

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

В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна

**НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ,
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності*

*141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітніх програм: «Електричний транспорт», «Електричні системи і
комплекси транспортних засобів», «Електротехнічні системи
електроспоживання», «Магістральні електричні мережі: управління,
експлуатація та розвиток», «Світлотехніка і джерела світла»,
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Далека В. Х. Надійність електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітніх програм : «Електричний транспорт», «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», «Електротехнічні системи електроспоживання», «Магістральні електричні мережі : управління, експлуатація та розвиток», «Світлотехніка і джерела світла», «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 116 с.

Автори:

д-р техн. наук, проф. В. Х. Далека,
канд. техн. наук, доц. Н. І. Кульбашна

Рецензент

В. Т. Доманський, доктор технічних наук, професор кафедри електричного транспорту (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 2 від 05.10.2024 р.

У конспекті лекцій розглядаються основні вимоги міжнародних та національних стандартів та інших чинних нормативів щодо якості та надійності технічних систем та надання послуг, питання визначення показників експлуатаційної надійності та їхнє використання в управлінні станом технічних засобів та об'єктів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем, урахування ризиків під час забезпечення відповідного рівня надійності електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

© В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна, 2024

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Лекція 1 ГОЛОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ	7
1.1 Терміни та визначення теорії надійності	7
1.2 Розгляд системи на прикладі забезпечення надійності елементів електропостачання	9
1.3 Вимоги міжнародних та національних стандартів та інших чинних нормативів щодо якості продукції та послуг в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.....	11
Лекція 2 ТЕХНІЧНИЙ СТАН ОБ’ЄКТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ	18
2.1 Головні причини змінювання технічного стану машин під час експлуатації	18
2.2 Відмови та їхня класифікація	22
2.3 Різновиди моделей відмов і безвідмовності	26
2.4 Опис випадкових величин технічної експлуатації математичними методами.....	30
Лекція 3 ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ.....	38
3.1 Показники надійності невідновлюваних і відновлювальних об’єктів.....	38
3.2 Комплексні оціночні показники надійності технічних систем.....	39
3.3 Оціночні показники складових надійності технічних систем.....	40
3.4 Показники оцінювання якості та надійності систем електропостачання.....	42
3.5 Економічні показники надійності	44
Лекція 4 ЗБІР ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАДІЙНІСТЬ.....	48
4.1 Вимоги до інформації про технічний стан об’єктів... ..	48
4.2 Система збору інформації для оцінки надійності.....	50
4.3 Плани спостережень.....	53
4.4 Обробка даних про відмови і несправності	59
4.5 Довірчий інтервал та довірча ймовірність.....	63
4.6 Визначення обсягу вибірки.....	65

Лекція 5 ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ.....	70
5.1 Концепція управління технічним станом електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.....	70
5.2 Прогнозування рівня розвитку технічних об'єктів.....	73
5.3 Оцінювання залишкового ресурсу.....	76
5.4 Гамма-відсотковий ресурс.....	80
 Лекція 6 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ.....	 83
6.1 Технічне обслуговування орієнтоване на безвідмовність.....	83
6.2 Методика розрахунку оптимального міжремонтного періоду.....	84
6.3 Конструкторсько-технологічні методи підвищення працездатності машин.....	86
6.4 Надійність складних систем.....	87
6.5 Забезпечення технічних об'єктів запасними частинами.....	91
 Лекція 7 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ.....	 93
7.1 Головні поняття ергатичних систем	93
7.2 Рівні організації ергатичних систем.....	94
7.3 Показники надійності ергатичних систем.....	96
 Лекція 8 НАДІЙНІСТЬ І РИЗИКИ.....	 101
8.1 Класифікація і аналіз ризиків.....	101
8.2 Методи оцінювання надійності в умовах неповної визначеності і ризиків.....	104
8.3 Методи експертології в оцінюванні надійності.....	106
8.4 Способи управління ризиками.....	108
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111

ВСТУП

Ефективність функціонування енергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем і забезпечення вимог охорони праці значною мірою залежать від надійності технічних засобів, інфраструктури, рівня управління в цих системах.

Розвиток новітніх технологій, різновидів транспортних засобів, унікальних машин, апаратів, ліній електропередачі, автоматизованих комплексів потребує застосування таких методів аналізу надійності, які уможлилювали б під час проєктування нових об'єктів застосовувати досвід експлуатації, дані експериментів, способи забезпечення надійності, обґрунтування її підвищення, прогнозування і зведення до мінімуму аварійних ситуацій та шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Нова техніка, що виконує відповідальні функції, має право на існування лише в разі забезпечення надійності. Для вирішення проблеми надійності існує науковий напрямок – теорія надійності, предметом якої є дослідження причин виникнення відмов об'єктів, визначення закономірностей, яким підкоряються відмови, розробка засобів кількісного вимірювання надійності, методів розрахунку та випробувань, розробка шляхів і засобів підвищення надійності. Теорія імовірностей, математична статистика, теорія імовірнісних процесів дають змогу врахувати випадковий характер виникаючих у системі подій і процесів. Теорія графів, дослідження операцій, теорія інформації, технічна діагностика, теорія моделювання, основи проєктування систем і технологічних процесів уможливають обґрунтовано вирішувати завдання надійності.

Теорія надійності є науковою базою діяльності лабораторій, відділів, бюро і груп надійності на підприємствах, в проєктних, науково-дослідних і експлуатуючих організаціях.

Надійність тісно пов'язана з такими практичними завданнями, як статистична оцінка і аналіз надійності діючого встаткування і установок, прогнозування їхньої надійності, нормування рівня, випробування на надійність, розрахунок і аналіз надійності, оптимізація технічних рішень щодо забезпечення надійності під час проєктування, створення і експлуатації встаткування, установок і систем.

До теоретичної бази технічної експлуатації машин належать:

– математичні, а саме розроблення методів розрахунків надійності, діагностики, обслуговування і ремонту на підставі теорії імовірностей, математичної статистики, теорії інформатики, математичної логіки та інших розділів математики;

- теорія тертя і зношування: встановлення закономірностей фізики відмов, що є підґрунтям прогнозування технічного стану машин та їхнього вдосконалення;
- теорія змащення: встановлення напрямків та головних причин зношування елементів машин у разі використання мастильних матеріалів;
- прогнозування: прогнозування працездатності, організація заходів технічного обслуговування і ремонту машин;
- економічні: оцінка ефективності технічної експлуатації машин з економічних позицій, як головного критерія під час вирішення практичних питань.

Метою викладання навчальної дисципліни «Надійність електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем» є формування у студентів системи знань правових, економічних та технологічних аспектів керування працездатністю технічних засобів, об'єктів та інноваційної діяльності в ергатичних системах.

ЛЕКЦІЯ 1

ГОЛОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

План

1.1 Терміни та визначення теорії надійності.

1.2 Розгляд системи на прикладі забезпечення надійності елементів електропостачання.

1.3 Вимоги міжнародних та національних стандартів та інших чинних нормативів щодо якості продукції та послуг в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

1.1 Терміни та визначення теорії надійності

В моделях надійності широко використовують поняття «елемент» і «система». Об'єкт, надійність якого розглядається незалежно від надійності його частин, а тільки залежно від його функціональної ролі і місця в системі або установці, називають *елементом*. Сукупність взаємозалежних елементів або об'єктів, призначених для виконання певних завдань, що мають єдине керування, називають *системою* [1, 3].

Устаткування електроенергетичних систем є, з одного боку, елементом відповідної системи або підсистеми, а з іншого боку, – виробом, тобто об'єктом, надійність якого розглядається незалежно від його ролі в системі. Виробами є всі машини, апарати і інше встаткування, що постачають заводи – виготовлювачі.

Об'єкт може перебувати у таких станах [1, 2, 5]:

- 1) справному або несправному;
- 2) працездатному або непрацездатному;
- 3) граничному.

Об'єкт вважають справним, якщо він відповідає встановленим до нього вимогам. При порушенні хоча б одного з них його вважають несправним.

Несправності можуть бути різними. З якимсь ушкодженням об'єкт може зберігати всі свої головні властивості, тобто продовжувати функціонувати, а з іншим – ні, тобто відмова певного елемента об'єкта призводить до відмови об'єкта загалом. Тому поняття «справний» і «несправний» стан об'єкта уточнюють поняттями «працездатний» або «непрацездатний» стан.

Працездатним вважають такий стан об'єкта, у разі якого він здатний виконувати задані функції із встановленими нормативно-технічною документацією параметрами, а *непрацездатним* – такий стан, коли значення

хоча б одного параметра не відповідає встановленим вимогам до виконання заданих функцій.

Пошкодження – це подія, яка полягає в порушенні справного стану об'єкта у разі збереження працездатного стану.

Відмова – це подія, яка полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Стан об'єкта вважають *граничним*, коли його подальша експлуатація має бути припинена за такими причинами: невідповідність вимогам безпеки, непереборне зниження ефективності, необхідність в капітальному ремонті або списанні, моральному старінні тощо.

Перехід об'єкта з граничного стану в справне вважають ремонтом, з непрацездатного в справне – відновленням.

Відновлення – це процес пошуку та усунення функціональних дефектів з метою відновлення працездатного стану об'єкта. Процес усунення дефектів об'єкта передбачає замінювання деталей, вузлів і агрегатів, очищення, промивання, продування, регулювання й тощо.

Ремонт – це система операцій для досягнення справного або працездатного стану об'єкта, відновлення ресурсів об'єкта і його складових для доведення його до початкових характеристик.

Залежно від пристосованості до відновлення працездатності всі об'єкти поділяють на ремонтвані та неремонтвані.

Ремонтований об'єкт – об'єкт, ремонт (відновлення справності та/або працездатності) якого можливий та передбачений нормативною, ремонтною та (або) конструкторською (проектною) документацією.

Неремонтований об'єкт – об'єкт, ремонт якого неможливий або непередбачений нормативною, ремонтною та (чи) конструкторською (проектною) документацією.

Тобто ремонтваність об'єкта розглядають як потенційну можливість відновлення його працездатності. З точки зору можливості відновлення у конкретних умовах експлуатації об'єкта їх поділяють на відновлювані та невідновлювані.

Відновлюваний об'єкт – ремонтований об'єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати потрібні функції з заданими кількісними показниками надійності.

Невідновлювальний об'єкт – об'єкт, ремонт якого неможливий або не уможливорює відновлення працездатності із заданими кількісними показниками надійності.

Усі неремонтвані об'єкти належать до невідновлюваних.

Ресурс машини – це напрацювання її до граничного стану, зазначеного в технічній документації.

Строк служби – це календарна тривалість від початку експлуатації об'єкта або його поновлення після ремонту певного виду до переходу в граничний стан.

Надійність об'єкта – це властивість виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання, технологічного обслуговування, ремонту, зберігання й транспортування.

У зв'язку із цим визначенням важливо підкреслити, що *надійність* є складною властивістю, що складається з більш простих: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збереженості [1, 2, 5].

Безвідмовність – це властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу (наробітку).

Довговічність – це властивість об'єкта зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й ремонту.

Ремонтпридатність – це властивість об'єкта, що полягає в його пристосованості до попередження й виявлення причин виникнення відмов, до ремонту й технічного обслуговування.

Збереженість – це властивість об'єкта зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності протягом і після зберігання і (або) транспортування.

1.2 Розгляд системи на прикладі забезпечення надійності елементів електропостачання

Надійність енергосистеми, як системи загалом, оцінюється за теорією надійності як здатність енергосистеми виконувати функції з виробництва, передачі, розподілу й постачання споживачам електричної енергії в потрібній кількості та нормованій якості з урахуванням взаємодії окремих елементів, а саме: генеруючих установок, електричних мереж і електроустановок споживачів. Ця система має задовольняти в поточний момент часу: попит на електроенергію; протидіяти збурюванням, викликаним відмовами елементів енергосистеми, включаючи каскадний розвиток аварійних ситуацій і створення форс-мажорних обставин; відновлювати свої функції після їхнього порушення [6].

Енергетична система містить три головні елементи: електростанції, що виробляють електроенергію, які використовують для виробництва

електроенергії різні ресурси; мережу передачі, що, в свою чергу, складається з мережі високої напруги (зазвичай, понад 35 кВ), яку застосовують для передачі електроенергії від генераторної станції до розподільчої мережі; розподільчу мережу, мережу низької та середньої напруги, яку використовують для постачання електроенергії споживачам (рис. 1.1) [2].

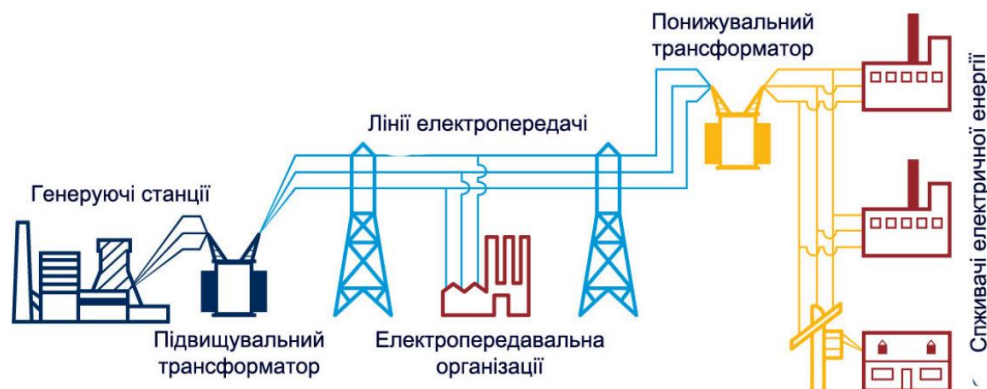


Рисунок 1.1 – Схема забезпечення споживачів електроенергією [6]

Надійність головної схеми електричних з'єднань визначається надійністю її складових елементів, до яких належать генератори, вимикачі, роз'єднувачі, збірні шини, а також лінії електропередачі.

Крім цього, надійність електропостачання визначається багатьма взаємозалежними факторами, які для умов експлуатації поділяють на сприятливі та несприятливі. Сприятливі фактори роблять незначний вплив на зниження надійності, а несприятливі фактори можуть призвести до відмов. Більшість технічних об'єктів є єдністю трьох частин: технічних засобів, програмного забезпечення та обслуговуючого персоналу. Тому і фактори, що впливають на надійність, поділяють на три головні групи: технічні, програмні та експлуатаційні (кліматичні, залежні від якості обслуговування та від взаємовідносин у системі людина-машина) [6].

Технічні фактори залежать від структури об'єкту і його робочих режимів роботи, застосування способів резервування, організації контролю і відновлення після відмови, характеристик комплектуючих деталей, захищеності конструкцій від несприятливих впливів, якості технологічних процесів під час виготовлення, пристосованості до умов експлуатації.

Програмні фактори залежать від якості запровадженого програмного забезпечення мікропроцесорної техніки, а експлуатаційні – від зовнішнього середовища та оточуючих інших об'єктів під час експлуатації.

Кліматичні фактори визначають умови, в яких має і може функціонувати об'єкт: температура, вологість, сонячна радіація, вітрові навантаження тощо.

Вплив якості обслуговування на надійність визначається рівнем автоматизації людино-машинних систем, в яких людина є своєрідною керівною ланкою. З розвитком техніки, ускладненням її структури, розширенням виконуваних функцій завдання щодо взаємовідношення людини та техніки набуває все більшого значення. Огляд факторів, що впливають на надійність, дає змогу зробити висновок про необхідність пошуку шляхів підвищення надійності на базі комплексного системного підходу. Забезпечення надійності повинне представляти єдину систему взаємозв'язаних і взаємообумовлених заходів.

