинників змінюється з часом. Знання стану технічних об'єктів у будь-який момент часу дозволяє операторові використовувати їх оптимальним чином, тобто з найбільшою ефективністю. Знання характеру і моменту змін, що відбуваються в об'єкті, дозволяє операторові в найкоротший час здійснити ремонт і тим самим підвищити надійність об'єкту. Знання стану об'єкту, а також характеру змін робить моральний вплив на оператора, підвищуючи упевненість в правильності схвалюваних рішень.

Рішенням усіх питань, пов'язаних з визначенням стану технічних об'єктів і характеру його зміни з часом, займається технічна діагностика.

Технічна діагностика – наука про методи і засоби розпізнавання технічного стану і виявлення несправностей (дефектів) виробів.

Технічне діагностування – це процес розпізнавання стану об'єкту, кінцевим результатом якого служить висновок про технічний стан об'єкту, тобто технічний діагноз: тяговий електричний двигун справний, в обмотці є виткове замикання, ізоляція зволожена тощо.

Діагностичні або контрольовані параметри (ознаки) – це характеристики об'єкту, використовувані для визначення його технічного стану. Визначальні діагностичні параметри – такі, які дають якнайповніші відомості про працездатність об'єкту, оцінюючи його стан в цілому (наприклад, температура нагріву двигуна характеризує його загальний стан). Допоміжні параметри оцінюють лише окремі властивості об'єкту або місце несправності (наприклад, опір ізоляції характеризує лише стан електричної частини електрообладнання).

Спосіб (алгоритм) діагностування – це сукупність і послідовність дій (експериментів), що дозволяють визначити технічний стан об'єкту діагностування. При експерименті на об'єкт подають деяку дію і вимірюють діагностичні параметри або контролюють діагностичні ознаки. За наслідками спостережень визначають стан об'єкту. Наприклад, випробовуючи ізоляцію підвищеною напругою і спостерігаючи за струмом витоку, роблять висновок про її справність.

Системи діагностування (далі – СД) – це сукупність об'єкта, способів і засобів діагностування. За призначенням і видом вирішуваного діагностичного

завдання їх умовно розділяють на профілактичні, диференціальні, функціональні і прогнозуючі.

Профілактичні СД призначені для виявлення у процесі експлуатації дефектних деталей і елементів, що виробили свій ресурс, тобто тих елементів об'єкту, параметри яких близькі до гранично допустимих значень (для виявлення слабких місць об'єкту без виведення його в ремонт). З цією метою систематично проводять планові профілактичні випробування.

Диференціальні СД служать для виявлення окремих несправностей при плановому технічному обслуговуванні і ремонті електрообладнання. За отриманими результатами уточнюють вид необхідного ремонту (поточний або капітальний) і склад його операцій. Для диференціального діагностування застосовують прилади загального і спеціального призначення. Прості омметри (мегомметри) дозволяють виявляти несправності типу обрив, замикання в дротах, контактах, ізолюючих і інших елементах електрообладнання. Спеціальні прилади контролю вологості (ПКВ) дозволяють визначити ступінь зволоження ізоляції, а прилади типу високочастотного вимірника (ВЧВ) – виткові замикання в обмотках електричних машин. Крім того, диференціальне діагностування проводять за допомогою таблиць характерних несправностей, які є у довідковій літературі або в технічному описі конкретного обладнання.

Функціональні СД призначені для оцінки якості функціонування і працездатності шляхом визначення комплексу експлуатаційних властивостей (характеристик) обладнання при контрольних, типових або спеціальних випробуваннях і порівняння їх з номінальними або нормованими значеннями. Наприклад, при контрольних випробуваннях електричного двигуна визначають опір обмоток постійного струму, опір ізоляції, струм і втрати холостого ходу, напругу і втрати короткого замикання. Якщо зміряні параметри знаходяться в межах встановлених допусків, то двигун визнається працездатним.

Прогнозуючі СД дозволяють передбачити стан виробу у майбутньому і визначити імовірний момент появи відмови. Для цього оцінюють залишковий ресурс елементів на підставі інформації про закономірності зміни параметрів в період, передуючий прогнозу. Наприклад, для підшипника відомі фактичне і граничне значення зазору. Розділивши різницю цих значень на швидкість зношування підшипника, отримуємо його залишковий ресурс, по якому легко визначити очікувану дату відмови підшипника. Проте надійне прогнозування освоєне лише для простих випадків. При експлуатації обладнання створення прогнозуючих СД пов'язано ряд методичних труднощів, обумовлених складністю процесів старіння і зносу.

Певною мірою прогнозування реалізують при профілактичному випробуванні, оскільки статистичні дані підтверджують високу імовірність

безвідмовної роботи до чергового випробування того обладнання, яке успішно витримало поточне профілактичне випробування.

Один з головних напрямів подальшого вдосконалення технічної експлуатації електричного транспорту – більш ширше впровадження у практику СД. Уже зараз в цілому профілактична система передбачає для окремих видів обладнання у складі робіт з технічного обслуговування контроль з метою прогнозування його стану до наступного технічного обслуговування. У подальшому СД дозволить перейти до прогресивнішої післяоглядової експлуатації [1,6].

Технічна діагностика представляє теорію, методи та засоби виявлення і пошуку дефектів об'єктів технічної природи. Основне призначення технічної діагностики полягає у підвищенні надійності об'єктів на етапі їх виробництва, експлуатації і зберігання. Діагностичне забезпечення дозволяє підвищити достовірність правильного функціонування об'єктів, збільшити термін їх служби і напрацювання на відмову. Вимоги, які повинні задовольняти виготовлений (новий), або в експлуатації об'єкт, визначають відповідною нормативно-технічною документацією. Об'єкт, що задовольняє усім вимогам нормативно-технічної документації, є справним або говорять, що він знаходиться у *справному технічному стані*.

Для умов експлуатації важливим є поняття *працездатного технічного стану об'єкта*. Об'єкт *працездатний*, якщо він може виконувати *усі задані функції* із збереженням значень заданих параметрів (ознак) у необхідних межах.

Правильно функціонуючим є об'єкт, значення параметрів (ознак) якого в момент застосування об'єкта за призначенням знаходяться у необхідних межах.

Несправний і непрацездатний технічний стан, а також *технічний стан неправильного функціонування* об'єкта можуть бути деталізовані шляхом зазначення відповідних дефектів, що порушують справність, працездатність або правильність функціонування і що відносяться до однієї або декількох складових частин об'єкта, або до об'єкту в цілому.

Виявлення та пошук дефектів є процесами визначення технічного стану об'єкта і їх об'єднують загальним терміном «діагностування»; діагноз є результат діагностування.

Діагностування технічного стану будь-якого об'єкта здійснюється тими або іншими *засобами діагностування*. Засоби можуть бути апаратними або програмними; в якості засобу діагностування може також виступати людина-оператор, контролер, наладчик. Засоби й об'єкт діагностування, що взаємодіють між собою, утворюють *систему діагностування*. Розрізняють

системи *тестового* і *функціонального діагностування*. У системах тестового діагностування на об'єкт подаються спеціально організовані *тестові впливи*.

У системах функціонального діагностування, які працюють у процесі застосування об'єкта за призначенням, подача тестових впливів, як правило, виключається; на об'єкт надходять тільки *робочі впливи*, передбачені його алгоритмом функціонування.

Система діагностування у процесі визначення технічного стану об'єкта реалізує деякий *алгоритм (тестового або функціонального) діагностування*. Алгоритм діагностування в загальному випадку складається з певної сукупності так званих *елементарних перевірок* об'єкта, а також правил, що встановлюють послідовність реалізації елементарних перевірок, і правил аналізу результатів останніх. Кожна елементарна перевірка визначається своїм тестовим або робочим впливом, що подаються або надходять на об'єкт, і *складом контрольних точок*, з яких знімаються відповіді (реакція) об'єкта на цей вплив.

При розробці систем діагностування повинні вирішуватися завдання вивчення об'єкта, його можливих дефектів і ознак проявлення, вибору або побудови моделі поведінки справного об'єкта та його несправних модифікацій. Уточнимо поняття «управління», «контроль» і «діагностування». Під *управлінням* розуміють процес вироблення і здійснення цілеспрямованих (керуючих) впливів на об'єкт.

Контроль є процес збору і обробки інформації з метою визначення подій. Якщо подією, є факт досягнення деяким параметром об'єкта певного заданого значення (уставки), то говорять про контроль параметрів. Якщо фіксуємо подією є встановлення факту перебування об'єкта в справному або несправному, працездатному або непрацездатному стані, або у стані правильного чи неправильного функціонування, то можна говорити про контроль технічного стану об'єкта.

Системи тестового діагностування являються системами управління, оскільки в них реалізується вироблення і здійснення спеціально організованих тестових (тобто керуючих) впливів на об'єкт з метою визначення технічного стану останнього. Системи функціонального діагностування є типовими системами контролю (в широкому сенсі цього слова), що не вимагають подачі на об'єкт цілеспрямованих впливів.

З викладеної точки зору, наприклад, системи, що отримали назву систем неруйнівного контролю, є класом систем тестового діагностування, а віброакустичні системи контролю технічного стану – класом систем функціонального діагностування.

Формалізованою моделлю об'єкта (або процесу) є його опис у аналітичній, графічній, табличній або іншій формі. Для простих об'єктів

діагностування зручно користуватися так званими *явними моделями*, що містять поряд з описом справного об'єкта опис кожної з його несправних модифікацій.

Неявна модель об'єкта діагностування припускає наявність тільки одного опису, наприклад справного об'єкта, формалізованих моделей дефектів і правил отримання по заданому опису і за моделями дефектів описів всіх несправних модифікацій об'єкта.

Моделі об'єктів бувають *функціональні* та *структурні*. Перші відображають тільки виконувані об'єктом (справним або несправним) функції, визначені відносно робочих входів і виходів об'єкта, а другі, крім того, містять інформацію про внутрішню організацію об'єкта, про його структуру. Функціональні моделі дозволяють вирішувати задачі перевірки працездатності і правильності функціонування об'єкта. Для перевірки справності (у загальному випадку) і пошуку дефектів з глибиною більшою, ніж об'єкт у цілому, потрібні структурні моделі.

Моделі об'єктів діагностування можуть бути *детермінованими* та *імовірністними*. До імовірнісного представлення прибігають при неможливості детермінованого опису поведінки об'єкта.

Моделі об'єктів діагностування потрібні для побудови алгоритмів діагностування формалізованими методами.

Побудова алгоритмів діагностування полягає у виборі такої сукупності елементарних перевірок, за результатами яких у задачах з виявлення дефектів можна відрізнити справний або працездатний стан, або стан правильного функціонування об'єкту від його несправних станів, а також у задачах пошуку дефектів розрізнити несправні стани.

При побудові алгоритмів діагностування за явними моделями об'єктів елементарні перевірки вибирають шляхом попарного порівняння тих описів, технічні стани яких потрібно розрізнити. У задачах тестового діагностування склади контрольних точок об'єкта часто визначені попередньо, і вони однакові для всіх елементарних перевірок. У таких випадках вибирають тільки вхідні впливи елементарних перевірок – це задачі *побудови тестів*. У задачах функціонального діагностування, навпаки, вхідні впливи елементарних перевірок визначені заздалегідь робочим алгоритмом функціонування об'єкта та вибору підлягають тільки склади контрольних точок.

Для вирішення одного і того самого завдання діагностування (наприклад, перевірки справності) можна побудувати декілька алгоритмів, які відрізняються або складом елементарних перевірок, або послідовністю їх реалізації.

Необхідність збільшення виробітку на операціях діагностування, скорочення часу виявлення, пошуку та усунення несправностей, зменшення обсягів і складності засобів діагностування викликає інтерес до розробки

методів побудови *оптимальних алгоритмів*, які потребують мінімальних витрат на їх реалізацію.

Засоби діагностування можуть бути *апаратними* або *програмними*, *зовнішніми* або *вбудованими*, *ручними*, *автоматизованими* або *автоматичними*, *спеціалізованими* або *універсальними*.

Засоби функціонального діагностування є, як правило, вбудованими і тому розробляються і створюються одночасно з об'єктом.

Рівень контролепридатності об'єктів визначає ступінь ефективності розв'язання задач тестового діагностування їх технічного стану, впливає на виробку процесу їх виробництва та якість виробів, що випускаються, а при експлуатації рівень контролепридатності об'єктів визначає їх коефіцієнти готовності і затрати, пов'язані з ремонтом.

Контролепридатність забезпечується перетворенням структури об'єкта контролю до вигляду, що зручний для діагностування. Для цього в об'єкт ще на етапі його проектування вводять додатково вбудовані засоби тестового діагностування.

Задачі діагностування – це задачі визначення технічного стану, в якому знаходиться об'єкт в даний момент часу. Задачі діагностування – прогнозування технічного стану, в якому об'єкт опиниться в деякий майбутній момент часу. Задачі першого типу формально слід віднести до технічної діагностики, а другого типу – до технічної прогностики.

Є ще третій тип задач – визначення технічного стану об'єкта в деякий момент в минулому (*задачі технічної генетики*). Задачі технічної генетики виникають, наприклад, у зв'язку з розслідуванням аварій та їх причин, коли технічний стан об'єкта під час контролю відрізняється від стану, в якому він був у минулому, у результаті появи першопричини, що викликали аварію. Ці задачі вирішуються шляхом визначення імовірних передісторії, які ведуть у даний стан об'єкта. До задач технічної прогностики відносяться, наприклад, задачі, пов'язані з визначенням терміну служби об'єкта або з призначенням періодичності його профілактичних перевірок і ремонту. Ці задачі вирішують шляхом визначення можливих або імовірних еволюції стану об'єкта, що починаються в даний момент часу. Рішення задач прогнозування вельми важливо, зокрема, для організації *технічного обслуговування об'єктів станом* (замість обслуговування по ресурсу). Безпосереднє перенесення методів рішення задач діагностування на задачі прогнозування неможливе через відмінності моделей, з якими доводиться працювати: при діагностуванні моделлю зазвичай є опис об'єкта, у той час як при прогнозуванні необхідна модель процесу еволюції технічних характеристик об'єкта у часі.

Головними показниками якості систем діагностування є гарантовані ними повнота виявлення і глибина пошуку дефектів [1–3].

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Основні напрямки технічної діагностики (мета, завдання, структура).
2. Етапи створення систем технічної діагностики.
3. Постановка завдань технічної діагностики.
4. Використання діагностичних моделей при діагностуванні.
5. Структурні схеми діагностичних моделей у вібродіагностиці.
6. Особливості формування діагностичного сигналу в лінійних системах.

2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Фізико-хімічні процеси зміни властивостей і розмірів деталей і вузлів підпорядковуються певним законам і їх технічний стан можна прогнозувати з певним ступенем точності. Прогнозування технічного стану обладнання, тобто процес передрікання зміни параметрів в майбутньому, є досить важким технічним завданням.

За умовами технології виробництва деталі і вузли рухомого складу, як і інших технічних пристроїв, виготовляють з певними допусками в розмірах, хімічній і структурній властивостях матеріалів. Це також впливає на інтенсивність зносу або старіння деталей і вузлів. Крім цього, на інтенсивність зносу деталей і вузлів обладнання суттєво впливає організація і періодичність технічного обслуговування і поточного ремонту. Якщо технічне обслуговування і ремонти здійснюють нерегулярно або їх зовсім не проводять, то швидкість зносу вузлів і деталей значно збільшується і зноси швидко досягають своїх граничних значень. У результаті всі перераховані вище фактори впливають на імовірність прогнозування роботи обладнання.

Існуючі методи прогнозування не дають можливості передбачати раптові відмови, які характеризуються стрибкоподібною зміною параметрів стану деталі або вузла обладнання до граничного значення. Прогнозувати з певним ступенем точності можна поступові відмови, які характеризуються поступовою зміною параметрів технічного стану і зумовлені зносом або старінням матеріалу деталей або вузлів обладнання. Процеси зносу і старіння деталей і вузлів в основному містять детерміновану (визначальну) і випадкову складові, кожна з яких може мати переважаючий вплив для кожного конкретного випадку, що відбивається на характері процесів зносу або старіння.

Основним завданням прогнозування є визначення залишкового ресурсу елементів систем і агрегатів рухомого складу. Завданнями прогнозування під час експлуатації обладнання є скорочення працездатності і вартості робіт при поточних ремонтах, бо їх проводять тільки за необхідності, тобто при повному вичерпанні ресурсів деталей і вузлів; визначення строків регулювальних і ремонтних робіт, а при повному виробітку ресурсу – строків заміни обладнання; визначення потрібної кількості запасних частин; скорочення строків перебування обладнання в ремонті, бо будуть відомі елементи і вузли, які підлягають ремонту або заміні; встановлення строків (періодичності) проведення діагностування; перевірка якості виконання регулювальних і ремонтних робіт.