З проблемою надійності в електроенергетиці пов'язані такі практичні завдання [5, 6]:

- статистична оцінка і аналіз надійності діючого обладнання і установок;
- прогнозування надійності обладнання і пристроїв;
- нормування рівня надійності;
- випробування на надійність;
- розрахунок та аналіз надійності;
- оптимізація технічних рішень з забезпечення надійності під час проектування, створення і експлуатації електротехнічного обладнання, пристроїв і систем;
- економічна оцінка надійності.

Теорія надійності в практиці інженерного дослідження розглядає кількісні оцінки, які дають змогу: встановлювати вимоги і нормативи надійності обладнання для пристроїв і систем; порівнювати різновиди обладнання, пристроїв і систем за їхньою надійністю; розраховувати надійність об'єктів за надійності їхніх окремих елементів; оптимізувати величину необхідного резерву і структуру технічних об'єктів; виявляти найменш надійні елементи обладнання, пристроїв і систем; оцінювати терміни служби обладнання і установок.

1.3 Основні вимоги міжнародних та національних стандартів та інших чинних нормативів щодо якості продукції та послуг в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Показники надійності, як складової якості виробів та послуг, обґрунтовуються і задаються в процесі розробки, проектування, забезпечуються під час виробництва, підтримуються в процесі використання за призначенням (експлуатації) та ремонту.

Оскільки в останні роки зросла роль міжнародної інтеграції виробництва та підвищились вимоги до конкурентоздатності виробів і послуг, значно більше уваги почали приділяти стандартам усіх рівнів, що є обов'язковими.

В цей час розглядаються стандарти:

- міжнародні;
- національні;
- галузеві;
- стандарти підприємств.

На сьогоднішній день абсолютна більшість матеріалів, виробів та їхніх елементів стандартизовано. Стандартизовано також і термінологію, методики визначення та аналізу показників надійності, розрахунку залишкового ресурсу, формування систем керування технічним станом технічних систем, тощо.

Найбільш характерними стандартами відносно визначення, аналізу та оцінки показників надійності і їхнього практичного використання можна виділити такі:

- ДСТУ 8647:2016. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов [7];
- ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення [8];
- ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги [9];
- ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення [10];
- ДСТУ 8646:2016. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування залишкового ресурсу (строки служби) технічних систем [11];
- ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення [12];
- ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення [13];
- ДСТУ 3942-2000 Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). Частина 2. Дифузійний розподіл [14];
- ДСТУ EN 61078:2022 Блок-схеми надійності (EN 61078:2016, IDT; IEC 61078:2016, IDT) [15] та багатьма іншими.

Розглянемо вимоги стандартів, що регламентують рівні якості надання послуг електропостачальником та підприємствами міського електротранспорту, що базуються на відповідних показниках надійності.

Якість електричної енергії – це сукупність властивостей електричної енергії відповідно до встановлених стандартів, які визначають ступінь її придатності для використання за призначення.

Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, з метою посилення відповідальності

компаній за неякісне надання послуг споживачам, внесла зміни до Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання (Постанова Національної комісії від 12.06.2018 № 375 (у редакції постанови НКРЕКП від 12.08.2020 № 1550), якими було запроваджено нові гарантовані стандарти та компенсації за їхнє недотримання, зокрема ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» [16].

Порядок визначає перелік загальних та гарантованих стандартів якості електропостачання і регулює відносини, пов'язані із електропостачанням відповідно до загальних та гарантованих стандартом якості, захистом прав споживачів та наданням енергопостачальником або оператором системи розподілу компенсації за недотримання гарантованих стандартів якості електропостачання споживачам або замовникам (у випадку недотримання гарантованих стандартів якості під час приєднання до електричних мереж).

До загальних стандартів якості надання послуг електропостачальника належать:

- рівень сервісу кол-центру протягом 30 секунд (відсоток дзвінків, з'єднаних з оператором кол-центру протягом 30 сек.) у звітному році – не менше 75 %;
- відсоток втрачених дзвінків кол-центру (без урахування втрачених дзвінків у меню голосового самообслуговування) у звітному році – не більше 10 %.

До гарантованих стандартів якості надання послуг електропостачальника належать:

- 1) надання даних про споживання електричної енергії у строк 5 робочих днів з дня отримання запиту споживача;
- 2) розгляд звернень/скарг/претензій споживачів з дня отримання звернення/скарги/претензії споживача:
 - у строк 30 днів;
 - у строк 45 днів, якщо під час розгляду звернення необхідно здійснити технічну перевірку або провести експертизу засобу обліку;
- 3) розгляд звернень споживачів щодо перевірки правильності рахунку на оплату у строк 5 робочих днів з дати отримання звернення;
- 4) урахування суми відповідної компенсації за недотримання гарантованих стандартів якості надання послуг постачальником у кінцевому рахунку споживача за електричну енергію (якщо постачання електричної енергії споживачу здійснюється постачальником універсальних послуг або якщо відповідно до комерційної пропозиції електропостачальника плату за надання послуг з розподілу електричної енергії забезпечує електропостачальник)

у строк 30 днів з початку отримання повідомлення від постачальником щодо виплати компенсації;

5) виставлення рахунка електропостачальником (у паперовій або електронній формі) у строки, визначені договором про постачання електричної енергії;

б) виставлення рахунка електропостачальником з правильними даними про ціну, вартість та обсяг спожитої електричної енергії.

Параметри якості електроенергії в точках приєднання споживачів в нормальних умовах експлуатації мають відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» [16].

Головні показники якості електричної енергії, зокрема напруги та частоти, такі:

– стандартна номінальна напруга U_n для мереж низької напруги загального призначення має значення 220 В між фазним і нульовим проводом або між фазними проводами:

– для трифазних чотирьох-провідних мереж: $U_n = 220$ В між фазним та нульовим проводом;

– для трифазних трьох-провідних мереж: $U_n = 220$ В між фазними проводами;

– зміна напруги не повинна перевищувати ± 10 % від величини номінальної напруги. Частота напруги електропостачання для мереж низької напруги, які синхронно приєднані до об'єднаної енергетичної системи України, має бути для систем в межах 50 Гц ± 1 % протягом 99,5 % часу за рік.

Розглянемо стандарти якості надання послуг підприємствами міського електротранспорту та іншими перевізниками, які регламентується міжнародними, національними і галузевими стандартами.

Стандарту міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України (СОУ 60.2-3363588 – 0002:2006. Послуги міського електричного транспорту. Показники якості [17]) встановлює номенклатуру показників якості послуг, які надаються міським електричним транспортом, та головні положення з визначення показників відповідно до цілей управління якістю пасажирських перевезень та вдосконалення транспортного обслуговування споживачів. Цей стандарт може використовуватись під час укладання договорів між замовниками та перевізниками щодо організації надання транспортних послуг. Вимоги цього стандарту є обов'язковими для підприємств, установ і організацій міського електричного транспорту України.

Рекомендовані показники якості транспортних послуг прийняті з урахуванням вимог європейських стандартів щодо надійності і регулярності перевезень визначаються з урахуванням:

- фінансових можливостей перевізника та замовника;
- виду транспортного засобу (трамвайний вагон або тролейбус);
- кількості транспортних засобів;
- технічних та експлуатаційних характеристик транспортних засобів;
- технічного стану системи енергопостачання, контактної мережі, колійного господарства;
- категорії перевезень (міські, приміські, міжміські);
- спроможності перевізника забезпечити необхідний обсяг пасажироперевезень протягом доби, в тому числі в години максимальних навантажень;
- кліматичних та інших місцевих умов та факторів.

Дотримання перевізником показників якості є обов'язковим. Рівень якості наданих послуг вважається забезпеченим, якщо за результатами контролю фактичні значення показників якості відповідають визначеним в договорі між замовником та перевізником.

Система управління якістю базується на відповідних міжнародних, національних, галузевих стандартах та стандартах підприємств. Один із найпопулярніших стандартів, розроблених Міжнародною організацією зі стандартизації ISO 9001:2015 [18]. Він прийнятий у більш ніж 170 країнах світу. ISO 9001 – це система управління якістю, сертифікація за якою гарантує, що підприємство може випускати продукцію на стабільному рівні якості та постійно його підвищувати. В Україні аналогом цього стандарту є ДСТУ ISO 9001:2015. Робота за принципами ISO 9001 означає, що компанія контролює якість на виробництві. Це мінімізує ризик отримання продукції невідповідної якості та перетворює роботу з поліпшення якості на фундамент виробничого процесу.

Внутрішні результати, що отримує організація від запровадження системи управління якістю, напряду залежать від зусиль, що вона докладає для покращення своєї діяльності. Зовнішні переваги організація отримує, сертифікував свою систему управління якістю у незалежному компетентному органі сертифікації. Базу стандартів на системи управління якістю формують сім принципів:

- орієнтація на замовника;
- лідерство;
- задіяність персоналу;
- процесний підхід;

- поліпшення;
- прийняття рішень на підставі фактичних даних;
- керування зв'язками.

Одним із ключових принципів побудови системи менеджменту якості відповідно до вимог ISO 9001 є процесний підхід: діяльність організації складається з ряду взаємозалежних процесів, які функціонують як цілісна система. При цьому вихідні дані одного процесу є вхідними даними для наступного. Тому процесний підхід полягає в систематичній діяльності по визначенню процесів, їхньої послідовності й взаємодії, управлінню процесами й зв'язками між ними.

Вимоги стандарту ISO 9001 [18] мають загальний характер і не передбачають забезпечення однаковості структури систем управління якістю або однаковість документації, тому що застосовні до діяльності будь-якої організації незалежно від типу, розміру та продукції, що випускається (послуги, що надаються). Текст ISO 9001 не містить вимог до інших систем менеджменту (екологічний менеджмент, техніка безпеки й охорона праці, фінансовий менеджмент), але дає змогу організації інтегрувати свою систему менеджменту якості з відповідними вимогами загальної системи менеджменту.

Визначення цільової моделі системи забезпечення енергетичної безпеки як складової національної безпеки та формування напрямів її реалізації, впровадженні в Стратегії національної безпеки України [41].

Енергетична безпека – це захищеність національних інтересів у сфері забезпечення доступу до надійних, стійких, доступних і сучасних джерел енергії технічно надійним, безпечним, економічно ефективним та екологічно прийнятним способом в нормальних умовах і в умовах особливого або надзвичайного стану.

Стратегія визначає такі загрози енергетичної безпеки:

- кіберзагрози;
- триваюча агресія РФ;
- поглиблення енергетичної бідності;
- незавершення інтеграції із системами електро- та газопостачання ЄС;
- блокування постачання необхідних ресурсів та обладнання;
- зношеність основних фондів;
- неконтрольована зміна структури генеруючих потужностей;
- відсутність енергетичних резервів;
- тінізація відносин в енергетиці;
- вплив зміни клімату на структуру та режими енергоспоживання;
- недостатній рівень конкуренції на енергоринках;
- втрата науково-технічного потенціалу.

Стратегія визначає стратегічні цілі забезпечення енергетичної безпеки для реалізації сценарію «позитивної трансформації»:

1. Доступність джерел енергії та енергоресурсів всіх видів для споживачів
2. Стійкість функціонування енергетичного сектору.
3. Економічна ефективність функціонування енергетичного сектору, систем енергозабезпечення та імпортозаміщення мінеральної сировини.
4. Енергетична ефективність використання енергоресурсів та енергоефективності національної економіки.
5. Екологічно прийнятний вплив енергетики на навколишнє природне середовище.
6. Інтеграція енергетичного сектору в політичний, технологічний, технічний, економічний та правовий простір ЄС.
7. Незалежність держави у формуванні та реалізації внутрішньої та зовнішньої політики у сфері енергетики, забезпечення реалізації національних інтересів.

Контрольні запитання до лекції 1

1. В чому складається принцип системного підходу?
2. Назвіть поняття «надійності» і з яких більш простих понять воно складається?
3. Дайте визначення поняттям «безвідмовність», «довговічність», «ремонтпридатність», «збережуваність».
4. Чим відрізняється ремонт від відновлення?
5. В яких технічних станах може перебувати об'єкт?
6. Приведіть приклад системи і назвіть елементи, з яких вона складається.
7. Які міжнародні та національні стандарти щодо якості продукції та послуг в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Ви знаєте?
8. Що є якістю систем електропостачання? Які показники якості Ви знаєте?
9. Які є важливі оцінки якості послуг міського електротранспорту?

ЛЕКЦІЯ 2

ТЕХНІЧНИЙ СТАН ОБ'ЄКТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

План

- 2.1 Головні причини змінювання технічного стану машин під час експлуатації.
- 2.2 Відмови та їхня класифікація.
- 2.3 Різновиди моделей відмов і безвідмовності.
- 2.4 Опис випадкових величин технічної експлуатації математичними методами.

2.1 Головні причини змінювання технічного стану машин під час експлуатації

Технічний стан машини (агрегату, механізму, з'єднання) визначають сукупністю мінливих в часі властивостей їхніх елементів, які оцінюються в певний момент часу і за певних умов зовнішнього середовища, поточними значеннями конструктивних або функціональних параметрів, встановлених нормативно-технічною документацією [25, 26].

Технічний стан визначають, як здатність машини виконувати свої безпосередні функції відповідно до технічних характеристик, закладених на стадії проектування, у разі певного рівня затрат на експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт. В процесі тривалої роботи машин в її деталях, агрегатах та системах виникають незворотні процеси, несправності, пошкодження, що призводять до погіршення експлуатаційних властивостей машини та зниження ефективності використання і втрати працездатності. Технічний стан машини визначають якісними показниками конструктивних параметрів, які під час експлуатації під дією різноманітних факторів змінюються від початкових (номінальних) значень, що відповідають стану нового виробу, до гранично-допустимих, а потім до граничних значень. Тобто, технічний стан є функцією часу.

Споживача, тобто того, хто експлуатує об'єкт, безумовно, цікавлять не тільки початкові показники якості, але, насамперед, динаміка їхнього змінювання протягом періоду використання машин.

Використання машини за призначенням завжди супроводжується витратами її ресурсу та переходом у непрацездатний граничний стан у результаті поступової відмови з причин старіння та зношування матеріалів.

Граничні стани машини та її елементів встановлюють на підставі критеріїв (характерних ознак або їхньої сукупності): технологічних, технічних та техніко-економічних, за якими необхідно вважати неможливим їхнє подальше використання з таких причин: неусувних порушень безпеки і виходу заданих параметрів за допустимі межі; недопустимого зниження ефективності експлуатації; потреби капітального ремонту, фізичне та моральне старіння. До технологічних критеріїв відносять сукупність ознак, що проявляються в порушенні вихідних конструктивних і технологічних регулювань внаслідок несвоєчасного контролю.

Технічні критерії – сукупність ознак, що проявляються в змінюванні розмірів, геометричної форми, виникнення дисбалансу та биття, змінюванні величини зазору і натягу, взаємного положення деталей, вібрації, нагрівання, тощо [23, 25].