Під ресурсом розуміють напрацювання об'єкта від початку експлуатації або її поновлення після ремонту до настання граничного стану, коли подальша експлуатація повинна бути припинена, враховуючи вимоги техніки безпеки або економічні міркування. У техніці найчастіше при визначенні ресурсу користуються такими термінами, як *доремонтний, міжремонтний, залишковий і використаний ресурс*. Доремонтний ресурс характеризується напрацюванням нового обладнання від початку експлуатації до першого ремонту, а міжремонтний – напрацюванням між ремонтами. При прогнозуванні звичайно визначається залишковий ресурс, тобто напрацювання обладнання від моменту діагностування (контролю) до граничного стану, обумовленого технічною документацією. Використаний ресурс характеризується напрацюванням обладнання після виготовлення або ремонту до моменту діагностування (контролю).

Для орієнтовного порівняння технічного стану елементів машини або апарата, які характеризуються різними діагностичними параметрами, можна користуватися поняттям коефіцієнта технічного ресурсу, за допомогою якого оцінюють залишковий ресурс деталі, спряження або вузла. Для параметрів, абсолютні значення яких збільшуються під час експлуатації обладнання, коефіцієнт технічного ресурсу визначають за формулами, поданими в [4–6]:

$$K_p = (P_z - P_6) / (P_z - P_n), \quad (2.1)$$

де P_z – граничне значення параметра; P_n – номінальне значення параметра;

P_6 – вимірне значення параметра. Якщо під час експлуатації значення параметра зменшується, то коефіцієнт залишкового ресурсу визначається виразом

$$K_p = (P_6 - P_z) / (P_n - P_z). \quad (2.2)$$

Для нового елемента вузла або машини $K_p = 1$, а при повному вичерпанні ресурсу $K_p = 0$.

Відмова або загроза відмови звичайно настає з вини однієї-двох деталей або вузла, що пов'язано з нерівномірністю і з різною зносостійкістю деталей або вузлів обладнання. Конструкцією обладнання звичайно передбачається нескладна заміна частини деталей, які швидко зношуються (щіток електричних машин). Після заміни або ремонту деталей, які вичерпали ресурс роботи, машина знову стає працездатною і отримує певний запас часу роботи до наступної загрози втрати працездатності.

Основні способи вирішення завдань прогнозування. Розрізняють такі основні шляхи отримання результатів прогнозу, що об'єднують групи методів прогнозування: коли результат прогнозу визначається в одній розмірності з контрольованими параметрами, тобто метою прогнозування зміни технічного стану об'єкта є отримання значення контрольованого параметра, що характеризує протікання процесу в часі; результат прогнозу визначається імовірністю виходу або не виходу характеристик контрольованих параметрів за певні межі; внаслідок прогнозу контрольований об'єкт зараховують до того або іншого класу технічного стану, який встановлюють наперед за критерієм працездатності або довговічності. Відповідно, є три методи прогнозування: аналітичний, імовірнісний і статистичної класифікації.

Метод аналітичного прогнозування застосовують для завдань, коли зміна контрольованого параметра інерційна в часі і всі зміни поступово накопичуються. Тоді завданням прогнозування є визначення за відомими значеннями функції контрольованого параметра $\Pi(t)$ в минулому і теперішньому величини функції в майбутньому, а також визначення моменту часу, коли параметр досягне свого допустимого значення Π_d .

Метод імовірнісного прогнозування застосовують для завдань, коли необхідно визначити імовірність виходу або не виходу контрольованого діагностичного параметра Π за встановлені межі [6] .

При вирішенні завдань прогнозування методами статистичної класифікації (розпізнавання образів) відомі значення параметра в певні моменти часу зараховують до одного з класів, тобто до свого роду еталону (образу), а потім, враховуючи закономірності зміни параметрів даного класу, вирішують, як буде змінюватися даний параметр в майбутньому. При цьому розподіл значень параметрів на класи може бути часовим (за часом або напрацюванням) або параметричним (за величинами контрольованих параметрів).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Особливості формування діагностичного сигналу в нелінійних системах.
2. Відомості із теорії ймовірності. Логічна сума та логічний добуток події.
3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи блоків при послідовному та паралельному з'єднанні трьох елементів.
4. Визначення ймовірності безвідмовної роботи двох двигунів.

3 ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТІ ПРИ ВИРІШЕННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ ДІАГНОСТУВАННЯ. ПРОСТА ФОРМУЛА БАЙЄСА

Теорія ймовірностей вивчає закономірності випадкових явищ, що часто повторюються.

Подія – явище, котре можливо визначити як таке, що відбулося або не відбулося. Події можуть бути вірогідні або неможливі.

Ймовірністю якоїсь події A називають таке число $P(A)$, котре характеризує можливість виникнення події. Ймовірність вірогідної події вважається такою, що дорівнює 1 , тобто $P(a) = 1$, а неможливої – такою, що дорівнює 0 , тобто $p(\bar{A}) = 0$.

Ймовірність випадкової події знаходиться у межах $0 \leq P(A) \leq 1$.

В інженерній практиці

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (3.1)$$

де m – число спроб, при яких подія A відбулася;

n – загальна кількість виконаних спроб.

За великої кількості спроб статистична ймовірність події наближається до істинної ймовірності події.

Формула Байєса. Розглянемо декілька несумісних (дві разом не відбуваються) подій B_1, B_2, \dots, B_n , що характеризують несправність відповідних вузлів і які створюють повну групу (для неї хоча б одна подія відбулася). Нехай з'являється подія A , що характеризує несправність вузлів B_1, B_2, \dots, B_n .

Із попереднього досвіду експлуатації відома ймовірність відмови вузлів $P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_n)$, а також ймовірність появи ознаки A при несправності окремих вузлів $P(A/B_i)$. Треба визначити, яка ймовірність несправного вузла B_i відносно інших, якщо під час експлуатації з'являється подія A , т.ч. $P(B_i/A)=?$

Для розв'язання задачі розглянемо імовірність одночасної появи ознаки A і несправності (стану) B_i .

Розв'язання. Імовірність одночасної появи ознаки A та події B_i знаходимо за формулою:

$$\begin{aligned} P(A \wedge B) &= P(A) P(B/A) = P(B) P(A/B), \\ P(A \wedge B_i) &= P(A) P(B_i/A) = P(B_i) P(A/B_i). \end{aligned} \quad (3.2)$$

З (3.2) знаходимо:

$$P(B_i/A) = \frac{P(B_i)P(A/B_i)}{P(A)}. \quad (3.3)$$

Встановимо, що імовірність події A – $P(A)$. Оскільки ознака A з'являється тільки якщо є несправність якогось вузла, то ця подія складається з логічної суми окремих подій:

$$A = (A \wedge B_1) \vee (A \wedge B_2) \vee (A \wedge B_3) \vee \dots \vee (A \wedge B_n). \quad (3.4)$$

У зв'язку з припущенням, що може з'явитися тільки одна з можливих подій, отримаємо:

$$P(A) = P(A \wedge B_1) + P(A \wedge B_2) + P(A \wedge B_3) + \dots + P(A \wedge B_n). \quad (3.5)$$

Враховуючи із (3.2), що

$$P(A \wedge B_j) = P(B_j) P(A/B_j), \text{ маємо}$$

$$P(A) = \sum_{j=1}^n P(B_j) P(A/B_j) - \text{формула повної ймовірності події } A. \quad (3.6)$$

Ця формула виражає такий принцип: якщо система має декілька можливих несумісних шляхів переходу до іншого стану, то ймовірність переходу дорівнює сумі ймовірностей реалізації кожного з них (несумісні шляхи – такі, що не можуть реалізуватись одночасно).

Із (3.3) та (3.6) отримаємо формулу Байєса:

$$P(B_i/A) = \frac{P(B_i)P(A/B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(A/B_j)} - \text{формула Байєса.} \quad (3.7)$$

Вона дозволяє визначити імовірність поломки вузла B_i при появі ознаки A через відому імовірність поломки вузла B_i із попередніх досліджень $P(B_i)$ та через імовірність появи ознаки A при поломці вузла B_i теж із попередніх досліджень. У знаменнику (3.7) маємо суму добутку тих же величин, але для всіх вузлів [3].

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Формула Байєса.
2. Постановка завдання розпізнавання образів.
3. Використання міри близькості в теорії розпізнавання образів.
4. Статистичний метод Байєса розпізнавання образів. Узагальнена формула.
5. Прийняття рішення про діагноз методом Байєса.