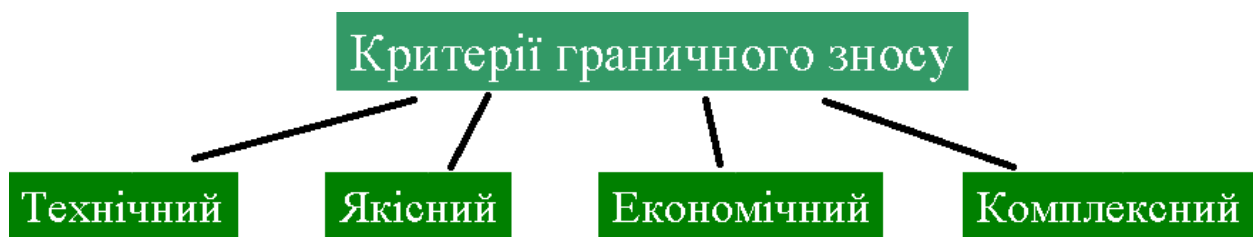


Рисунок 2.1 – Критерії граничного зносу

Техніко-економічні критерії – сукупність ознак, що вказують на технічну можливість і економічну доцільність способів забезпечення параметра технічного стану.

До факторів, які впливають на змінювання технічного стану машини, належать конструктивні, технологічні, експлуатаційні фактори, а також дія кліматичних умов, в яких працює машина, старіння з часом, операції регулювання і налагодження в ході виготовлення або ремонту та інші фактори.

Конструктивні фактори визначаються формами й розмірами деталей (від них залежать тиск на поверхню деталі, концентрація напружень, ударна міцність і міцність від втоми металу); жорсткістю конструкції, тобто властивістю деталей, особливо базових та головних, які незначно деформуватися під дією навантажень; точністю взаємного розміщення поверхонь та осей спільно працюючих деталей; правильним вибором посадок, які забезпечують надійну роботу спряжень тощо.

Технологічні фактори залежать від якості матеріалів, які використовують для виготовлення деталей, застосування відповідної термічної обробки їх та

складальних робіт (центрування, співвісності, регулювання зазорів, якості кріплення) тощо.

Експлуатаційні фактори залежать від дорожніх, транспортних і кліматичних умов. Вони найбільше впливають на технічний стан машин. Дорожні умови характеризуються типом, станом і міцністю покриттів, поздовжнім профілем дороги, режимом руху, видимістю тощо. Кліматичні умови в різні періоди року оцінюють температурою і вологістю повітря, атмосферним тиском, кількістю опадів, силою і напрямком вітру, тривалістю снігового покриву.

Транспортні умови охоплюють обсяг і відстань перевезень, умови вантаження і розвантаження, особливості організації перевезень, умови зберігання, обслуговування та ремонту машин. Залежно від умов експлуатації змінюються швидкісні і навантажувальні режими деталей, механізмів та агрегатів машин і термін їхньої безвідмовної роботи. Наприклад, на коротких перегонах частіше застосовують зчеплення, гальма, перемикають режими руху і гальмування, внаслідок чого збільшується ймовірність їхніх відмов. Під час експлуатації машин у важких дорожніх умовах збільшуються навантаження на деталі машини, в результаті чого деталі швидше спрацьовуються, настає втома металу, порушується стабільність кріплень і регулювань, а в деяких випадках трапляються поломки деталей трансмісії, ходової частини і рульового керування. Різні дорожні умови впливають на змінювання характеру дії навантажень. Вібрація рами внаслідок нерівностей дороги ослаблює заклепкові з'єднання, порушує співвісність двигуна і коробки передач, спричиняє додаткові навантаження у корпусах. Вібрація машини прискорює спрацьовування і призводить до поломки кріпильних деталей карданної передачі, радіатора і підвіски.

Серед показників, що характеризують об'єкт експлуатації, виділяють такі групи показників [20, 26]:

1) показники призначення, які характеризують ступінь відповідності машини її цільовому призначенню (продуктивність, потужність, витрата енергії, вантажопідйомність тощо);

2) показники надійності, до яких, в свою чергу, відносять: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;

3) ергономічні показники, які забезпечують оцінку зручності та комфорту експлуатації продукції в системі «людина – об'єкт – середовище» (гігієнічні (шум, вібрація), антропометричні (відповідність продукції і її елементів формі та ваги тіла людини), фізіологічні, психофізіологічні та психологічні показники);

4) екологічні показники, що характеризують машину з погляду ймовірного забруднення навколишнього середовища шкідливими відходами;

5) патентно-правові показники – характеризують якість машини з погляду кількості застосовуваних у ній нових винаходів (в тому числі вітчизняних) і з погляду патентної захищеності, закордоном. Їх характеризують критеріями патентної чистоти та територіального поширення, які визначають можливість безперешкодної реалізації виробу закордоном. У випадку відсутності патентної чистоти машина не є конкурентоспроможною.

Показники, що визначають ефективність машин, розділяють на три групи:

- показники, що визначають технічні й експлуатаційні властивості об'єкта й якість;
- економічні показники;
- показники конкурентоспроможності.

Одним з важливих показників техніко-економічного рівня продукції, у тому числі машин, є її якість.

Якість – сукупність властивостей об'єкта, які визначають ступінь придатності її для використання за призначенням.

Якість продукції – це поняття, яке характеризує параметричні, експлуатаційні, споживчі, технологічні, дизайнерські властивості виробу, рівень його стандартизації та уніфікації, надійність і довговічність.

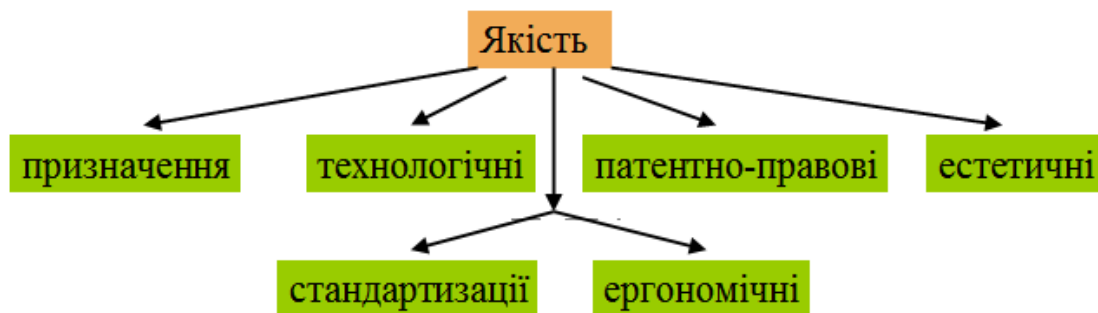


Рисунок 2.2 – Фактори якості

Важливими властивостями для оцінки якості є (див. рис. 2.2):

- технічний рівень, що відбиває матеріалізацію в продукції науково-технічних досягнень;
- естетичний рівень, що характеризується комплексом властивостей, пов'язаних з естетичними відчуттями та поглядами;
- експлуатаційний рівень, пов'язаний з технічним способом використання продукції (догляд за виробом, ремонт тощо);

– технічна якість, що припускає гармонічне ув'язування передбачуваних і фактичних споживчих властивостей в експлуатації виробу (функціональна точність, надійність, тривалість терміну служби).

2.2 Відмови та їхня класифікація

Відмова є одним з головних понять теорії надійності, яку характеризують як втрату здатності виробу виконувати задані функції [12].

Є поняття про повну і часткову відмову і загалом відмови характеризують за:

- значущістю: критичні; суттєві; несуттєві;
- характером виникнення: поступові; раптові;
- характером виявлення: явні; приховані;
- причиною виникнення: конструктивні; виробничі; експлуатаційні; деградаційні.

Конструктивні відмови – це відмови, причини появи яких є наслідком помилок під час конструювання або проектування деталей і вузлів машин. Може бути невдало вибрана і конструктивна схема машини та її агрегатів, невідомі умови експлуатації, погано захищені деталі від потрапляння абразивів, вологи тощо.

Технологічні (виробничі) відмови – відмови, що з'являються через порушення технологічних процесів виготовлення деталей і вузлів під час їхнього виробництва. Вони виникають унаслідок неправильно призначеної технології виготовлення деталі, неякісного матеріалу, низької культури виробництва тощо.

Експлуатаційні – це відмови, що виникають у результаті порушення правил і норм використання машин, спричиняються природними процесами зношування й старіння, різними ушкодженнями, внаслідок неправильної експлуатації машини або її елементів, порушення режимів технічного обслуговування та інших факторів. В умовах підприємств кількість експлуатаційних відмов можна значно зменшити дотриманням правил експлуатації машин; правильним регулюванням агрегатів, механізмів і систем; застосуванням експлуатаційних матеріалів відповідно до інструкцій заводів-виробників.

Раптова відмова – відмова, яка стається миттєво (стрибкоподібно) і об'єкт або система не забезпечують нормальної роботи. Поступова відмова – це повільне змінювання параметрів об'єкта або системи, після якого вони не забезпечують нормальної роботи. Обидва види цих відмов умовні, тому що час,

протягом якого вихідний параметр виходить з меж, що допускаються, не регламентовано.

До факторів впливу інтенсивності зношування належать такі:

– умови роботи (питомий тиск, характер навантаження, температурний та швидкісний режими);

– властивості матеріалів та їхня змінність в процесі роботи;

– умови роботи спряжень, характер контакту і обробки матеріалів;

– вид і властивості продуктів зношування;

– своєчасність і якість технічного обслуговування;

– якість паливно-мастильних матеріалів.

До напрямків досліджень зношування належать такі [20]:

– отримання максимального ресурсу деталей;

– можливості керування характером зношування таким чином, коли змінювання геометрії робочої частини забезпечує заданий рівень виконання машиною технічних вимог;

– можливості зниження опору абразивного матеріалу в напрямку руху машини з метою зменшення витрат на мастильні матеріали та металомісткості конструкції.

Головною причиною зниження надійності в процесі експлуатації є знос і старіння компонентів об'єкта. Знос призводить до змінювання параметрів об'єкта, порушення працездатності, поломки, зниження міцності [1, 5].

Старіння спричиняє змінювання фізико-механічних властивостей матеріалів, що викликає несправності або відмови. Надійність об'єкта на стадії експлуатації можна проілюструвати графіком типової залежності інтенсивності відмов об'єкта від часу експлуатації, наведеним на рисунку 2.3.

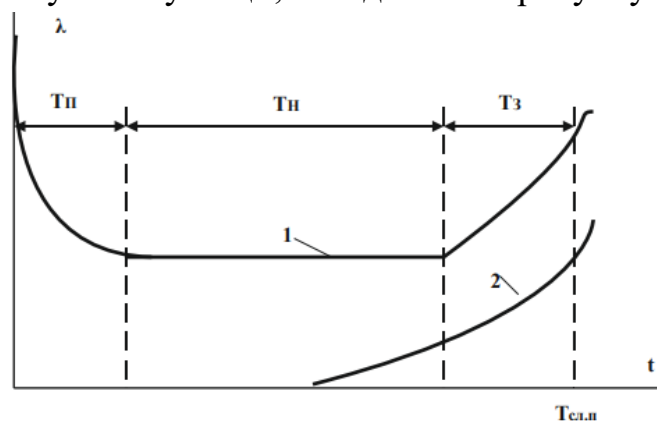


Рисунок 2.3 – Залежність інтенсивності відмов об'єкта від часу експлуатації:

1 – крива інтенсивності відмов; 2 – крива старіння; T_p – період приробітку;

T_n – період нормальної роботи; T_z – період зносу; $T_{сл.п}$ – призначений термін служби (сумарна календарна тривалість експлуатації)

У період приробітку надійність, у першу чергу, визначається конструкційно-технологічними факторами, що призводить до підвищеної інтенсивності відмов. У міру виявлення та усунення цих факторів надійність об'єкта досягає номінального рівня, який зберігається в тривалому періоді T_H нормальної експлуатації обладнання. Протягом експлуатації в об'єкті накопичуються прояви зношення і втоми, інтенсивність яких зростає зі збільшенням терміну експлуатації об'єкта (зростаюча крива 2 на рис. 2.4). Настає період T_3 інтенсивного зносу об'єкта, який закінчується його переходом у граничний стан та зняттям з експлуатації.

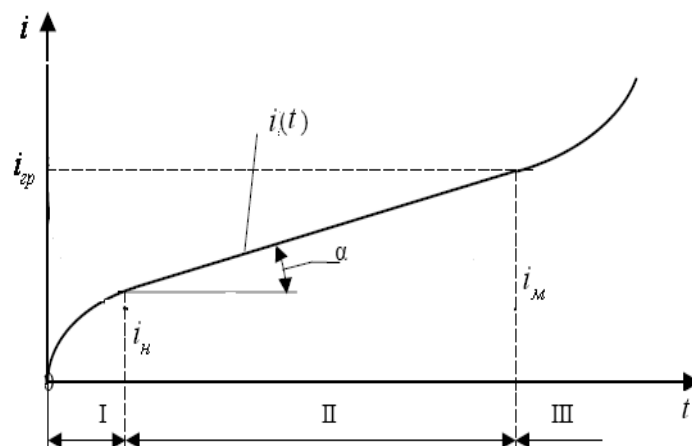


Рисунок 2.4 – Залежність зношення від напрацювання:

- I – припрацювання поверхонь тертя; II – період нормальної експлуатації;
- III – період аварійного (початок граничного) зношення

Параметр максимально допустимого зношення i_M визначають за формулою:

$$t_M = t_0 + \frac{i_M - i_H}{tg\alpha},$$

де t_0 – довготривалість припрацювання деталей;

i_H – зношення, що відповідає номінальному після припрацювання;

$tg\alpha$ – характеристика інтенсивності зношування.

Причинами раптових і поступових відмов є крихке руйнування, пластична деформація, повзучість, втома матеріалів, зношування, корозія металів, старіння матеріалів тощо [5, 7].

Крихке руйнування деталей відбувається у разі виникнення значних ударних навантажень під час роботи за умови низьких температур (сталі з добавками фосфору, азоту), значних залишкових напружень, наприклад, у зварних з'єднаннях, наявності місцевих дефектів у матеріалі, значній

концентрації напружень, дії факторів, які не пов'язані з механічними напруженнями (теплова та радіаційна крихкість).

Пластична деформація виникає у разі перевантаження деталей з в'язких (пластичних) матеріалів. Внаслідок пластичної деформації змінюється геометрія форми деталей (викривлення осей і валів, осадка пружин, вм'ятини на поверхнях кочення бандажів, рейок, доріжок кочення кульок підшипників шпонок, шліців).

Повзучість – повільна та неперервна пластична деформація деталей, яка виникає у разі тривалої дії напружень вище межі пружності, нагріві до температур рекристалізації.

Втома матеріалів – процес змінювання субструктури, мікроструктури та макроструктури матеріалу під тривалою дією циклічно змінюваних у часі механічних напружень і деформацій, які супроводжуються зміною механічних і фізичних властивостей. Втома матеріалу суттєво залежить від багатьох факторів, до яких належать: розміри поперечного перерізу, фактори навантаження, хімічний склад, механічні властивості, якість обробки поверхні і умови експлуатації.

Зношування характеризується змінюванням розмірів, форми, маси чи стану поверхні деталі внаслідок руйнування мікрооб'ємів поверхневого шару деталі під час тертя. Розрізняють: механічне, молекулярно-механічне, корозійно-механічне та інші види зношування.

Під час корозії відбувається змінювання матеріалу під дією довкілля (повітря, рідини, газу, температури тощо). Метали при цьому змінюють свої властивості. Корозія – це реакція, що відбувається на межі різних фазових середовищ. У природі цей процес відбувається з виділенням енергії. Тому його можна лише призупинити (зупинити неможливо). Найбільш поширеною є електрохімічна корозія. Під її дією руйнуються поверхні транспортних машин (крила і кабіни автомобілів, тракторів тощо).

Головними причинами змінювання технічного стану електрообладнання, наприклад, електродвигунів, є перегрів [23].

Теплове старіння – це незворотні процеси, що відбуваються в діелектрику і ведуть до монотонного погіршення його діелектричних і механічних властивостей.