4 СУЧАСНІ МОБІЛЬНІ СТАНЦІЇ ДІАГНОСТИКИ. ВСТАНОВЛЕННЯ ДІАГНОЗУ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОГО МЕТОДУ БАЙЄСА

Станція призначена для перевірки технічного стану транспортних засобів з використанням засобів технічного діагностування на відповідність вимогам чинних стандартів та нормативних документів щодо умов безпеки руху.

Технічні характеристики мобільної станції діагностування

Параметри чотирьох провідної трифазної мережі електроживлення з допустимими відхиленнями [7,8]:

– напруга електроживлення (мережа змінного струму 50 Гц), 380 В, частота, 50 Гц;

– споживана потужність, не більше, кВт – 16;

– маса станції , не більше, кг – 8 000;

– габаритні розміри, мм:

– в згорнутому положенні – 6 300 × 2 620 × 2 700;

– в робочому положенні 14 640 × 2 620 × 4 400;

Пропускна здатність, транспортних засобів за годину 2–3 одиниці.

Час підготовки станції до роботи, не більше – 30 хвилин.

Загальні характеристики гідросистеми. Параметри чотирьох провідної трифазної мережі електроживлення з допустимими відхиленнями:

– напруга електроживлення 380;

– частота, Гц – 50 ;

– споживана потужність, кВт – 2,2;

– номінальний тиск, МПа – 14;

– тиск спрацьовування запобіжно-скидного клапана, МПа – 16;

– робоча рідина: всесезонне гідравлічне мастило, заливається – 20 л;

– обсяг маслобака, 14 л;

– розміри фільтруючого елемента, мм:

– зовнішній діаметр – 100;

– внутрішній діаметр – 39;

– висота – 200;

- зусилля на штоку гідроциліндра при номінальному тиску, кгс;
- при висуванні – 7 000;
- при засуванні – 3 700.

Вимірювальні прилади, що входять до складу станції об'єднані в єдину систему, з'єднану з ПЕОМ. Складові станції наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік контрольно-вимірювальних приладів

Найменування	Кількість, шт.
1	2
Контейнер	1
Гальмівний стенд СТМ 8000	1
Газоаналізатор «Автотест-02.02»	1
Трубка поліхлорвінілова або аналогічна (внутрішній Ø 5мм, довжина 2 м) для збросу аналізуючої проби і збросу конденсату	2
Обігрівача пробозаборна система	1
Вимірювач димності «Мета-01МП 0.1 ЛТК»	1
Вимірювач параметрів світла фар транспортних засобів «ИПФ-01»	1
Пристрій для визначення світлопропускання скла «ТОНИК»	1
Вимірювач сумарного люфту рульового керування «ИСЛ-М»	1
USB-адаптер ЛТК з кабелем зв'язку з ПЕОМ	1
Подовжувач	1
Кабелі зв'язку з приладами «Автотест», «Мета-01МП», «ЭФФЕКТ», «ИСЛ-М», «ИПФ-01»	5 шт. по 6 м
ПЕОМ типу IBM PC сумісний	1
Програмне забезпечення «Діагностичний контроль»	1
Принтер	1
Прилад для перевірки маркувальних даних вузлів і агрегатів DEX ДЕТЕСТОР	1
Манометр МД-214 ГОСТ 9921	1
Манометр МД-231 ГОСТ 9921	1
Пристрій для вимірювання глибини протектора шин транспортних засобів	1
Дзеркало для огляду номерних агрегатів транспортних засобів	1
Світлофор	1
Рулетка (20 м)	1
Прилад для перевірки достовірності документів «Ультрамаг 122 МЛ»	1

Робота мобільної станції діагностування транспортних засобів.

Принцип дії комплексу обладнання і приладів станції дозволяють проводити перевірку технічних характеристик і стану основних вузлів і агрегатів ТЗ за наступними показниками:

- 1) стан гальмівних систем ТЗ;
- 2) показники зовнішніх світлових приладів;
- 3) сумарний люфт рульового колеса;
- 4) світлопропускання вікон.

Прилади об'єднані в єдину контрольно-вимірювальну систему на базі персональної ЕОМ. Система забезпечує збір, передачу і зберігання вимірювальної інформації, а також оформлення діагностичних карт ТЗ.

На рисунку 4.1 подано загальний вигляд мобільної станції діагностики.

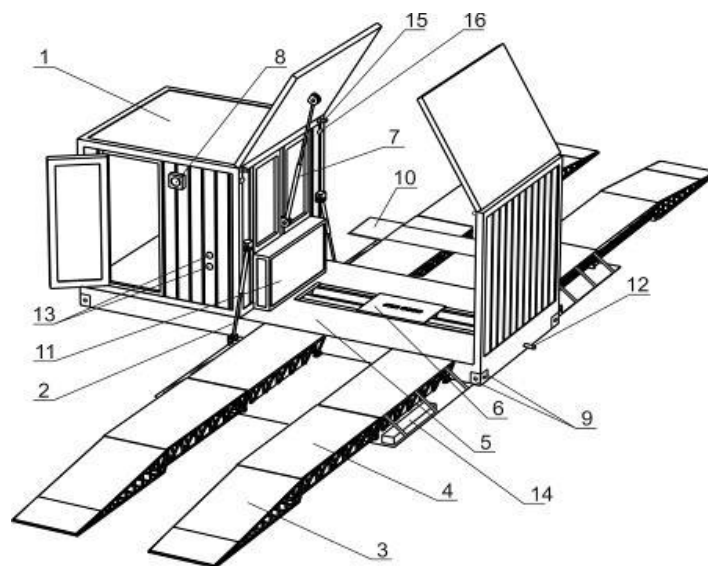


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд мобільної станції діагностики:

- 1 – офісний блок; 2 – гідроциліндри для підйому і опускання апарелей; 3 – наїзд;
4 – апарелі; 5 – виробнича зона; 6 – гальмівний стенд; 7 – гідроциліндри для підйому;
8 – вентилятор; 9 – фітінги; 10 – майданчик для з'їзду; 11 – гідростанції;
12 – штир заземлення; 13 – люк; 14 – важіль для перевірки гальмівного стенду;
15 – фіксатори піднятого положення навісу (4 шт.); 16 – отвори під фіксатори при опущеному навісі (4 шт.)

Основні установочні розміри станції наведені на рисунку 4.2.

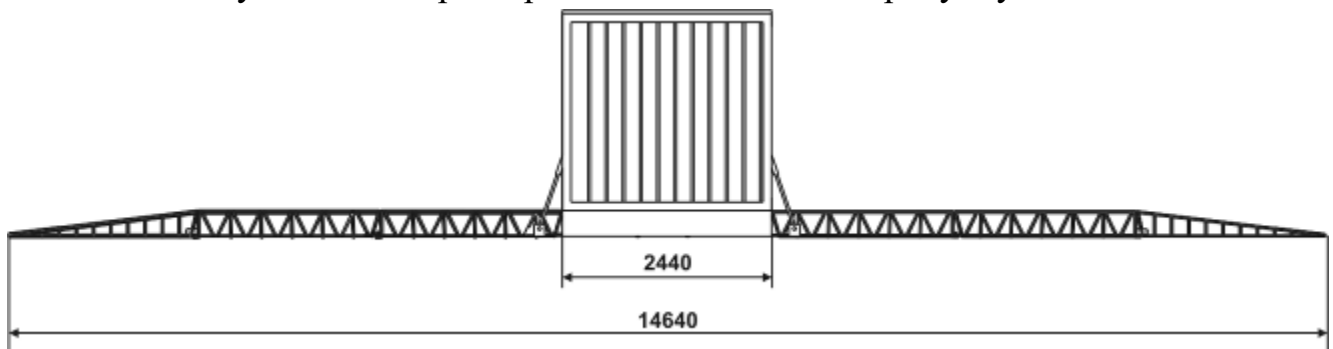


Рисунок 4.2 – Основні установочні розміри станції у розгорнутому вигляді

Порядок перевірки технічного стану ТЗ:

1. Перевірка технічного стану ТЗ проводиться трьома контролерами:

- контролер-оператор ПЕОМ знаходиться в офісному блоці,
- контролер знаходиться у виробничій зоні,
- контролер-водій розташовується на місці водія транспортного засобу.

2. Контролер-оператор ПЕОМ вносить дані про ТЗ перевіряється в базу даних ПЕОМ.