Пошкодження межвіткової ізоляції – одна з найбільш розповсюджених причин виходу з ладу електродвигунів і іншої апаратури.

В процесі експлуатації обмотки електричних апаратів підлягають або тепловому старінню, або старінню під дією вологи. Зволоженню піддається ізоляція електроустаткування, яке мало використовують протягом доби або року і яке розташоване в сирих або особливо сирих приміщеннях.

Знос підшипників тягне за собою перегрів електродвигунів і більш швидке теплове старіння обмоток. Крім цього, зменшується повітряний зазор між ротором та статором, і погіршуються енергетичні та механічні характеристики електроприводу. При надмірному зносі може виникнути заклинювання електродвигуна і вихід його з ладу.

Механічне пошкодження обмоток обладнання в експлуатації визначається дією електродинамічних сил – радіальних, осьових і тангенціальних. Радіальні сили стискають одні обмотки і розтягують інші. У двох-обмотковому обладнанні стискаючим радіальним силам зазвичай піддаються внутрішні обмотки. Залишкові деформації обмоток під дією стискаючих радіальних сил називаються втратою радіальної стійкості. Вони викликають ослаблення ізоляції обмотки та зниження її електричної міцності. Втрата осової стійкості може призвести до руйнування ізоляції, зростання осових сил, що пов'язане з виникненням несиметрії обмоток через зсув провідників, внутрішнього короткого замикання.

Перевантаження систем електропостачання призводять до підвищення температури нагрівання ізоляції електротехнічних пристроїв вище допустимої і різкого зниження терміну її служби. Електричні й механічні перевантаження відбуваються в результаті несправності механізмів електроустановок, значних змін частоти або напруги мережі живлення, загустіння мастила механізмів у холодну погоду, перевищення номінальної розрахункової температури навколишнього середовища в окремі періоди року і дня тощо. Високі температури також викликають механічні та електричні пошкодження елементів електротехнічних пристроїв, прискорюючи їхнє зношення і старіння. Вплив підвищеної температури на надійність роботи електротехнічних пристроїв проявляється в найрізноманітніших формах: утворюються тріщини в ізоляційних матеріалах, зменшується опір ізоляції, а значить, збільшується небезпека електричних пробіїв, порушується герметичність (починають витікати заливні й просочувальні компаунди). У результаті порушення ізоляції в обмотках трансформаторів, електромагнітів і електродвигунів виникають пошкодження. Так само підвищена температура дуже впливає на роботу механічних елементів електротехнічних пристроїв [2, 26].

2.3 Різновиди моделей відмов і безвідмовності

В процесі експлуатації об'єктів події, які визначають перехід його до різних технічних станів, відбувається випадковим чином.

Інтервал часу перебування виробу у певному стані має випадкову тривалість це:

– напрацювання до відмови, напрацювання між відмовами, напрацювання до критичної відмови,

– ресурс, термін служби, термін зберігання, час відновлення. Всі випадкові тривалості є неперервними і вимірюються в одиницях часу, звичайно – в годинах або в одиницях, пропорційних часу (кількість циклів, запусків, обертів).

Вичерпною характеристикою будь-якої випадкової величини, у тому числі і випадкових тривалостей t , є ймовірнісний розподіл цієї випадкової величини або функція розподілу. Незалежно від складності кожен об'єкт (елемент, функціональна система, складна система з резервуванням) має свою функцію розподілу напрацювання $F(t)$. Оскільки значення, яке має випадкова величина t , визначає на осі часу момент появи відмови, то функцію розподілу $F(t)$ називають *моделлю розподілу відмов* або моделлю відмов. Зазначимо, що випадковими величинами в оцінці надійності електроенергетичних, електротехнічних і електромеханічних систем (ЕЕЕС) може бути значення пробігу, виконаний рухомим складом електричного транспорту, транспортних засобів з електричним і гібридним приводом тощо. Тому *модель відмов* може виражатися як залежність від пробігу $F(l)$.

Модель відмов – це математична модель у вигляді функції розподілу відмов або ймовірності появи відмов в заданий момент часу (функція розподілу напрацювання до відмови).

Модель відмов однозначно пов'язана з функцією безвідмовності $R(t)$ (або $R(l)$), яка має назву моделі надійності, розглянемо таке її визначення.

Модель надійності (безвідмовності) – це математична модель, яка встановлює зв'язок між показниками надійності об'єкта, характеристиками надійності елементів його структури та параметрами процесу функціонування об'єкта.

Отже, побудова моделі надійності, тобто розрахунок ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ як функції напрацювання, передбачає визначення аналітичного виразу для щільності розподілу напрацювання до відмови $f(t)$, враховуючи, що застосування тієї або іншої теоретичної моделі відмов обумовлює певну точність обчислюваних кількісних показників надійності.

Аналітичний вираз для щільності розподілу напрацювання до відмови $f(t)$, або функції розподілу $F(t)$, можна отримати двома принципово різними способами:

1) на підставі аналізу статистичних даних з напрацювання до відмови (ресурсу, терміну безвідмовного зберігання тощо);

2) на підставі аналізу фізичних процесів деградації в елементах виробу, які призводять до відмови (граничного стану).

Перший спосіб встановлення закономірностей виникнення відмов полягає у залученні (використанні) деяких розподілів випадкових величин, відомих з теорії ймовірностей (експоненціальний, логарифмічно нормальний і деякі інші розподіли), як моделі відмов. Причому, відмову розглядають як відвернену випадкову подію, а моделі відмов вважають ймовірнісними.

Другий спосіб для встановлення закономірностей виникнення відмов ґрунтується на результатах аналізу закономірностей перебігу фізичних процесів, які призводять до відмов. Причому, фізичні процеси деградації розглядають як випадкові. Практичне застосування такого підходу дають моделі відмов, які адекватно відображають фізичні процеси деградації в елементах техніки, параметри одержаного розподілу напрацювання до відмови мають конкретну фізичну інтерпретацію. Такі моделі відмов називають ймовірнісно-фізичними [12].

Повний життєвий цикл кожного об'єкта супроводжується вирішенням комплексу завдань з оцінювання його надійності:

- розрахунок показників надійності на ранніх етапах проєктування;
- підтвердження досягнутого (заданого) рівня надійності експериментальними методами на кінцевих етапах проєктування і виробництва;
- визначення норм кількості запасних виробів для забезпечення надійності під час експлуатації, оптимізація параметрів системи технічного обслуговування і ремонтів.

Розв'язання зазначених завдань передбачає використання тієї або іншої моделі відмов, яке забезпечує, по-перше, вирішення цих завдань і, по-друге, збіжність результатів розрахункових і експериментальних оцінок.

Функція розподілу, яку використовують як модель відмов, повинна давати змогу вирішувати такі головні завдання теорії надійності [1, 5, 26, 27]:

- розрахунок показників безвідмовності невідновлюваних (резервованих і нерезервованих) систем, наприклад, середнього і гамма-відсоткового напрацювання до відмови, ймовірності безвідмовної роботи, залишкового ресурсу;

- розрахунок показників безвідмовності відновлюваних (резервованих і нерезервованих) систем, наприклад, середньої кількості відмов, параметра потоку відмов, середнього напрацювання на відмову на будь-якому інтервалі часу і на будь-який момент експлуатації функціональної системи;

- прогнозування довговічності під час проєктування (оцінки середнього та гамма-відсоткового ресурсу або терміну служби), а також під час

експлуатації (оцінки середнього й гамма-відсоткового залишкових ресурсів) виробів та систем;

- розрахунок комплексних показників надійності (наприклад, коефіцієнтів готовності);

- розрахунок показників ефективності (наприклад, ймовірності відновлення справності в заданий час, середньої тривалості обслуговування) системи;

- планування визначальних і контрольних випробувань виробів на надійність;

- розрахунок норм запасних елементів і виробів;

- обробку й одержання оцінок (точкових та інтервальних) показників надійності за показниками експлуатації.

Виходячи з кінцевої мети – вирішення завдань надійності, обґрунтуємо особливості, яким повинні задовольняти різні моделі розподілу відмов в інтервалі часу, обумовленому ресурсом або терміном служби об'єкту або системи. Визначення цих особливостей необхідне також для порівняльного аналізу різних моделей відмов і оцінювання можливості застосування їх в розрахунках показників надійності. Відповідно до рекомендацій нормативних документів такими особливостями можна вважати: фізичність, адекватність, можливість виконання розрахунків надійності системи, універсальність та практичну придатність.

Фізичність. Під час випробувань об'єктів, спроектованих на сучасній високонадійній елементній базі, не завжди є можливість зібрати необхідний обсяг статистики з відмов. В цьому випадку головним критерієм вибору моделі відмов є фізичне обґрунтування вибору моделі відмов для розрахунків надійності. Важливо, наскільки ця модель враховує причинно-наслідкові зв'язки і процеси відмов, а також динаміку деградації, які призводять до виникнення відмов тощо. Однак, якщо статистичної інформації з відмов достатньо, фізичне обґрунтування залишається важливим критерієм для визначення остаточного рішення.

Адекватність. Застосування обраної моделі відмов, має забезпечити достатньою точністю опису різних форм розподілів у значному діапазоні значень коефіцієнтів варіації, асиметрії. Використання більш адекватних моделей дає змогу точніше оцінити показники надійності як розрахункові, так і експериментальні. Крім того, уточнення оцінок показників надійності скорочує тривалість випробувань, обсяг необхідної статистичної інформації про надійність, а також зменшує витрати.

Можливість виконання розрахунків надійності систем. Важливою властивістю функції розподілу, яку застосовують як модель відмов, вважають можливість проведення розрахунків надійності на її базі. Розрахунок безвідмовності може бути виконано тільки на базі функції розподілу, яка має властивість згортки розподілів. З відомих розподілів, які застосовують в розрахунках надійності, тільки функції експоненціального, нормального мають цю властивість.

Універсальність. Для забезпечення збіжності результатів розрахункових і експериментальних оцінок надійності об'єктів функція розподілу, яку використовують як теоретичну модель відмов, повинна надавати можливість вирішувати всі необхідні завдання надійності, тобто залежно від обсягу розв'язуваних завдань виконувати оцінку певної кількості показників. Це свідчить про певну універсальність прийнятої моделі відмов.

Практична придатність. Для розрахунку важливою є простота аналітичних виразів всіх необхідних характеристик розподілу, а також зручність їхнього застосування під час розв'язування конкретних завдань надійності. Ця особливість реалізується в моделях розподілу, які мають меншу кількість параметрів, а також в моделях, виражених відомими і табульованими функціями.

2.4 Опис випадкових величин технічної експлуатації математичними методами

Випадковою величиною називають величину, яка в результаті досліду може прийняти будь-яке значення, причому невідомо яке саме, що залежить від випадкових факторів, які не можуть бути повністю враховані.

До випадкових величин відносять час відмови елементів систем електропостачання, кількість елементів, які вийшли з ладу за визначений час і інші вимірювання. Випадкові величини виражають часом або пробігом.

Випадкові величини, що приймають тільки відокремлені одне від одного значення, які можна заздалегідь перелічити, називають дискретними випадковими величинами.

Якщо можливі значення випадкових величин не відокремлені одна від одної, вони безупинно заповнюють деякий проміжок, що іноді має різко виражені межі, а частіше – межі невизначені, розпливчасті, то такі випадкові величини називають безперервними.

Характеристиками випадкових величин є закон розподілу (нормальний, показовий та ін.) й числові характеристики (математичне очікування, дисперсія, середньоквадратичне відхилення тощо).

Законом розподілу випадкової величини називають будь-яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини й відповідними їм ймовірностями. Емпіричним аналогом функції щільності розподілу є гістограма.

Математичне очікування – це середньостатистичне значення ряду випадкових величин, що є місцем найбільшого їх скупчення.

Математичне очікування ряду випадкових величин $X(i)$ знаходять за формулою:

$$m_x^* = \sum_{j=1}^k x_j \cdot P_j^* , \quad (2.1)$$

де m_x^* – математичне очікування ряду випадкових величин;

x_j – середина j -го розряду;

P_j^* – частота (ймовірність події).

В оцінці надійності ЕЕЕС математичне очікування приймає значення середнього напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$ або середній пробіг $L_{\text{сер}}$.

Дисперсія показує ступінь розсіювання випадкових величин від середньостатистичного значення.

Значення статистичної дисперсії D_x знаходять за формулою:

$$D_x = \sum_{j=1}^k (x_j - m_x)^2 P_j^* . \quad (2.2)$$

Середнє квадратичне відхилення випадкової величини показує відхилення випадкових величин від математичного очікування.

Середньоквадратичне відхилення σ_x^* визначають за формулою:

$$\sigma_x^* = \sqrt{D_x} . \quad (2.3)$$

До числових характеристик випадкових величин належить коефіцієнт варіації, який характеризує відносне розсіювання випадкової величини і його визначають за формулою:

$$v = \frac{\sigma_x}{m_x} . \quad (2.4)$$

та середнє гармонійне значення, яке визначають за формулою:

$$m_x = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}}. \quad (2.5)$$

Напрацювання – тривалість або обсяг роботи об'єкта. Загалом напрацювання може вимірюватись в одиницях часу, маси, довжини, площі, об'єму, в циклах тощо. Наприклад, напрацювання вантажопідйомного крана – в тонах вантажу, напрацювання автомобільної шини – в кілометрах пробігу, напрацювання екскаватора – в кубометрах ґрунту, напрацювання реле – в циклах вмикання, напрацювання двигуна – в годинах роботи і так далі.

Напрацювання може бути добовим, місячним, до першої відмови, між відмовами, до граничного стану тощо. У процесі роботи об'єкта з перервами враховується сумарне напрацювання. У разі експлуатації об'єкта в різних режимах навантажень кожний їхній рівень враховується окремо. Напрацювання не слід плутати з календарною тривалістю експлуатації. Напрацювання – це узагальнене поняття для тривалості або обсягу роботи об'єкта, яке дає змогу застосувати одні й ті самі математичні методи до об'єктів різного виду та призначення.

Ресурс об'єкта є випадковою величиною, змінювання якої створюється за дією технологічних і експлуатаційних факторів: відхилення розмірів об'єкта, відхилення механічних характеристик об'єкта, відхилення макро- та мікроструктури матеріалу об'єкта, відхилення режимів термообробки, змінювання: механічних, теплових та інших навантажень, атмосферних умов, абразивного середовища на поверхнях тертя, умов змащення тощо.

Ресурс є основним показником довговічності деталей, вузлів і агрегатів машин. Розрізняють: ресурс середній, медіанний, гамма-відсотковий, до першого капітального ремонту, міжремонтний, сумарний, назначений.

Строк служби також є випадковою величиною, оскільки назначається ресурсом об'єкта і часом, протягом якого об'єкт не працює та який також є випадковою величиною.

Строк служби є головним показником довговічності машин [25, 26]. Розрізняють: строк служби середній, медіанний, гамма-відсотковий, до першого капітального ремонту, міжремонтний, до морального старіння, до граничного стану.

Час поновлення працездатного стану – це тривалість поновлення працездатного стану об'єкта. Це теж випадкова величина, оскільки кожна складова цього часу є випадковою величиною.

Строк зберігання – календарна тривалість зберігання та (або) транспортування об’єкта, протягом і після якої зберігаються значення показників безвідмовності, довговічності та ремонтно-придатності в заданих межах. Строк зберігання також є випадковою величиною, оскільки його визначають багато змінних в часі факторів: умови зберігання, захист від шкідливих зовнішніх впливів, захист від корозії, стійкість до старіння матеріалів тощо.

Під час аналізу надійності переважно застосовують закони розподілу, зазвичай, нормальний і показовий та інші. Визначити який закон розподілу мають випадкові величини можна за зовнішнім виглядом гістограми. На рисунку 2.5 подані зовнішній вигляд законів розподілу.



Рисунок 2.5 – Графіки щільності розподілу випадкових величин

Графік щільності ймовірності наведений на рисунку 2.5 безперервною лінією, що за суттю є теоретичною кривою.

Нормальному закону розподілу підпорядковуються:

- час безвідмовної роботи виробничих систем, втрата працездатності яких пов’язана, в головному, з поступовими відмовами, при цьому частка раптових відмов вельми мала;

- випадкові величини масових явищ, на які впливає велика кількість різних за величиною факторів (наприклад, зношення і втома деталей, технологічні похибки, точність вимірювань, одержуваних під час обробки тощо).

Математичне очікування в цьому законі розподілу визначає положення центра кривої на осі абсцис, а середнє квадратичне відхилення – ширину фігури, описаної цією кривою. Крива щільності розподілу випадкової величини тим гостріша і вища, чим менше значення σ (рис. 2.6).

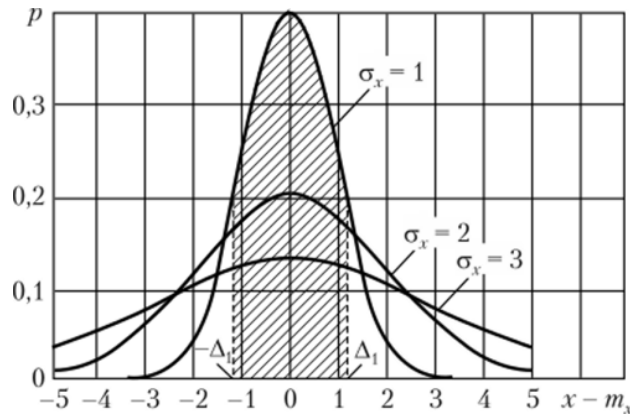


Рисунок 2.6 – Крива нормального розподілу за різних значеннях σ

Крива нормального розподілу поширюється в межах значень аргументу t від $-\infty$ до $+\infty$. Це не дуже вагомий її недолік, оскільки площа, окреслена кінцями кривої, що прямують до нескінченності, відображає дуже малу ймовірність відмови об'єкта. Так, імовірність відмови за період до $m_t - 3\sigma$ становить лише 0,135 % і може не враховуватись у розрахунках (рис. 2.7).

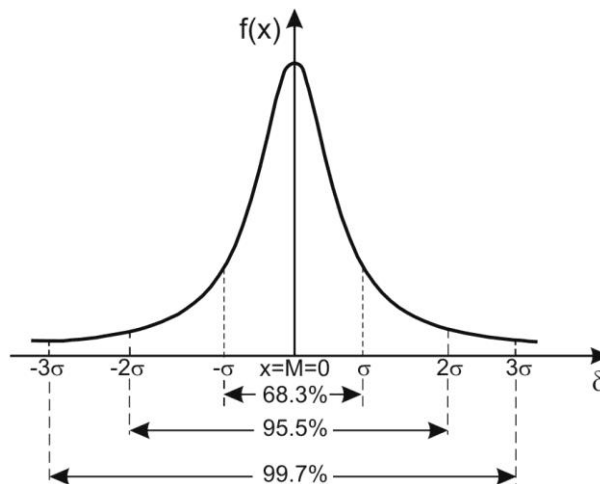


Рисунок 2.7 – Нормована крива розподілу

Нормальному закону розподілу підлягають тільки неперервні випадкові величини. Параметрами нормального закону розподілу є математичне очікування m_x і середнє квадратичне відхилення σ_x . Інші закони розподілу вимагають великої кількості числових характеристик.

Нормальний закон розподілу визначають щільністю ймовірності [25, 26]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x^*)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.6)$$

Нормальний закон розподілу використовують, коли випадкова величина залежить від великої кількості випадкових факторів, однорідних за своїм впливом, за цим вплив кожного з них у порівнянні з усією їхньою сукупністю

незначний. Цим законом розподілу добре описуються результати незалежних вимірювань фізичних величин, а також користуються під час оцінювання надійності виробів в процесі їхнього зношування і, відповідно, старіння. Його використовують для визначення часу напрацювання до відмови.

Монотонне зростання інтенсивності відмов з плином часу – характерна ознака нормального розподілу. Нормальний розподіл істотно відрізняється від експоненціального. Він описує поведінку об'єктів, яким типове зношення. Іноді описується час відновлення ремонтіваних об'єктів і сумарне напрацювання до середнього ремонту.

У разі деякого напрацювання t імовірність відмови $F(t)$ наближається до 1,0, а імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ падає до нуля (рис. 2.8).

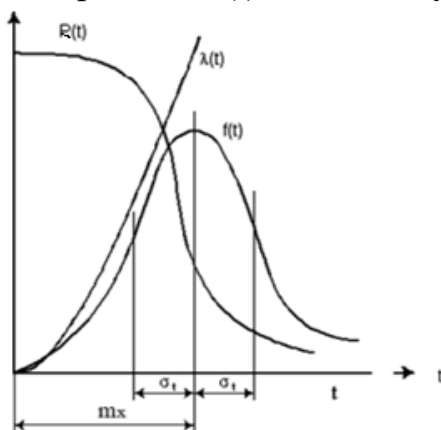


Рисунок 2.8 – Графіки змінювання основних параметрів надійності за нормальним законом розподілу

Під час аналізу надійності переважно застосовують закони розподілу, які визначають за допомогою невеликої кількості числових характеристик. Так, показовий (експоненціальний) закон розподілу визначають лише одним параметром – математичним очікуванням випадкової величини (рис. 2.9).

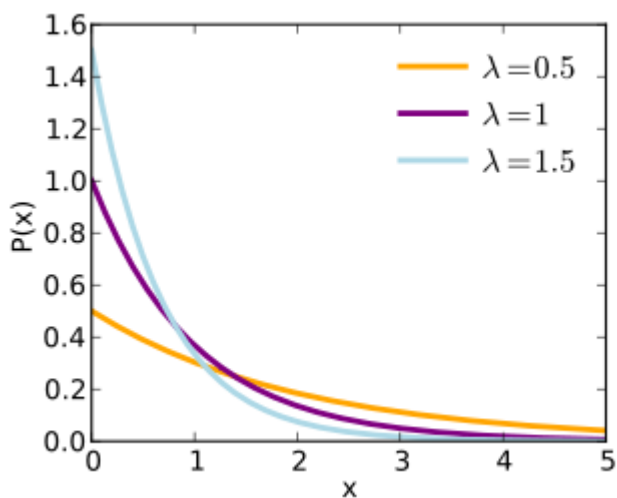


Рисунок 2.9 – Крива нормального розподілу за різних значень λ

Експонентному закону підпорядковуються:

- напрацювання деталей з раптовим характером відмов;
- проміжки часу між надходженнями рухомого складу в зону ремонту;
- час відновлення рухомого складу у разі поточного ремонту.

Математичною моделлю виникнення показового (експоненціального) закону є такі умови, коли поодинокі пошкодження призводять до раптової відмови складного виробу, наприклад, перегорання лампочки, прокол шини, поломка колінчастого валу тощо.

Щільність ймовірності показового закону розподілу така:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad (2.7)$$

де x – випадкова величина;

λ – параметр закону, який представляє інтенсивність відмов;

$$m_x^* = \frac{1}{\lambda} - \text{середній ресурс.}$$

У теорії надійності закон розподілу Вейбула займає одне з центральних місць під час дослідження характеристик надійності складних технічних систем та машин. Він набув широкого застосування завдяки універсальності. Він є найбільш загальним розподілом наробітку безвідмовної роботи елементів, тривалості роботи машини до граничного стану, для опису розподілів термінів служби машин і характеристик втомленості металів, які призводять до відмови.

Розподіл Вейбула – достатньо гнучка функція, здатна добре вирівнювати різноманітну статистику відмов [25–27]. На відміну від багатьох інших, він більш універсальний, оскільки при певних значень параметрів він може трансформуватись в експоненціальний розподіл, нормальний та інші розподіли.

Розподіл ресурсів машин за законом Вейбула слід очікувати в умовах експлуатації, які змінюються в широких межах, у разі середнього рівня технології виготовлення та середніх навантажень. Залежно від вибірки випадкових величин, області та завдань дослідження, використовують трьох-параметричний або двох-параметричний розподіл Вейбула.

Щільність ймовірності закону розподілу Вейбула така:

$$f(X) = \frac{\nu}{a} \left(\frac{X}{a} \right)^{\nu-1} \cdot e^{-\left(\frac{X}{a} \right)^\nu}, \quad (2.7)$$

Функція відмов:

$$F(X) = 1 - e^{-\left(\frac{X}{a} \right)^\nu}, \quad (2.8)$$

де a і ν – параметри закону (емпіричні коефіцієнти).

Використання закону Вейбула в практиці технічної експлуатації створюється для оцінювання:

- ресурсу деталей, що руйнуються внаслідок втомленості;
- напрацюванні до відмови кріпильних деталей;
- простоїв машин в поточному ремонті.

Контрольні запитання до лекції 2

1. Назвіть основні причини змінювання технічного стану машин під час експлуатації.
2. Що є відмовою? Що є моделлю відмов?
3. Як поділяють відмови за значущістю, характером виявлення і виникнення?
4. Які фактори впливають на фізичне зношування виробів?
5. Назвіть які фактори впливають на інтенсивності зношування виробу.
6. Дайте визначення випадкової величини.
7. Назвіть числові характеристики випадкових величин.
8. Які закони розподілу випадкових величин Ви знаєте?
9. Що є математичним очікуванням і дисперсією випадкових величин?
10. Які відмови описуються нормальним законом розподілу, а які показовим?
11. Що характеризує інтенсивність відмов технічних засобів?
12. Наведіть загальний закон надійності технічного засобу.

ЛЕКЦІЯ 3

ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ

План

- 3.1 Показники надійності невідновлюваних і відновлювальних об'єктів.
- 3.2 Комплексні оціночні показники надійності технічних систем.
- 3.3 Оціночні показники складових надійності технічних систем.
- 3.4 Показники оцінювання якості та надійності систем електропостачання.
- 3.5 Економічні показники надійності.

3.1 Показники надійності невідновлюваних і відновлювальних об'єктів

Головними нормованими показниками надійності *невідновлюваних* об'єкту можуть бути такі показники [9, 13, 25]:

- ймовірність безвідмовної роботи, $R(t)$;
- ймовірність відмови, $F(t)$;
- частота відмов, $P(t)$;
- інтенсивність відмов, $\lambda(t)$;
- середнє напрацювання до першої відмови, $T_{\text{сер}}$.

Час настання відмови T є величиною випадковою, тому $F(t)$ – це ймовірність того, що випадкова величина T набуває значення, що є меншим або дорівнює t розподілу відмов, де t – час, за який визначається показник надійності.

Ймовірністю відмови називають ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу виникне хоча б одна відмова.

Ймовірністю безвідмовної роботи $R(t)$ називають ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу або у межах заданого напрацювання t не відбудеться жодної відмови.

Враховуючи, що безвідмовна робота і відмова є подіями несумісними і протилежними, то між ними є таке співвідношення:

$$R(t) = F(t) - 1. \quad (3.1)$$

Оскільки $F(t)$ є законом розподілу випадкової величини (відмов), то залежність між можливими значеннями безперервної випадкової величини T та ймовірностями влучання в їхні межі називають щільністю ймовірності. На момент початку об'єкт є працездатним, тобто $R(0) = 1$, з часом технічний стан

об'єкта погіршується і функція $R(t)$ монотонно спадає до 0 так, як це показано на рисунку 3.1. При цьому абсолютно зрозумілим є те, що $R(1) = 0$, тобто будь-який об'єкт з часом t відмовить.

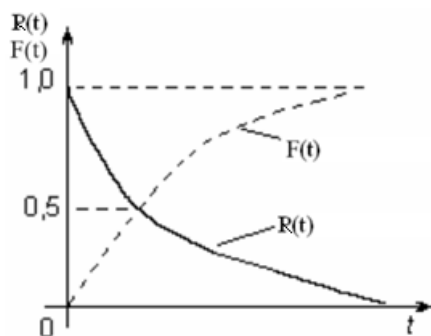


Рисунок 3.1 – Характеристики змінювання ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови

На практиці використовують статичні ймовірнісні характеристики, які визначають за експериментальними даними. При цьому допускається, що в досліді використовуються однакові події і випробування проводяться в однакових умовах.

Наступною важливою характеристикою є *інтенсивність відмов*, під якою розуміють ймовірність відмови в одиницю часу за умови, що до цього моменту відмови не виникало. Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтованих і невідновлюваних об'єктів.

Найчастіше нормованими показниками надійності *відновлюваних* об'єкту є параметр потоку відмов $\omega(t)$, середнє напрацювання до відмови $t_{\text{ср}}$, ймовірність відновлення працездатності об'єкту протягом часу t $R_v(t)$, інтенсивність відновлення $\mu(t)$ тощо. Для відновлюваних об'єктів існує зацікавленість у вивченні послідовності випадкових подій, що демонструють повторюваність відмов, які виникають в результаті багаторазових відновлень. Послідовність відмов називають потоком відмов.

3.2 Комплексні оціночні показники надійності технічних систем

Кількісні характеристики надійності можуть мати одиничну оцінку (наприклад, ремонтпридатність), що характеризує тільки одну з властивостей технічного об'єкта. Водночас є комплексні показники, які характеризують деякі властивості, і використовуються як головні для оцінювання ефективності таких складних об'єктів, як системи енергозабезпечення, рухомий склад тощо. До цих показників належать коефіцієнт технічної готовності, коефіцієнт технічного використання, коефіцієнт збереження ефективності [9, 26].

Коефіцієнт готовності для систем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки трактують як коефіцієнт технічної готовності.

Коефіцієнт готовності – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Коефіцієнт готовності визначають як відношення часу справної роботи до суми часів справної роботи і вимушених простоїв об'єкта, взятих за один і календарний термін:

$$K_{\text{ТГ}} = t_{\text{сробр}} / t_{\text{сробр}} + t_{\text{прос}}, \quad (3.2)$$

де $t_{\text{сробр}}$ – сумарний час справної роботи об'єкту;

$t_{\text{прос}}$ – сумарний час вимушених простоїв.

Для переходу до ймовірнісного трактування величини коефіцієнт готовності замінюються математичними сподіваннями часу між сусідніми відмовами і часу відновлення відповідно:

$$K_{\text{ТГ}} = t_{\text{ср}} / t_{\text{ср}} + t_{\text{в}}, \quad (3.3)$$

де $t_{\text{ср}}$ – середній наробіток до відмови;

$t_{\text{в}}$ – середній час відновлення.

Коефіцієнт технічної готовності для систем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки можна розраховувати через кількість технічних засобів, що є в наявності та кількості з них в несправному стані [24]:

$$K_{\text{ТГ}} = N_i - N_p / N_i, \quad (3.4)$$

де N_i – інвентарна кількість рухомого складу;

N_p – кількість технічних засобів, що потребують ремонту.

3.3 Оціночні показники складових надійності технічних систем

Усі складові надійності оцінюються на підставі кількісних характеристик. Так безвідмовність оцінюють такими показниками: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов, середнє напрацювання на відмову [4, 5, 25].

Довговічність характеризують такими показниками: середній ресурс, експлуатаційний ресурс (середній термін служби), гамма-відсотковий ресурс.