3. Контролер проводить зовнішній огляд ТЗ:

- перевіряє стан дисків і ободів коліс;
- наявність брудозахисних фартухів;
- знак аварійної зупинки, вогнегасників, медичної аптечки,

протівідкатних упорів;

– проводить перевірку зчіпного пристрою і визначає світлопропускання вікон.

4. Контролер-водій керує транспортом, проводить контроль звукового сигналу, механізму регулювання сидінь, підголівників, замків пасків безпеки, пристрої обігріву і обдуву вітрового скла, склоочисників і склоомивачів, оглядності вітрових вікон, протисонячних козирків, дзеркал заднього виду, замків дверей.

Проводяться вимірювання гальмівних сил передньої осі ТЗ. Результати вимірювань відображаються на моніторі оператора ПЕОМ.

5. ТЗ виїжджає передньою віссю зі станду і, не наїжджаючи наступній віссю на роликову встановлення гальмівного станду, встановлюється на горизонтальному ділянці, таким чином, щоб роликовий установка розташовувалася між осями ТЗ.

6. У цьому положенні контролер виробляє наступні вимірювання:

- вимірювання параметрів зовнішніх світлових приладів;
- вимірювання сумарного люфту рульового керування.

Результати вимірювання передаються на ПЕОМ оператора і відображаються на моніторі.

7. ТЗ наїжджає на роликову встановлення гальмівного станду другої і подальшої осями. Проводяться вимірювання параметрів гальмівних сил другій та наступних осей. Результати вимірювань відображаються на моніторі оператора ПЕОМ та формується карта діагностичного контролю даного ТЗ.

8. ТЗ виїжджає за межі станції.

9. Оператор ПЕОМ роздруковує діагностичну карту.

Робота гідросистеми станції.

Гідросистема станції дозволяє опускати і піднімати навіс і апарелі, а також стримувати їх в закритому положенні, при аварійній ситуації – в будь-якій іншій. Передбачено два режими роботи гідростанції:

- робочий (управління електромагнітними клапанами здійснюється органами управління силової шафи);
- аварійний (ручний). Управління електромагнітними клапанами здійснюється з допомогою кнопок на гідророзподільниках.

Програма діагностичного контролю.

Програмно-апаратний комплекс ЛТК (лінія технічного контролю) створений для перевірки технічного стану транспортних засобів на стаціонарних, мобільних і пересувних станціях діагностичного контролю.

Він включає в себе комплект приладів ЛТК і програму «Діагностичний контроль».

Програма «Діагностичний контроль» становить програму бази даних, розроблену для роботи в середовищі Windows.

Програмне забезпечення складається з декількох взаємопов'язаних модулів:

1. Модуль отримання даних служить для отримання в реальному часі характеристик ТЗ, що вимірюються приладами, і приміщення їх в базу даних.

2. Редактор бази даних слугує:

- для зручної навігації в базі даних ТЗ, що пройшли діагностичний контроль, пошук за зареєстрованими характеристиками;
- дозволяє ввести в базу даних інформацію про ТЗ (власник ТЗ, модель, реєстраційний знак, рік випуску, пробіг, номери двигуна, шасі та кузова і т. п.)
- дозволяє одночасне тестування декількох ТЗ.

3. Модуль налаштування параметрів системи:

- дозволяє включати в систему діагностичного контролю нові прилади та устаткування, які використовуються в роботі станції;
- дозволяє вказати шаблон діагностичної карти для роздрукування результатів;
- ведення списку користувачів, допущених до роботи в системі;
- редагування списку дефектів і можливість перегляду і зміни нормативів;
- дозволяє вказати зовнішній файл бази даних, а також можливість підключення зовнішніх файлів для перевірки ТЗ на викрадення тощо.

4. Модуль вводу візуального огляду дозволяє ввести результати візуального огляду ТЗ.

5. Модуль виведення діагностичної карти роздруковує три листа діагностичної карти – карту транспортного засобу, зміни значень від приладів і докладний список значень огляду, які не є відповідними до нормативних.

Отже, впровадження засобів технічної діагностики в практику експлуатаційних підприємств забезпечить підвищення ефективності виробництва.

Встановлення діагнозу на основі статистичного методу Байєса.

Основна перевага статистичних або імовірносних методів розпізнавання – це одночасне використання або врахування ознак різної природи, тому що використовуються безрозмірні характеристики або величини, які по суті означають ймовірності показники різних станів системи. Серед цих методів завдяки простоті та ефективності займає головне місце метод Байєса. Він має також хиби, які полягають в тому, що треба виконувати великий об'єм підготовчої інформації, а також в тому, що величини, які спостерігаються (зустрічаються) пригнічуються. Разом з тим, на практиці його доцільно використовувати, якщо є достатній об'єм статистичних даних.

Основи методу. Метод заснований на використанні формули Байєса. Якщо мається діагноз D_i та проста ознака K_j , що зустрічається при цьому діагнозі, то імовірність сумісної появи цих подій [3]:

$$P(D_i K_j) = P(D_i)P(K_j / D_i) = P(K_j)P(D_i / K_j).$$

Звідси маємо таке співвідношення:

$$P(D_i / K_j) = \frac{P(D_i)P(K_j / D_i)}{P(K_j)}. \quad (4.1)$$

Це формула Байєса для встановлення імовірності появи діагнозу D_i після того, як спостерігається наявність ознаки K_j у об'єкта, що досліджується (апостеріорна імовірність діагнозу D_i).

$P(D_i)$ – імовірність діагнозу D_i , яка визначається за статистичними даними (апріорна), якщо попередньо досліджено N об'єктів i у N_i кількості об'єктів спостерігався діагноз D_i або стан D_i . Тоді

$$P(D_i) = \frac{N_i}{N}. \quad (4.2)$$

$P(K_j / D_i)$ – імовірність появи ознаки K_j у об'єктів, що мають стан D_i .

Отже,

$$P(K_j / D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}, \quad (4.3)$$

де N_i – кількість об'єктів, що мають діагноз D_i ;

N_{ij} – кількість об'єктів, у яких з'явилась ознака K_j (з числа об'єктів N_i);

$P(K_j)$ – імовірність появи ознаки K_j у всіх об'єктів, незалежно від стану або діагнозу кожного з них. Нехай із загальної кількості об'єктів N ознака K_j спостерігалася у N_j об'єктів, тоді

$$P(K_j) = \frac{N_j}{N}. \quad (4.4)$$

Узагальнена формула Байєса використовується, якщо дослідження проводиться за комплексом ознак K , що мають складові $K_1, K_2, K_3, \dots, K_v$. Кожна з складових ознак K_j , мають m_j розрядів $K_{j1}, K_{j2}, K_{j3}, \dots, K_{jm}$. Нехай в результаті дослідження стає відомою реалізація ознаки K_j^* та всього комплексу ознак K^* . Індекс $*$ означає конкретне значення (реалізацію) ознак.

Формула Байєса для комплексу ознак:

$$P(D_i / K^*) = \frac{P(D_i)P(K^* / D_i)}{P(K^*)}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n), \quad (4.5)$$

де n – кількість можливих станів (діагнозів);

$P(D_i / K^*)$ – імовірність діагнозу D_i після того, як стали відомі результати дослідження за комплексом ознак K ;

$P(D_i)$ – попередня імовірність діагнозу D_i (по попередній статистиці).

Для незалежних станів та ознак:

$$P(K^* / D_i) = P(K_1^* / D_i) P(K_2^* / D_i) P(K_3^* / D_i) \dots P(K_v^* / D_i) \quad (4.6)$$

Тоді маємо узагальнену формулу Байєса для визначення імовірного діагнозу за комплексом ознак:

$$P(D_i / K^*) = \frac{P(D_i)P(K^* / D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s)P(K^* / D_s)}. \quad (4.7)$$

При цьому два і більше діагнозів одночасно не реалізуються, а один є обов'язковим, тоді

$$\sum_{i=1}^n P(D_i / K^*) = 1.$$

Для залежних ознак маємо:

$$P(K^* / D_i) = P(K_1^* / D_i) P(K_2^* / K_1^* D_i) \dots P(K_v^* / K_1^* K_2^* K_3^* \dots K_{v-1}^* D_i). \quad (4.8)$$

Отже, узагальнена формула Байєса для визначення діагнозу за комплексом ознак записується у вигляді (4.5).

Вирішальне правило для прийняття рішення про діагноз за методом Байєса. В методі Байєса стан об'єкту з комплексом ознак K^* відноситься до діагнозу з найбільшою апостеріорною імовірністю $K^* \in D_i$, якщо

$$P(D_i / K^*) > P(D_j / K^*), \quad (i, j = 1, 2, 3 \dots n, i \neq j).$$

Це означає, що реалізація K^* визначає діагноз (або стан) D_i . Таке правило уточняється доповненням граничного (порогового) значення імовірності діагнозу:

$$P(D_i / K^*) \geq P_i,$$

де P_i – заздалегідь вибраний рівень розпізнавання діагнозу D_i .