Ремонтопридатність характеризують показники: імовірність відновлення, інтенсивність відновлення, середня тривалість відновлення.

Розглянемо, як визначають оціночні показники надійності технічних систем та їхніх складових.

Коефіцієнт відмов – це величина, що показує, який відсоток становлять від загальної кількості відмов відмови i -того агрегату або системи, який визначають за формулою:

$$K_{\text{відм}} = \frac{m_i}{m_0} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де m_i – кількість відмов i -ого агрегату, системи (наприклад, кількість відмов електричного або механічного обладнання) за відповідний період;

m_0 – кількість всіх відмов (окремих систем, агрегатів, якщо розглядається надійність їхніх елементів) за відповідний період.

Параметр потоку відмов – величина, що визначає кількість відмов технічної системи або її елемента на одну годину напрацювання за відповідний період:

$$\omega(T) = \frac{m_i}{T_{\text{ДР}}}, \quad 1/\text{ГОД}, \quad (3.6)$$

де $T_{\text{ДР}}$ – сумарне річне напрацювання відповідних технічних засобів, або напрацювання за відповідний період (місяць, квартал тощо).

Середнє напрацювання на відмову – величина, обернена до параметру потоку відмов, визначає середнє значення напрацювання до першої відмови (або між відмовами):

$$T_{\text{сер}} = \frac{T_{\text{ДР}}}{m_i} = \frac{1}{\omega(T)}, \quad \text{ГОД}. \quad (3.7)$$

Ймовірність безвідмовної роботи визначає ймовірність того, що рухомий склад (об'єкт) в цілому буде працювати без відмов на протязі заданого періоду напрацювання:

Для рухомого складу депо ймовірність безвідмовної роботи $R(T)$ або $R(L)$ визначають за величиною пробігу, а для елементів технічних засобів (для систем електропостачання та освітлення тощо) напрацювання визначають кількістю годин роботи:

$$R(L) = 1 - \frac{N_{\text{відм}}}{N_i}, \quad R(T) = 1 - \frac{N_{\text{відм}}}{N_i}, \quad (3.8)$$

де $N_{\text{відм}}$ – кількість рухомого складу або об'єктів, в яких хоч раз відбулася відмова будь-якого вузла або елемента за період, що розглядається.

Функції розподілу відмов рухомого складу і технічних засобів описуються рівняннями:

$$P(L) = e^{-\omega \cdot L}; \quad P(T) = e^{-\omega \cdot T}, \quad (3.9)$$

де L – пробіг одиниці рухомого складу за період, що розглядається, км;

T – напрацювання одиниці обладнання (елементу), що розглядається.

3.4 Показники оцінювання якості та надійності систем електропостачання

Відповідно до цього Європейського стандарту EN 50160-2023 під якістю електроенергії розуміється не тільки традиційне відхилення і колювання напруги і частоти, гармонійний склад, несинусоїдальність і несиметрія напруги, питання перенапруження, але і якість безперебійності постачання електроенергії.

У стандарті EN 50160-2007 мова йде про якість не тільки електроенергії, яку поставляють, але й про надійність електропостачання, відповідно до якого відключення електропостачання розцінюється як:

- передбачене, коли споживачі мережі проінформовані заздалегідь про проведення запланованих робіт на розподільчій мережі;
- випадкове, коли вони спровоковані неусувними або само усувними ушкодженнями, у більшості випадків пов'язаними з зовнішніми подіями, з аваріями або зовнішніми причинами.

Випадкове відключення постачання електроенергії може бути розцінена як:

- тривале відключення, що перевищує 3 хвилини;
- короткочасне відключення до 3 хвилин.

Згідно стандарту України ДСТУ EN 50160:2023 «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення» [16] системи електропостачання повинні відповідати затвердженим показникам якості електропостачання, які характеризують:

- рівень надійності (безперервності) електропостачання;
- рівень комерційної якості надання послуг з розподілу електричної енергії;
- рівень якості електричної енергії.

Надійність (безперервність) електропостачання характеризується кількістю, тривалістю перерв в електропостачанні та обсягом недовідпущеної електричної енергії.

Надійність (безперервність) електропостачання споживача характеризується такими показниками:

1) індекс середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIDI) розраховується як відношення сумарної тривалості довгих перерв в електропостачанні в точках комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання за звітний період, до загальної кількості точок комерційного обліку електричної енергії, який розраховують за формулою:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \cdot n_i}{n}, \text{ хв,} \quad (3.10)$$

де t_i – тривалість i -ї довгої перерви в електропостачанні, хв;

n_i – кількість точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання у результаті i -ої довгої перерви в електропостачанні, шт.;

k – кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітнього періоду;

i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots k$;

n – загальна кількість точок комерційного обліку електричної енергії, шт.;

2) індекс середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIFI) розраховується як відношення сумарної кількості відключених точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання внаслідок усіх довгих перерв в електропостачанні протягом звітнього періоду, до загальної кількості точок комерційного обліку електричної енергії, який розраховують за формулою:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n}, \text{ хв,} \quad (3.11)$$

де n_i – кількість точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання у результаті i -ої довгої перерви в електропостачанні, шт.;

k – кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітнього періоду;

i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots k$;

n – загальна кількість точок комерційного обліку електричної енергії, шт.;

3) індекс середньої частоти коротких перерв в електропостачанні в системі (MAIFI) розраховується як відношення сумарної кількості відключених точок комерційного обліку електричної енергії протягом звітнього періоду до загальної кількості точок комерційного обліку електричної енергії, який розраховують за формулою:

$$MAIFI = \frac{\sum_{j=1}^r n_j}{n}, \quad (3.12)$$

де n_j – кількість точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання у результаті j -ї короткої перерви в електропостачанні, шт.;

r – кількість коротких перерв в електропостачанні протягом звітнього періоду;

j – номер короткої перерви в електропостачанні, $j = 1, 2, 3, \dots r$;

n – загальна кількість точок комерційного обліку електричної енергії, шт.

4) розрахунковий обсяг невідпущеної електроенергії (ENS) розраховується як сума добутків кількості точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання, на тривалість довгої перерви та на середнє споживання електроенергії на відповідному рівні напруги, який розраховують за формулою:

$$ENS = \sum_{i=1}^k \frac{n_i^{Z^1} \cdot t_i \cdot Q^{Z^1}}{T}, \text{ тис. кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.13)$$

де Z^1 – ознака рівня напруги та відповідної території (Z^1 – 0,4 кВ – міський населений пункт, Z^2 – 0,4 кВ – сільський населений пункт, Z^3 – 6...20 кВ – міський населений пункт, Z^4 – 6...20 кВ – сільський населений пункт, Z^5 – 27,5...35 кВ, Z^6 – 110/154 кВ);

i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots k$;

$n_i^{Z^1}$ – кількість точок комерційного обліку електричної енергії, в яких було припинене електропостачання внаслідок i -ої довгої перерви, з Z^1 -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, шт.;

t_i – тривалість i -ї довгої перерви в електропостачанні, хв;

Q^{Z^1} – середньомісячне споживання електричної енергії в попередньому році на одну точку комерційного обліку електричної енергії з Z^1 -ою ознакою рівня напруги та відповідної території, тис. кВт·год;

T – звітний період часу (середньомісячний за рік), перерахований у хвилинах, $T = 43\,800$ хв.

3.5 Економічні показники надійності

Економічний ефект від підвищення надійності об'єктів складає різницю між економією усіх виробничих ресурсів та затрат на впровадження і розробку виконаних з цією метою заходів. Його оцінюють методом порівняння двох варіантів: базового та з покращеними показниками [4, 9, 28].

Оцінювання проводиться як за окремими складовими – безвідмовності, ремонтпридатності, збережуваності, довговічності та готовності, а також комплексними показниками надійності, наприклад, коефіцієнтом готовності.

У разі оцінювання економічної ефективності вперше розроблюваних виробів за базу порівняння приймають досягнуті техніко-економічні показники виробів, близьких за конструктивно-технологічними і експлуатаційними властивостями; під час модернізації виробів, які серійно випускаються – їхні показники.

У тих випадках, коли новий або модернізований виріб виробляється на заводах з різним рівнем розвитку виробництва, в розрахунку використовують середньогалузеві значення техніко-економічних показників базової і проекрованої машини з підвищеною надійністю, або середньогалузеві показники експлуатації оцінюваного виробу або аналогічні дані найбільш типових підприємств, що забезпечують найбільший економічний ефект.

Якщо підвищення надійності вітчизняного виробу дає змогу замінити їм зарубіжний аналог, то за базу порівняння приймаються дані про експлуатацію і вартості останнього.

Базою порівняння можуть служити і кращі світові зразки під час порівнянності їх за техніко-економічними показниками виробництва і експлуатації з оцінюваними виробами підвищеної надійності [4, 30].

Залежно від номенклатури зрослих показників надійності поліпшуються ті або інші техніко-економічні показники, що характеризують експлуатаційні властивості виробів.

Із підвищенням безвідмовності збільшується напрацювання на відмову або ймовірність безвідмовної роботи. Зменшується кількість раптових відмов і тим самим – сумарна величина витрат на їхнє усунення, які входять до складу експлуатаційних витрат споживача поряд із заробітною платою ремонтників, вартістю використовуваних запасних частин і матеріалів, частиною амортизаційних відрахувань, призначених на капітальний ремонт [28].

Витрати розраховуються на одиницю випущеної продукції (виконаної роботи) або одиницю корисного ефекту за рік служби виробу. Останній варіант є кращим, оскільки дає змогу легше проводити порівнювання базового і проектового рівня надійності.

Змінювання річних експлуатаційних витрат в розрахунку на обсяг виробів (роботи), виробленої машиною підвищеної надійності, визначають зменшенням витрат на усунення відмов за рахунок скорочення їхньої кількості і трудомісткості, а також зниженням витрат експлуатаційних матеріалів внаслідок зростання продуктивності.

Змінювання супутніх капітальних вкладень в сфері експлуатації враховується без зміни вартості (ціни) машини підвищеної надійності. Підвищення безвідмовності призводить до збільшення часу ефективної роботи машини за рахунок скорочення термінів простою в ремонті, що можна прирівняти до зростання продуктивності [4, 28].

Під час визначення оптимального варіанта з деяких альтернативних, які гарантують виконання технічного завдання, необхідно визначити приведені витрати на спорудження й експлуатацію енергетичного об'єкта B , які залежно

від тривалості спорудження та умов почергового введення обчислюють порізно.

Якщо будівництво та пуск в експлуатацію здійснюють упродовж одного року, то:

$$B = E_n \cdot K + B_e, \quad (3.14)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень K (у разі нормативного терміну служби 10 років, $E_n = 0,1$);

B_e – річні експлуатаційні витрати.

Якщо об'єкт будується упродовж T років, то:

$$B = E_n \sum_{i=1}^T K_i (1+i)^{\tau-1} + B_e, \quad (3.15)$$

де K_i – коефіцієнт нарощування капітальних вкладень;

i – відсоткова ставка приведення різночасових витрат, обумовлена фінансовою політикою держави для кожної галузі (в енергетиці $i = 0,08$);

K_t – капітальні вкладення в t -му році;

τ – рік приведення витрат.

Під час порівняння альтернативних варіантів з неоднаковою надійністю необхідно вводити в розрахункові формули складові, що враховують можливий економічний збиток від відмов об'єктів, або складові, що враховують витрати на підвищення надійності до нормативного рівня:

$$B = E_n \cdot K + B_e + 3; \quad (3.16)$$

$$B = E_n \sum_{i=1}^T K_i (1+i)^{\tau-1} + B_e + 3,$$

де 3 – середні річні втрати від перерв у електропостачанні на стадії нормальної експлуатації енергосистеми.

Остаточно проектний варіант визначають шляхом комплексного техніко-економічного порівняння за критеріями надійності й економічності. При цьому практично однаковими вважають варіанти, в яких значення $(E_n \cdot K + B_e)$ відрізняються менше ніж на 5 % від базового варіанта, а значення 3 – менше ніж на 10 %.

До економічних показників надійності також відносять [13] питомі витрати на одиницю напрацювання. Наприклад, питома вартість одного кілометра пробігу та експлуатаційні витрати, віднесені до середнього напрацювання на відмову.

Питому вартість одного кілометра пробігу та експлуатаційні витрати, віднесені до середнього напрацювання на відмову визначають як:

$$q_1 = \frac{E_{\Sigma}}{L_{ДР}}, \text{ [грн/км]},$$

де $E_{\Sigma} = 12 \cdot N_i \cdot E$ – сумарні експлуатаційні витрати;

N_i – інвентар депо;

E – експлуатаційні витрати на одну одиницю РС в місяць;

$L_{ДР}$ – сумарний річний пробіг РС депо.

Експлуатаційні витрати, віднесені до середнього напрацювання на відмову:

$$q_2 = \frac{E_{\Sigma}}{L_{сер}}, \text{ [грн/км]},$$

де $L_{сер}$ – середнє напрацювання на відмову РС або його агрегата або системи.

Аналогічно розраховують і економічні показники для елементів та систем, напрацювання яких визначається в одиницях часу.

Контрольні запитання до лекції 3

1. Якими оціночними параметрами відрізняється оцінка надійності невідновлюваних і відновлювальних об'єктів?
2. Як визначають коефіцієнт відмов?
3. Яке співвідношення між ймовірністю відмови і ймовірністю безвідмовної роботи?
4. Назвіть комплексні оціночні показники надійності.
5. Якими способами можна визначити коефіцієнт технічної готовності для систем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки?
6. Якими показниками оцінюють безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність?
7. Надайте визначення інтенсивності потоку відмов і як його можна визначити?
8. Надайте визначення інтенсивності потоку відновлення і як його можна визначити?
9. Надайте визначення поняттю «середнє напрацювання на відмову».
10. Які показники оцінювання якості та надійності систем електропостачання Ви знаєте?
11. Які головні аспекти визначають економічні показники надійності?

ЛЕКЦІЯ 4

ЗБІР ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАДІЙНІСТЬ

План

- 4.1 Вимоги до інформації про технічний стан об'єктів.
- 4.2 Система збору інформації для оцінки надійності.
- 4.3 Плани спостережень.
- 4.4 Обробка даних про відмови і несправності.
- 4.5 Довірчий інтервал та довірча ймовірність.
- 4.6 Визначення обсягу вибірки.

4.1 Вимоги до інформації про технічний стан об'єктів

Збір і обробка інформації про стан *технічних засобів та об'єктів* електроенергетики, електротехніки, електромеханіки (ОЕЕЕ) повинна забезпечити вирішення наступних завдань [4, 5, 22, 27]:

- визначення і оцінка показників стану ОЕЕЕ та його складових частин;
- виявлення конструктивних і технологічних недоліків ОЕЕЕ, що знижують їхню надійність;
- виявлення складових частин, що обмежують надійність ОЕЕЕ;
- оцінку причин виникнення відмов;
- оцінку впливу якості технічного обслуговування і ремонту на технічний стан;
- виявлення впливу умов і режимів експлуатації на надійність ОЕЕЕ.

Зібрана інформація повинна бути достовірною. Первинну інформацію слід одержувати від одних і тих самих, грамотних та досвідчених працівників тому, що поява відмови – явище випадкове і внесення суб'єктивних похибок, пов'язаних з недостатньою кваліфікацією працівників, не дасть змогу виявити будь-які закономірності в появі тієї або іншої відмови, або обробка такої інформації може призвести до неправильних висновків щодо фактичної надійності об'єктів або їхніх складових частин. Тому для формування первинної інформації вдаються до комісійного методу оцінки несправностей із складанням відповідних документів (актів) [22].

Інформація повинна бути повною для одержання правильних висновків і рішень. Під час аналізу надійності, наприклад, рухомого складу (РС), інформацію збирають за фактом відмови у міжремонтний період (неплановий ремонт) і за фактом відмов, що викликають збільшення обсягу ремонту або простою на планових ремонтах (надплановий ремонт). Це неповна інформація,

тому, що вона не враховує планового змінювання деталей і складальних одиниць. Оскільки сам момент планового ремонту є випадковим, визначеним вольовим способом, тобто заміна тієї або іншої деталі або складальної одиниці на РС не підкріплена будь-якими об'єктивними причинами. У цьому разі значну частину інформації в розрахунках не враховують, що вносить значні похибки у визначення показників надійності. Власне, тут перевіряються обрані заздалегідь міжремонтні терміни, наскільки вони вдало задані, а наявна інформація дає можливість приблизно визначити лише деякі показники надійності (імовірність безвідмовної роботи, збереженість, ремонтпридатність та деякі інші) і не дає змогу прогнозувати надійність.

Інформація має бути оперативною. В умовах інтенсивних перевезень особливого значення набуває забезпечення інженерного складу підприємств міського електротранспорту на різних рівнях своєчасною інформацією про змінювання кількості відмов. Для цього необхідна інформація як про якісні, так і про кількісні характеристики відмов. У РС робота всіх складових частин взаємозалежна, тому несвоєчасне виявлення відмови навіть будь-якої малозначної деталі може призвести до порушення графіка або, що гірше, безпеки руху.

Це особливо серйозно для деталей і складальних одиниць, які безпосередньо забезпечують безпеку руху. Разом з тим інформація повинна безупинно і постійно накопичуватися для обґрунтування обсягів робіт, виконуваних на планових ремонтах, а також для оптимізації всієї системи технічного обслуговування РС.

Інформація повинна легко оброблятися, бути короткою й інформативно місткою. Для виконання цієї вимоги, зазвичай, розробляють системи кодування і передачі інформації з використанням сучасних засобів передачі й обробки. Ці засоби дають змогу автоматизувати облік і звітність. Форми обліку даних про відмови повинні бути короткими і містити чіткі й достатні відомості, які дають змогу виявити причини й наслідки відмови.

Наприклад, стосовно технічного стану рухомого складу облікова інформація повинна містити такі відомості:

- паспортні дані трамвайного вагона або тролейбуса;
- номери маршрутів, де експлуатується РС;
- дати всіх планових і непланових ремонтів і технічного обслуговування;
- характер пошкодження (відмови) і можливі причини;
- наробіток до відмов від початку експлуатації і від усіх видів ремонту і технічного обслуговування.

Система передачі інформації повинна мати зворотний зв'язок. На сьогодні практично всі експлуатаційні підприємства мають персональні

комп'ютери, що дає змогу оперативно обробляти інформацію і результати обробки доводити до керівників підрозділів, які забезпечують технічне обслуговування і ремонт, а також дають змогу оперативно вживати організаційні заходи, спрямовані на найшвидше виявлення і усунення причин, які викликають ті або інші відмови або несправності. Оброблена інформація, крім того, повинна передаватися заводам-виробникам РС, для того щоб спільними зусиллями підвищити надійність трамвайних вагонів і тролейбусів.

4.2 Система збору інформації для оцінювання надійності

Надійність об'єктів і встаткування оцінюють для визначення їхньої відповідності встановленим вимогам шляхом зіставлення показників довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності й збереженості досліджуваних об'єктів з аналогічними показниками еталонного виробу.

На підставі результатів оцінки надійності розробляють заходи щодо вдосконалювання конструкції, технології виготовлення або технічної експлуатації об'єктів.

Метою збору інформації є своєчасне забезпечення повних, об'єктивних і достовірних даних про надійність об'єктів і їхніх елементів в процесі експлуатації [22].

Необхідною умовою досягнення поставленої мети є організація чіткої системи збору й обробки інформації про надійність. Ця система повинна охоплювати організації й підприємства-розроблювачі, на яких проєктують машини й розробляють технічну документацію; заводи-виготовлювачі; ремонтні підприємства й експлуатаційні організації.

Система збору й обробки інформації про надійність повинна забезпечити своєчасне одержання повних, порівнянних і об'єктивних даних про надійність об'єктів, що працюють у різних умовах експлуатації; оперативну обробку більше зручної інформації для аналізу надійності; облік і координацію заходів щодо підвищення надійності.

Якщо збирати й обробляти інформацію пасивно, без чіткого наукового обґрунтування й планування, то дослідження не дають змогу визначити показники надійності з необхідною точністю через неоднорідність статистичних даних. Збір і аналіз інформації про надійність повинні проводитися висококваліфікованими фахівцями, знайомими з основами теорії надійності й математичної статистики, конструкцією, технологією виготовлення машин і правилами їхньої технічної експлуатації.

Результати збору й обробки інформації про надійність об'єктів і встаткування повинні забезпечити можливість рішення наступних завдань [25]:

- 1) знаходження причин виникнення відмов і несправностей;
- 2) виявлення деталей, складальних одиниць і комплектуючих виробів, що лімітують надійність об'єктів;
- 3) установлення й коректування нормованих показників надійності об'єктів і їхніх елементів;
- 4) обґрунтування норм витрати запасних частин, структури ремонтного циклу й періодичності проведення технічного обслуговування і ремонтів;
- 5) виявлення впливу умов і режимів експлуатації на надійність машин;
- 6) визначення економічної ефективності заходів щодо підвищення надійності машин і їхніх елементів.

Головним джерелом інформації про надійність об'єктів є спеціально організовані випробування в максимальному наближенні до експлуатаційних умов, обговорених у нормативно-технічній документації.

Збір інформації про надійність об'єктів і вибір методу одержання інформації залежать від характеру поставлених завдань і умов експлуатації.

Під умовами експлуатації мають на увазі сукупність факторів, що діють на об'єкт в процесі роботи.

Головними методами збору інформації про надійність об'єктів в експлуатації є:

- інструментальний метод;
- технічне діагностування;
- метод хронометражу;
- метод періодичних спостережень;
- метод, заснований на аналізі даних експлуатаційної й ремонтної документації.

Інструментальний метод дає змогу одержати об'єктивну інформацію в найбільш повному обсязі. Інформацію цим методом збирають за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури, яку встановлюють на випробувальному об'єкті на термін контрольного випробування в умовах експлуатації. Надійність елементів машини в цьому випадку оцінюють за змінюванням її технічного стану. Недоліками цього методу збору інформації є необхідність використання коштовної вимірювальної апаратури, висока вартість досліджень, обмежений обсяг вибірки спостережуваних машин.

Призначення технічного *діагностування* полягає в підвищенні надійності об'єктів на етапі експлуатації, а також запобігання виробничому браку на етапі виготовлення. За допомогою діагностичних методів, отримують безперервну інформацію про контрольовані параметри за допомогою контрольних приладів,

які вмонтовані в об'єкт, що дає змогу виявити закономірності прояву відмов і втрати працездатності машини і розробити систему профілактичних заходів. Діагностування невіддільне від процесів дослідження надійності і працездатності машин і подальшого прогнозування стану подій. Цей процес можна характеризувати як визначення стану машини для певного періоду експлуатації в зв'язку зі зміною або порушенням в часі технологічних функцій і фізико-механічних властивостей, її механізмів і вузлів. Діагностування супроводжується і характеризується безперервним контролем параметрів, виявленням причин виникнення відмов і втрати працездатності безпосередньо в період експлуатації, прогнозуванням подальшого стану машини і виявленням закономірностей змінювання параметрів у часі.

Технічне діагностування в умовах експлуатації машини досліджує і вивчає питання працездатності, форми прояву відмов і методи їх локалізації, розпізнавання і прогнозування прихованих дефектів без розбирання технічного об'єкта. В результаті проведення контролю та виконання діагностування здійснюється пошук місця і визначення причин відмови і появи несправностей. Достовірність діагностування багато в чому залежить від технічного стану автоматичних контрольних пристроїв, датчиків, приладів, від можливості використання пристроїв і приладів не тільки для діагностування, але і для моніторингу. В процесі експлуатації машини виникає можливість здійснення визначеного обсягу діагностичних операцій за вимірюваннями, роботою та технічним станом вузлів і механізмів, умов роботи [20, 23].

Метод *хронометражу* використовують для визначення загального часу роботи елементів машини, циклу машини й оцінювання інтенсивності використання об'єкту, а також таких показників безвідмовності й ремонтпридатності, як наробіток на відмову, середній наробіток до відмови, тривалість операцій технічного обслуговування й ремонту тощо.

Суть методу полягає в тому, що фахівець-хронометрист за допомогою секундоміра фіксує моменти початку й закінчення роботи машини або окремих її елементів. Для цього можна також використати прилади, що автоматично реєструють наробіток досліджуваних елементів машини. Під час збору інформації цей метод широко застосовують у сполученні з іншими методами.

Метод *періодичних спостережень* збору інформації заснований на аналізі даних експлуатаційної й ремонтної документації, застосовують досить широко. За умови сумлінного заповнення технічної документації й змісту її в зразковому порядку за допомогою цього методу можна одержати вихідні дані для визначення всіх головних нормованих показників надійності. Так, наприклад, за даними досліджень можна визначити наробіток, технічний ресурс або термін служби до капітального ремонту рухомого складу, тягової підстанції

тощо. Недоліком цього методу, як і попереднього, є низька вірогідність одержуваних результатів.

Для підвищення достовірності одержуваних результатів під час збору інформації доцільно комбінувати наведені методи. Це дає змогу одержати необхідну інформацію в більш короткий термін у більш повному обсязі. Поєднують інформацію, отриману з різних джерел і різних способів, за допомогою методів математичної статистики.

На додаток, можна зазначити, що інколи ситуація складається так, що визначення значень показників надійності із застосуванням вищевказаних методів неможливе або недоцільне за економічними міркуваннями. В цьому випадку використовують експертну оцінку надійності за допомогою методів *експертології*. Під час оцінювання надійності використовують для рішення завдання ранжирування випадкових величин (показників надійності; визначальну надійність виробів; елементів, що лімітують надійність машин тощо) у порядку значимості. Методи експертної оцінки найчастіше використовують у ситуаціях, коли вірогідність вихідної інформації невелика. Ці методи є ймовірнісними. Вони засновані на здатності фахівця подавати корисну інформацію в умовах невизначеності. Невідому кількісну характеристику надійності розглядають у таких умовах як випадкову величину, відбиттям закону розподілу якої є індивідуальна оцінка ймовірності або значимості тієї або іншої події. Коли такі оцінки отримані від групи експертів, то припускають, що «дійсне» значення досліджуваної характеристики перебуває усередині діапазону оцінок і що «узагальнена» колективна думка є більш достовірною. Для аналізу групової думки використовують середні величини: середню арифметичну оцінку або середню зважену оцінку і ваги оцінок. Оцінки, отримані від експертів, можуть бути розташовані в порядку зростання або убутання показника.

4.3 Плани спостережень

Показники технічного стану об'єктів є випадковими величинами, їхні визначення базується на використанні статистичних експлуатаційних даних. Для цього застосовують розглянуті статистичні методи розрахунку, точкові і інтервальні оцінки показників на базі вибіркового даних, отриманих у результаті спостережень за роботою об'єктів генеральної сукупності.

У більшості випадків безвідмовність об'єктів і його складових одиниць є високою і для одержання якісної вихідної інформації потрібна значна тривалість спостережень або великий обсяг вибірки. Розрахунок оцінок

показників надійності в зв'язку з цим багато в чому визначається видами плану спостережень (випробувань) і закону розподілу наробітку до відмови [9, 10, 14].

Залежно від конкретних умов і поставлених завдань застосовують наступні плани [14]:

[NUN], [NUT], [NUr], [NU(T, r)], [NRT], [NRr], [NR(T, r)], [NMT], [NMGr],
[NMTΣ], [NM(r, TΣ)],

де N – кількість виробів, поставлених під спостереження, в певному випадку – це кількість одиниць у контрольній партії;

U – плани, за яких спостереження (випробування) ведуть до першої відмови (вироби, що відмовили, не замінюють на нові);

T – встановлене напрацювання чи календарна тривалість випробувань (спостережень);

r – кількість відмов або граничних станів, до виникнення яких ведуть випробування (спостереження);

R – плани, за яких випробування ведуть до першої відмови, вироби, що відмовили, замінюють на нові;

M – плани, за яких випробовують об'єкти, які випробовуються, після кожної відмови об'єкт відновлюють;

$TΣ$ – наперед задане сумарне напрацювання або час випробування за всіма об'єктами.

Отже, плани спостережень можуть бути визначені так [14]:

[NUN] – під спостереження (випробування) поставлено N виробів; вироби, що відмовили, не відновлюються і не замінюються на нові; спостереження ведуть до виникнення відмов усіх виробів. Літера N , що стоїть у кінці шифру плану [NUN] позначає, що спостереження ведеться до виникнення відмов або граничних станів усіх, встановлених під спостереження виробів ($N = r$);

[NUT] – під спостереження поставлено N виробів, вироби, що відмовили, не відновлюються і не замінюються новими, спостереження ведуть до наперед заданого часу T ;

[NUr] – під спостереження (випробування) поставлено N виробів, вироби, що відмовили, не відновлюються і не замінюються на нові, випробування ведуть до наперед заданої сумарної кількості відмов r ;

[NRT] – під спостереження поставлено N виробів, вироби, що відмовили, замінюють на нові, спостереження ведуть до наперед заданого часу T ;

[NMT] – план випробувань, згідно з яким випробовують одночасно N об'єктів, після кожної відмови об'єкт відновлюють, кожний об'єкт випробовують до закінчення часу випробування або напрацювання T ;

$[NMT\Sigma]$ – план випробувань, згідно з яким одночасно випробовують N об'єктів, після кожної відмови об'єкт відновлюють, випробовування припиняють у разі закінчення сумарного за всіх об'єктах часу випробовування або напрацювання $T\Sigma$.

При планах типів $[NU(T, r)]$ та $[NR(T, r)]$ випробовування припиняють, коли кількість відмов, сумарна за всіма позиціями, досягла r або після проходження сумарного за всіма об'єктами часу випробовування (напрацювання) T залежно від того, яка з цих умов виконана раніше.

При плані $[NM(r, T\Sigma)]$ випробовування припиняють, коли сумарна за всіма об'єктами кількість відмов досягла r або з проходженням сумарного за всіма об'єктами часу випробування (напрацювання) $T\Sigma$ залежно від того, яка з цих умов виконана раніше.

При планах $[NUN]$, $[NUT]$, $[NUr]$ вироби, що відмовили, можуть ремонтуватися, але дані про відмови їх після ремонту виключаються з подальшого розгляду. Плани спостережень вибирає головна організація залежно від типу виробів, умов їх експлуатації, з урахуванням економічної доцільності та технічної потреби.

Звичайно для промислових виробів наробіток до відмов оцінюють в годинах (наприклад, моторесурс дизеля). На міському електротранспорті для оцінки надійності рухомого складу здебільшого використовується пробіг, тобто відстань, пройдена трамвайним вагоном або тролейбусом у робочому стані. Тому в планах випробувань на надійність РС для оцінки тривалості спостережень користуються пробігом L_0 . Отже, плани спостережень за надійністю рухомого складу можуть бути подані у такому вигляді:

$$[N U N]; [N U L_0]; [N U r]; [N R L_0]; [N R r].$$

Розглянемо кожний з них стосовно умов експлуатації рухомого складу.