При цьому імовірність ближнього конкурентного діагнозу не перевищує $1 - P_i$. На практиці у відповідальних випадках приймається $P_i \geq 0,9$, при умові $P(D_i / K^*) < P_i$ рішення про діагноз в багатьох випадках не приймається (відмова від розпізнавання). В таких випадках необхідно використати додаткову інформацію про стан системи для прийняття рішення.

Для надійності розпізнавання тут може бути використано умову:

$$P(D_i / K^*) \geq P_i,$$

де P_i – заздалегідь вибраний рівень розпізнавання діагнозу D_i .

Для розрахунків за формулою використовується діагностична матриця методу Байєса. Вона створюється на основі попереднього статистичного матеріалу, зібраного до діагностування.

Така матриця має вигляд таблиці, в якій використовуються імовірності розрядів ознак при різних діагнозах (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Матриця імовірностей розрядів ознак при різних діагнозах

Діагноз D_i	Ознака K_j									$P(D_i)$
	K_1			K_2			K_3			
	$P(K_{11}/D_i)$	$P(K_{12}/D_i)$	$P(K_{13}/D_i)$	$P(K_{21}/D_i)$	$P(K_{22}/D_i)$	$P(K_{23}/D_i)$	$P(K_{31}/D_i)$	$P(K_{32}/D_i)$	$P(K_{33}/D_i)$	
D_1	0,2	0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,2	0,8	0,3
D_2	0,1	0,1	0,2	0	0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1
...

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Використання комп'ютерної техніки при розв'язанні задач діагностики агрегатів та машин електричного транспорту.
2. Засоби технічного діагностування. Загальна характеристика.
3. Використання сучасних технологій у галузі діагностування та застосування їх в практичних цілях на підприємствах МЕТ.

5 ІМОВІРНІСТЬ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ. НАПРАЦЮВАННЯ НА ВІДМОВУ

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

Імовірність безвідмовної роботи визначає ймовірність того, що рухомий склад в цілому чи його елемент буде працювати без відмов на протязі заданого періоду напрацювання.

Середнє напрацювання на відмову – величина, обернена до параметра потоку відмов, визначає середнє значення пробігу до першої відмови рухомого складу чи його елемента.

Параметр потоку відмов – величина, що визначає кількість відмов рухомого складу чи його елемента на один кілометр пробігу за відповідний період [4].

Задача 1. Провести приблизну оцінку імовірності безвідмовної роботи і середнє напрацювання на відмову до першої відмови тягового електричного двигуна типу TN-81 для двох проміжків часу його роботи: $t = 1\ 000$ і $3\ 000$ год, за наступною середньою статистичною величиною інтенсивності відмов у частках одиниць на одну годину роботи: $\lambda \approx 20 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Розв'язання. Середнє напрацювання до першої відмови двигуна за рівнянням:

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= e^{-\lambda t}; \\ Q(t) &= 1 - e^{-\lambda t}; \\ a(t) &= \lambda e^{-\lambda t}; \\ T_{cp} &= \frac{1}{\lambda}, \end{aligned} \right\}, \quad (5.1)$$

де λ – середня постійна величина інтенсивності раптових відмов технічного пристрою у частках одиниць на одну годину роботи;

t – час роботи пристрою у годинах.

Тоді, за (5.1):

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^6}{20} = 5 \cdot 10^4 \text{ год.}$$

На рисунку 5.1 представлено за рівнянням (5.1) кількісні характеристики надійності і інших величин технічного пристрою для експоненціального

розподілу [10]. У цьому випадку при інтенсивності відмов $\lambda = const$ середній час між сусідніми відмовами, або напрацювання на відмову, t_{cp} рівне середньому напрацюванню до першої відмови T_{cp} .

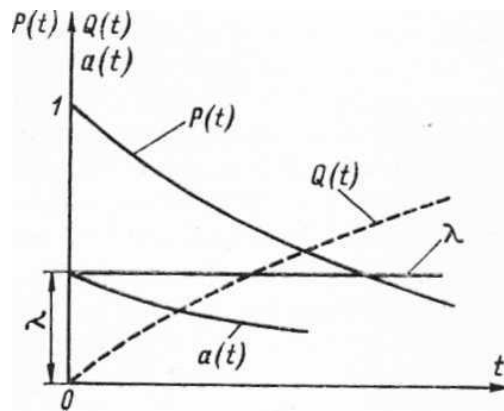


Рисунок 5.1 – Кількісні характеристики надійності технічного пристрою за експоненціальним розподілом

Для часу роботи пристрою $t = T_{cp}$ імовірність безвідмовної роботи його за рівнянням (5.1) буде мати значення:

$$P(t) = e^{-\lambda T_{cp}} = \frac{1}{e} \approx 0,37$$

Імовірність безвідмовної роботи, або надійність двигуна за першим рівнянням (5.1), з урахуванням

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_{cp}}} \quad (5.2)$$

для двох проміжків часу роботи буде:

$$P(1000) = e^{-\frac{1000}{5 \cdot 10^4}} = e^{-0,02} = 0,98;$$

$$P(3000) = e^{-\frac{3000}{5 \cdot 10^4}} = e^{-0,06} = 0,94.$$

Як показують отримані дані, надійність двигуна, що розглядається характеризується тим, що у відповідності з другим рівнянням (5.1) на кожні 100 двигунів імовірність виходу з ладу на протязі вказаних двох проміжків часу роботи складає: у першому випадку – 2 двигуни, або 2 %, у другому – 6 двигунів, або 6 %.

Задача 2. Визначити імовірність безвідмовної роботи і середнє напрацювання до першої відмови тягового двигуна тролейбуса типу ПМЗ-Т1 до кінця періоду нормальної експлуатації його $t = T_{II} = 6000$ год. (рис. 5.2), якщо середня інтенсивність відмов у частках одиниць на одну годину роботи $\lambda \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Розрахувати також імовірність безвідмовної роботи цього двигуна, інтенсивність відмов і середнє напрацювання до першої відмови у

період зносу (рис. 5.2) для трьох проміжків часу його роботи, вважаючи від початку періоду нормальної експлуатації $t = 8\ 000, 10\ 000$ і $12\ 000$ год., якщо середня довговічність, або ресурс двигуна від того ж початку відліку $T_p = 12\ 000$ год. і середнє квадратичне відхилення часу між відмовами у нормальному законі $\sigma = 2\ 000$ год.

Розв'язання. Середнє напрацювання до першої відмови двигуна за останнім рівнянням (5.1) буде:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^6}{15} = 6,66 \cdot 10^4.$$

Імовірність безвідмовної роботи, або надійність, двигуна до кінця періода нормальної експлуатації за першим рівнянням (5.1), з урахуванням (5.2), буде:

$$P(6\ 000) = e^{-\frac{6000}{6,66 \cdot 10^4}} = e^{-0,09} = 0,918.$$

У період зносу надійність двигуна буде поступово знижуватись не тільки від зносових відмов, але також із-за можливих у цей період раптових відмов приблизно з тією ж інтенсивністю λ , як і в попередньому періоді нормальної експлуатації. Зниження надійності двигуна від раптових відмов у період зносу буде складати [4]:

$$P(8\ 000) = e^{-\frac{8000}{6,66 \cdot 10^4}} = e^{-0,12} = 0,890;$$

$$P(10\ 000) = e^{-\frac{10000}{6,66 \cdot 10^4}} = e^{-0,15} = 0,860;$$

$$P(12\ 000) = e^{-\frac{12000}{6,66 \cdot 10^4}} = e^{-0,18} = 0,840.$$

Частота відмов $a(t)$ або густина їх імовірності $f(t)$ у цьому випадку визначаються рівнянням [4–6]:

$$a(t) = f(t) = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}}}{\sigma \left[1 + \Phi\left(\frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]} e^{-\frac{(t-T_p)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.3)$$

де T_p і σ – середнє значення довговічності двигуна і квадратичне відхилення часу між відмовами у нормальному законі (рис. 1.4), де потрібно вважати ($X = t$ і $\bar{X} = T_p$);

$\Phi\left(\frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right)$ – інтеграл імовірності виду: $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx$, який визначається

за табличними даними для значення $x = \frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}$.

У цьому випадку імовірність безвідмовної роботи технічного пристрою $P(t)$, імовірність його відмови $Q(t)$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$ і середнє напрацювання до першої відмови T_{cp} на підставі рівнянь:

$$Q(t) = 1 - P(t), \quad P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt, \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{P'(t)}{P(t)}, \quad T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

та з урахуванням (5.3) будуть:

$$P(t) = \frac{1 - \Phi\left(\frac{t - T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{1 + \Phi\left(\frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right)};$$

$$Q(t) = 1 - P(t);$$

$$\lambda(t) = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\frac{(t - T_p)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \left[1 - \Phi\left(\frac{t - T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]};$$

$$T_{cp} = T_p + \frac{\sigma\sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\frac{T_p^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \left[1 + \Phi\left(\frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]},$$
(5.4)

де $\Phi\left(\frac{t - T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right)$ – інтеграл імовірності вказаного вище виду, що визначається за

табличними даними для значення $x = \frac{T_p}{\sigma\sqrt{2}}$.

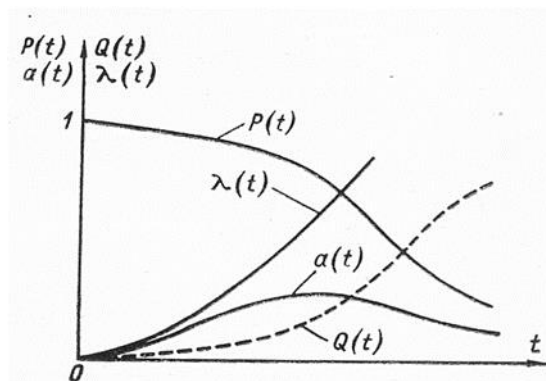


Рисунок 5.2 – Кількісні характеристики надійності технічного пристрою за нормальним розподілом

На рисунку 5.2 представлені за рівняннями (5.4) кількісні характеристики надійності та інших величин технічного пристрою для нормального розподілу.

Як видно з рисунка, інтенсивність відмов $\lambda(t)$ у цьому випадку дуже зростає протягом часу. Це означає, що має місце старіння або знос складових

частин пристрою. На початковій стадії роботи протягом невеликого проміжку часу, коли знос деяких його частин ще не проявляється, імовірність його безвідмовної роботи $P(t)$ убуває незначною мірою. Проте, при тривалій роботі пристрою надійність його значно знижується із-за зносу частин, характер відмов яких близький до нормального розподілу у часі.

У електричних машинах – колекторних або з контактними кільцями – найбільшому зносу при їх тривалій роботі зазвичай підвергається щітковий вузол. Як показує досвід, розподіл у часі швидкостей зносу різних марок щіток у цих машинах близько до нормального розподілу. У зв'язку з цим і розподіл відмов у роботі щіток у часі представляється приблизно цією ж залежністю.

З метою ілюстрації використання рівняння (5.4) для оцінки надійності електричної машини у період зносу наведено приклад (задача 2).

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Процес діагностування струмоприймача електричного виду транспорту.
2. Структура діагностування ходової частини електротранспорту.
3. Методика складання алгоритму діагностування.

6 ЗАВДАННЯ І ФУНКЦІЇ ДІЛЬНИЦЬ ДІАГНОСТУВАННЯ. ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦЬ ДІАГНОСТИКИ

Діагностичне устаткування може бути ефективно використане в автотранспортних підприємствах тільки за умови чіткої організації системи технічного обслуговування і ремонту, складовою частиною якої є діагностування.

Контрольно-діагностичні операції повинні виконуватися перед проведенням технічного обслуговування і поточним ремонтом незалежно від наявного діагностичного обладнання. Тільки в цьому випадку доцільне придбання діагностичного обладнання і раціональне його використання.

Завданням дільниці є діагностування рухомого складу в об'ємі Д-1 і Д-2, а також разове діагностування, що виконується по окремих заявках в обмеженому об'ємі на тому ж обладнанні [7,8].

До функцій дільниці діагностування входять:

- реєстрація результатів діагностування і заповнення планів-звітів з Д-1 і Д-2;
- ведення журналів діагностування Д-2 по кожному транспортному засобу;

- щомісячний аналіз результатів діагностування, систематизація виявлених дефектів і внесення пропозицій головному інженерові про способи зниження витрат на технічну експлуатацію транспортних засобів;
- визначення економічної ефективності діагностування;
- складання щомісячного і річного звіту про роботу, що виконується на дільниці;
- профілактичне обслуговування контрольно-вимірювальної апаратури і діагностичного обладнання;
- ведення обліку профілактичного обслуговування діагностичного обладнання в спеціальних формулярах або журналах;
- виконання правил техніки безпеки;
- підвищення кваліфікації операторів;
- забезпечення операторів бланками документації;
- встановлення режиму роботи операторів в залежності від режиму роботи автомобілів на лінії і режиму роботи виробничих дільниць з метою організації діагностування і усунення виявлених несправностей у вільний від транспортної роботи час.

На підставі плану-графіка технічного обслуговування і ремонту автомобілів технічний відділ підприємства або бюро обробки інформації заповнюють бланк плану-звіту Д-1 рухомого складу за один день до Д-1 в двох екземплярах. Один екземпляр плану Д-1 передається відділу експлуатації, а другий – на дільницю діагностування.

При виконанні Д-1 протягом декількох змін звіт підписують декілька виконавців, а відмітка про виконання проставляється тільки цифровими іменними штампами або шифрами виконавців. За наявності дефектів автомобіль направляють по вказівці диспетчера виробництва в зону Д-2 або в зону поточного ремонту. Д-1 виконується по спеціальному графіку або перед ТО-1; Д-2 виконується по графіку за два-три дні до ТО-2. Порядок складання плану-звіту Д-2 аналогічний складанню плану-звіту Д-1.

Діагностування вузлів і агрегатів РС може проводитися як на тупикових постах, так і на потокових лініях. Пости або лінії діагностування технічного стану рухомого складу повинні бути оснащені спеціальними стендами з біговими барабанами, що імітують швидкісні і навантаженні режими роботи РС, або майданчиковими стендами проїзного типу для перевірки гальм, установки передніх коліс та ін.

У комплект стендів входить стаціонарне або переносне обладнання для реєстрації контрольованих параметрів. Розташування дільниці Д-1 повинно забезпечити зручність напряму руху після Д-1 на ТО-1, поточний ремонт або на

стоянку, а за необхідності – на дільницю Д-2. На дільниці Д-1 розміщується обладнання для перевірки рульового керування, гальмівної системи, установки коліс, шин, приладів освітлення і сигналізації (рис. 1.7).

Планування дільниці Д-1 з лінією експрес-діагностики показано на рисунку 6.1. Для дільниці виділяється приміщення площею 18м×9м. У виробничому приміщенні встановлюється лінія експрес-діагностики, а пульт управління 4 встановлюється в операторській.

Дільниця поглибленого діагностування Д-2 розташовується поблизу зони ТО-2. На першому етапі застосування засобів діагностики організовується однопостова дільниця Д-2, на якій концентрується все діагностичне обладнання.

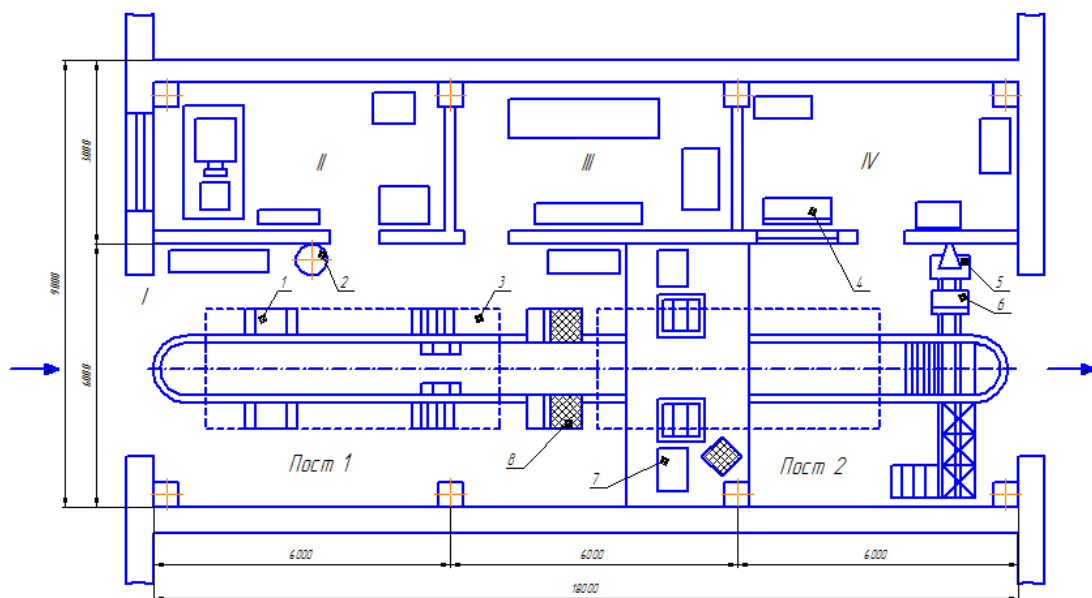


Рисунок 6.1 – Планування дільниці Д-1 з лінією експрес-діагностики:

- I – приміщення постів діагностування; II – машинне відділення; III – приміщення для робіт з обслуговування стендів та приладів; IV – приміщення операторів; 1 – прилад для обдуву горячим повітрям; 2 – автоматична повітряно-роздаточна колонка для підкачування шин; 3 – гідропідйомник; 4 – пульт керування; 5 – стенд для перевірки електричного обладнання; 6 – прилад для перевірки встановлення фар; 7 – стенд для перевірки гальмівних систем; 8 – стенд для перевірки кутів установки керованих коліс

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Структура діагностування гальмівної системи електричного транспорту.
2. Структурні та діагностичні параметри. Поняття та графічне зображення.
3. Діагностування тягових електродвигунів та методи їх виявлення.
4. Процес діагностування механічного обладнання електротранспорту.
5. Ефективність технічного діагностування.
6. Засоби технічного діагностування.
7. Основні вимоги до засобів діагностування.

7 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ

Досягнення в галузі мікропроцесорної техніки дає можливість створювати нові системи управління на основі мікроконтролерів. Ці системи також дають більш ширший діапазон можливостей, що включають, крім функцій управління, і функції контролю, захисту, діагностики та ін.

Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє вирішувати проблеми ресурсозбереження за рахунок створення єдиної системи інформаційного забезпечення, яка повинна супроводжувати промисловий об'єкт на всіх етапах його життєвого циклу: проектування, створення, експлуатації, ремонту. Електромеханічні системи електроприводів зараховується до промислових об'єктів і мають відповідний життєвий цикл.

У чому ж полягає особливість стаціонарних систем діагностування (моніторингу)? Типова стандова система моніторингу і діагностики, яка може будуватися на базі переносної системи, за складом технічних засобів, які не відрізняються від стаціонарної системи моніторингу і діагностики (рис. 7.1).

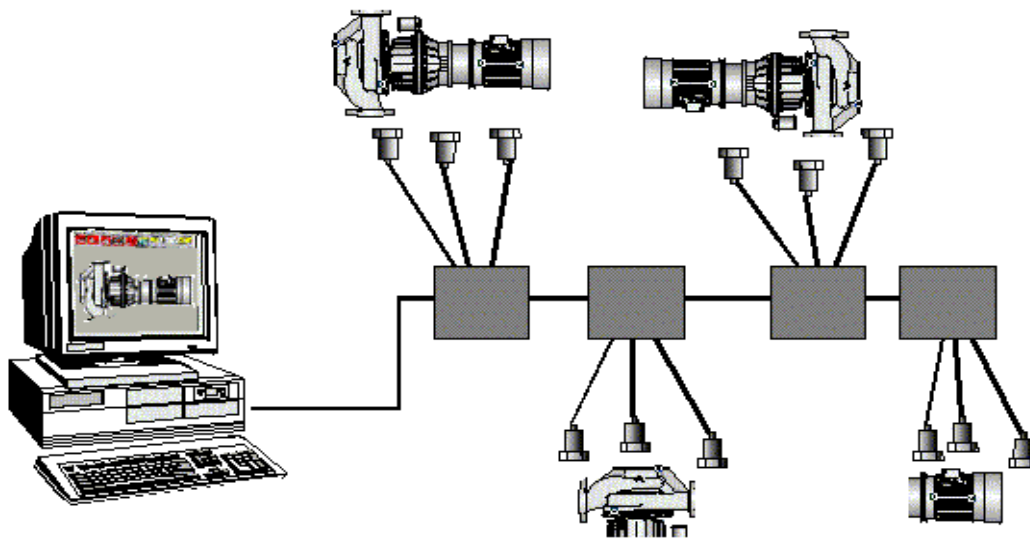


Рисунок 7.1 – Структура стаціонарної системи моніторингу і діагностики

Ця система (рис. 7.1) складається з центральної діагностичної станції – комп'ютера із вмонтованими платами для перетворення сигналу в цифрову форму і пакетами програм для керування, аналізу сигналів, моніторингу і діагностики, відображення стану обладнання, а також зовнішніми блоками посилення і комутації, датчиками вібрації та частоти обертання ротора.

Перша полягає в тому, що вся робота системи відбувається автоматично, у тому числі й планування вимірювань на їхнє проведення, й аналіз сигналів, і всі подальші операції моніторингу.

Друга особливість – у системі може не вистачати кількості датчиків для того, щоб зміряти вібрацію кожного вузла, і тому в стаціонарній системі може не бути підсистеми глибокої діагностики.

Третя особливість – до складу стаціонарної системи може входити і переносний прилад для проведення додаткових (до обов'язкових моніторингових вимірювань вібрації) вимірювань інших сигналів. У цьому випадку система може забезпечувати і глибоку діагностику машини.

Звернути особливу увагу на методи і засоби сучасного діагностування вузлів і агрегатів рухомого складу міського електричного транспорту.

Вплив технічних засобів на ефективність діагностування технічних об'єктів враховується множителем p_3 – вірогідністю правильного функціонування технічних засобів в період здійснення діагностування.

Спосіб розрахунку величини p_3 змінюється залежно від умов здійснення діагностування. При цьому засоби діагностики можуть розглядатися як об'єкти безперервної дії (технологічні процеси, апаратура бортового устаткування у польоті і ін.) або як об'єкти періодичної дії (устаткування рухомих об'єктів перед використанням і ін.). Впровадження засобів технічної діагностики в практику експлуатаційних депо забезпечує підвищення ефективності виробництва. Економічну ефективність технічної діагностики можна оцінити, зіставляючи витрати на експлуатацію рухомого складу з додатковими витратами на виконання діагностики. Зниження експлуатаційних витрат при впровадженні діагностики обумовлене зменшенням об'єму поточного ремонту, витрати запасних частин, витрат праці, підвищенням продуктивності праці, збільшенням коефіцієнта технічної готовності і довговічності використання рухомого складу; витрати на діагностику обумовлені витратами на діагностичне устаткування і експлуатаційними витратами на його використання.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Фізичні основи прогнозування технічного стану рухомого складу.
2. Застосування інженерних методів прогнозування при експлуатації.
3. Основні способи вирішення завдань прогнозування.
4. Завдання і функції дільниці діагностування.
5. Особливості планування та вибір діагностичного обладнання.
6. Вплив технічних засобів на ефективність діагностування.
7. Показники оцінки ефективності впровадження дільниць діагностики.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дистанційний курс «Методи та апаратура технічної діагностики систем електричного транспорту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=2535>, вільний (дата звернення). – Назва з екрана.
2. Технічна експлуатація міського електричного транспорту: навч. посібник / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, Е. І. Карпушин, В. І. Коваленко. – Харків : ХНАМГ, 2014. – 285 с.
3. Правила експлуатації міського електричного транспорту: навч. посібник / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, В. І. Коваленко, М. В. Хворост, Л. О. Ісаєв. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 447 с.
4. 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.
5. Дудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт рухомого складу : підручник / О. А. Дудченко. – Київ : Знання, 2004. – 478 с.
6. ДСТУ 3333–96. Стенди роликові для перевірки гальмівних систем дорожніх транспортних засобів в умовах експлуатації. Загальні технічні вимоги. – Чинний від 27–03–96. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 18 с.
7. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електропривод / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепіков. – Київ : Либідь, 2005. – 678 с.
8. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни і визначення. – Чинний від 01–01–96. – Київ : Держстандарт України, 1994. – 24 с.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних робіт
із навчальної дисципліни

«МЕТОДИ ТА АПАРАТУРА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами))*

Укладач Вячеслав **ШАВКУН**

Відповідальний за випуск *М. В. Хворост*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *В. М. Шавкун*

План 2022, поз. 180М

Підп. до друку 12.10.2022. Формат 60 × 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 2,0

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.