План спостережень $[N U N]$ або повний план означає, що під спостереження взята контрольна партія з N одиниць РС або його складальні одиниці, і, що випробування проводяться до відмови всіх об'єктів і вироби не замінюються новими. Отже, під час повного плану визначають наробіток до відмови ремонтно-непридатних деталей. Якщо об'єкти ремонтпридатні, то за таким планом виявляють наробіток тільки до першої відмови, потім їх виключають з дослідів. Інформацію про подальші наробітки до відмови цих об'єктів можуть бути враховані як додаткова інформація про роботу N_1 об'єктів (більше N).

Модель експлуатації $N = 5$ при плані $[N U N]$ наведена на рисунку 4.1. Кількість контрольованих об'єктів визначають відповідно до вимог до обсягу вибірки.

У зв'язку з використанням для РС системи планово-попереджувальних ремонтів широке застосування, очевидно, матиме план з фіксованим наробітком L_0 , тобто $[N U L_0]$, L_0 у загальному випадку – встановлений пробіг, після якого виконується відновлення працездатності об'єкта або він замінюється новим.

Для РС і його складових вибір L_0 залежить від виду об'єкта і характеру відмови. Наприклад, для ізоляції тягових двигунів L_0 може бути визначено як пробіг між заводськими ремонтами або від заводського ремонту (виготовлення) до ТО-2, якщо на ньому відновлюються властивості ізоляції. Для інших вузлів L_0 може бути пробігом між капітальним і середнім ремонтами.

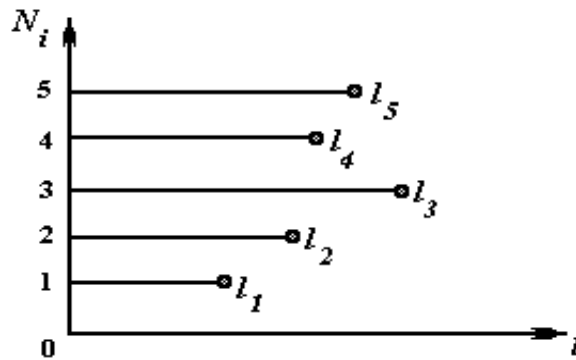


Рисунок 4.1 – Модель плану спостережень $[N, U, N]$

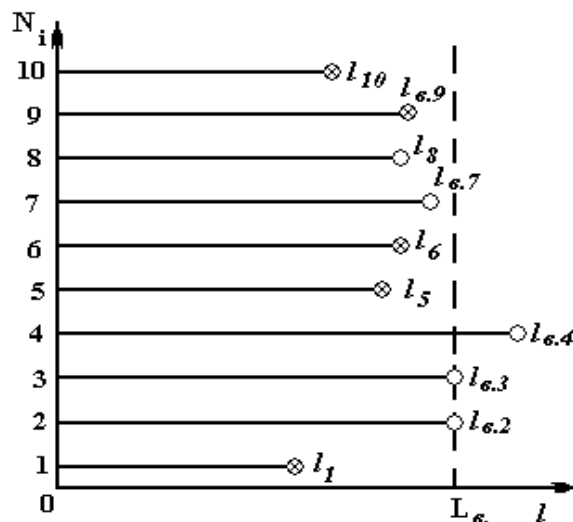


Рисунок 4.2 – Модель плану спостережень $[N, U, L_0]$:

◆ – відмова, ○ – ремонт плановий

У разі плану $[N U L_0]$, модель якого зображена на рисунку 4.2, спостерігається стан всіх N об'єктів протягом пробігу L_0 . У разі першої відмови

i -го об'єкта з наробітком $l_i < L_0$ подальше спостереження за об'єктом припиняється. Крім того, у дані про результати спостережень не включається інформація про об'єкти, що не відмовили за пробіг L_0 або були поставлені на ремонт. Так, згідно з рисунком 4.2 можна прийняти до врахування дані про пробіги до відмови l_1, l_5, l_6, l_8 і l_{10} . Об'єкти 7 і 9 зі спостережень виключені, тому що вони були поставлені на плановий ремонт з пробігом менше L_0 . Дані про пробіги об'єктів 2, 3 і 4 можуть бути використані як додаткова інформація для визначення параметрів усіченої вибірки, а саме $L_{0(i)} \geq L_0$ ($i = 2; 3; 4$).

Отже, при плані $[N \cup L_0]$ частина інформації втрачається, що знижує точність визначення показників надійності. Більш достовірні дані можна одержати, якщо відомий вид закону розподілу наробітку до відмови. Перевага цього плану полягає в меншому терміні спостережень, оскільки відпадає необхідність очікувати досягнення відмов всіх N об'єктів. Саме тому цей план широко використовують у практиці визначення показників надійності, особливо якщо чисельність об'єктів N досить велика, а імовірність відмови мала. План $[N \cup L_0]$ може бути використаний як для ремонтпридатних об'єктів, так і для ремонтнепридатних. Відмінність полягає в тому, що відремонтований після першої відмови об'єкт надалі зі спостережень виключається.

План $[N \cup r]$ можна охарактеризувати наступною моделлю: під спостереження поставлено N об'єктів, що відмовили, вироби новими не замінюються, спостереження продовжують до накопичення даних про відмови або до деяких граничних станів.

Схема моделі, подана на рисунку 4.3, наробітки розташовані в порядку зростання. Як тільки в об'єкта N_{i-r} відбудеться відмова, спостереження припиняють, хоча N_{i-r} об'єктів ще не мали відмов і продовжують працювати. Наступний після першої відмови наробіток кожного з r об'єктів, що відмовили, до $l \ll L_r$ об'єктів не враховується, навіть якщо їх після ремонту знову використовують в експлуатації. У загальному випадку ці дані можуть вивчатися незалежно від використаних у плані $[N \cup r]$. У практиці розрахунків показників надійності РС цей план використовується рідко.

Те саме можна сказати і про план $[N R r]$, коли взяті під спостереження N об'єктів після відмови замінюються новими (або ремонтуються за досить короткий час), а спостереження ведуть до одержання r відмов. Якщо час ремонту великий, використовують план U . У цьому разі одержують низку реалізацій наробітку, що дає неповну чи усічену вибірку.

Заслугує на увагу план $[N R L_0]$, який особливо важливий для визначення показників відновлюваних виробів. При цьому плані спостережень (рис. 4.4) вироби, що відмовили, замінюють новими або відремонтованими. Час

відновлення працездатності об'єкта (ремонт, замінування) повинен бути малим, щоб не вплинути на результати визначення оцінок показників надійності. У протилежному разі варто відмовитися від плану R і використовувати план U.

З розгляду моделі плану спостережень $[N R L_0]$, згідно з рисунку 4.4, випливає, що статистична інформація про наробітки при цьому плані може бути трьох видів:

- 1) наробіток i -го об'єкта до першої відмови (наприклад, $l_{1,1}, l_{2,1}, \dots, l_{N,1}$);
- 2) наробіток i -го об'єкта до відмови після відновлення працездатності або замінування, наприклад $l_{1,2}, \dots, l_{N,2}$;
- 3) наробіток до відмови після початку роботи або після ремонту невідомий, але вона або не менше L_0 (наробіток $l_{3,1}$), або менше L_0 (наробітки $l_{1,3}, l_{2,2}, \dots, l_{N,3}$).

Для розрахунку параметрів закону розподілу до відмови можуть бути використані рівною мірою наробітки перших двох видів, якщо вироби заміняються новими, а також у разі повного відновлення всіх робочих параметрів після ремонту.

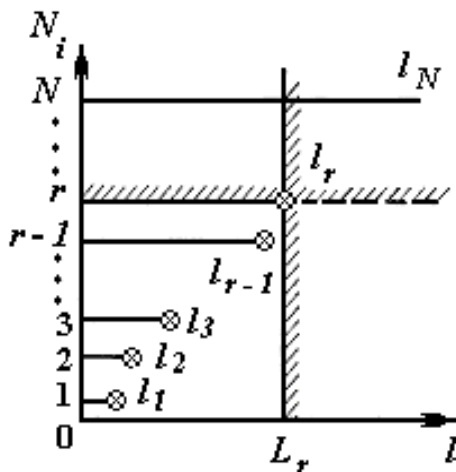


Рисунок 4.3 – Модель плану спостережень $[N U r]$:
⊗ – відмова

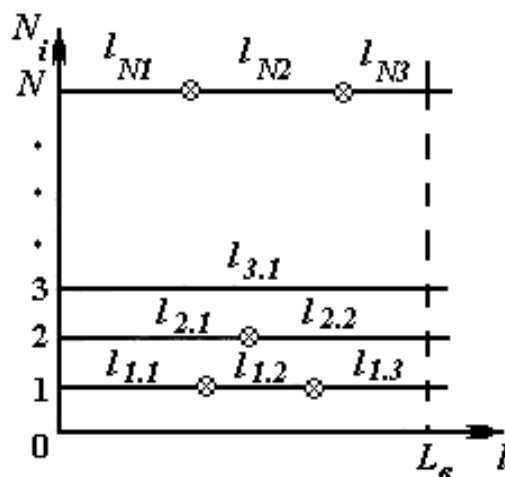


Рисунок 4.4 – Модель плану спостережень $[N R L_0]$:
⊗ – відмова

Інформація про наробітки третього виду також може бути частково використана. Нехай, наприклад, які-небудь з наробітків третього виду, а $l_{1,3}, l_{2,2}, l_{N,3}$ виявляться більше, ніж найбільший з відомих наробітків виду 1 і 2. Вони можуть бути враховані разом з наробітком $l_{3,1} > L_0$. Для визначення параметрів за усіченою вибіркою як напрацювання, за яким можна сказати, що він більше від максимально відомого. Такий план дає змогу визначати ряд показників безвідмовності ремонтпридатних об'єктів.

Вивчення показників ремонтпридатності можливе на базі будь-якого плану спостережень з використанням даних про відновлення об'єктів, що відмовили. Вибір того або іншого плану спостереження залежить від багатьох факторів: виду об'єктів, номенклатури показників, що підлягають оцінюванню за результатами спостереженні, умов експлуатації тощо.

Важливо забезпечити достатній обсяг первинної інформації, її об'єктивність, повноту і точність даних.

4.4 Обробка даних про відмови і несправності

У разі виконання статистичної оцінки головних характеристик надійності будь-яких об'єктів досліджуються сукупності явищ та предметів, що об'єднані спільною єдиною ознакою або властивістю (досліджувані елементи можна об'єднувати в групи за різними ознаками: зношенням, відхиленнями за формою, розмірами тощо, більш крупніші вироби (машини) – за довговічністю тощо). Однак, слід враховувати, що деталі, складальні одиниці або групи машин є об'єктами сукупності [27].

Статистична вибірка повинна мати відношення до однорідних виробів, що мають деяку якісну спільність. Відповідно для кожного об'єкта (деталі, пристрою) цієї сукупності, яка містить обмежену кількість, за допомогою методу спостережень (експерименту, досліду) визначають значення випадкових величин.

У випадку якщо сукупність містить значну кількість об'єктів або ж дослідження пов'язано з його руйнуванням, тоді відповідно з усієї сукупності визначають визначену кількість об'єктів та вивчають їх. За невеликої кількості спостережуваних об'єктів обстежують кожний залежно від ознаки.

Загальна або генеральна сукупність має містити вимірювання усіх досліджуваних об'єктів, з яких в подальшому вибирають певні для спостереження.

Система, що передбачає збирання та обробку статистичної інформації відносно надійності нових або відремонтованих об'єктів, є певною сукупністю організаційно-технічних заходів відносно одержання необхідних даних щодо надійності [22, 24, 27].

Опрацювання результатів статистичних спостережень здійснюють за такими принципами.

Для статистичної обробки дані вибіркової сукупності поєднують в інтервали групування. Весь розмах ΔX можна розбити на k інтервалів $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ у загальному разі нерівної довжини. В інтервал попадають тільки ті m_i значень x з варіаційного ряду, що не виходять за межі i -го інтервалу. Для

математичного очікування найбільш придатною оцінкою є вибіркве середнє значення (середнє арифметичнє реалізації) випадкової величини [25]:

$$x_{\text{ср}} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n. \quad (4.1)$$

Середнє значення в різних вибірках з однієї генеральної сукупності величини X може змінюватися і, отже, також буде величиною випадковою. Її різні вибіркові значення $X_{\text{ср}i}$ мають той же розподіл і ті ж вибіркові характеристики, що і X . Доведено, що вибіркве середнє є оцінкою математичного очікування.

Проведення статистичної обробки рядів випадкових величин виконують починаючи з визначення кількості розрядів за формулою:

$$K = 1 + 3,2 \log_{10} N, \quad (4.2)$$

де K – кількість розрядів;

N – кількість вимірювань.

Якщо сукупність n значень випадкової величини розташувати в порядку зростання (або спадання) $x_1 \leq x_2 \leq x_n$ то одержують варіаційний ряд n реалізацій випадкових величин. Розмахом цього ряду буде величина $\Delta X = x_n - x_1$.

Знаходять мінімальне і максимальне значення випадкових величин X_{min} та X_{max} і визначають довжину розрядів за формулою:

$$\Delta j = \frac{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}{K}, \quad (4.3)$$

де Δj – довжина розряду;

$X_{\text{min}}, X_{\text{max}}$ – мінімальне і максимальне значення ряду випадкових величин.

Поділяють шкалу від X_{min} до X_{max} на кількість розрядів і визначають межі кожного розряду і розподіляють кожен випадкову величину до розряду, в який вона потрапляє.

Якщо всі розряди перекриті, тобто в розряд потрапила хоч одна випадкова величина, то мережі розрядів вибрано правильно. Якщо ні, то переходять до розбивки на розряди різної довжини. Обирають довжину розряду таким чином, щоб в кожний розряд потрапила хоча б одне значення випадкової величини. Підраховують кількість влучень n_j до кожного розряду і починають заповнювати таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок характеристик випадкових величин

Розряди	$X_1 - X_2$	$X_2 - X_3$	$X_3 - X_4$	$X_4 - X_5$	$X_{k-1} - X_k$
Кількість влучень, n_j	n_1	n_2	n_3	n_4	n_{k-1}
Частота P_j^*	P_1^*	P_2^*	P_3^*	P_4^*	P_{k-1}^*
Щільність частоти f_j^*	f_1^*	f_2^*	f_3^*	f_4^*	f_{k-1}^*

Далі проводять розрахунок частоти (імовірність події) за формулою:

$$P_j^* = \frac{n_j}{N}, \quad (4.4)$$

де P_j^* – частота (ймовірність події);

n_j – кількість влучень до кожного розряду;

N – кількість вимірювань,

та щільність частоти за формулою:

$$f_j^* = \frac{P_j^*}{\Delta j}, \quad (4.5)$$

де f_1^* – щільність частоти;

P_j^* – частота (ймовірність події);

Δj – довжина розряду.

Відповідні розрахунки заносять до таблиці 5.1 і приступають до визначення кількісних показників випадкових величин, а саме визначають математичне очікування ряду випадкових величин $X(i)$ за формулою (2.1), дисперсію – (2.2), середньо-квадратичне відхилення – (2.3).

Наступний крок – побудування гістограми (рис. 4.5) – емпіричного аналогу функції щільності розподілу $f(x)$. Для цього на за віссю абсцис відкладають розряди, за віссю ординат – значення щільності частоти. Будують на кожному розряді стовпчик площиною P_j^* . За зовнішнім виглядом гістограми визначають закон розподілу ряду випадкових величин.

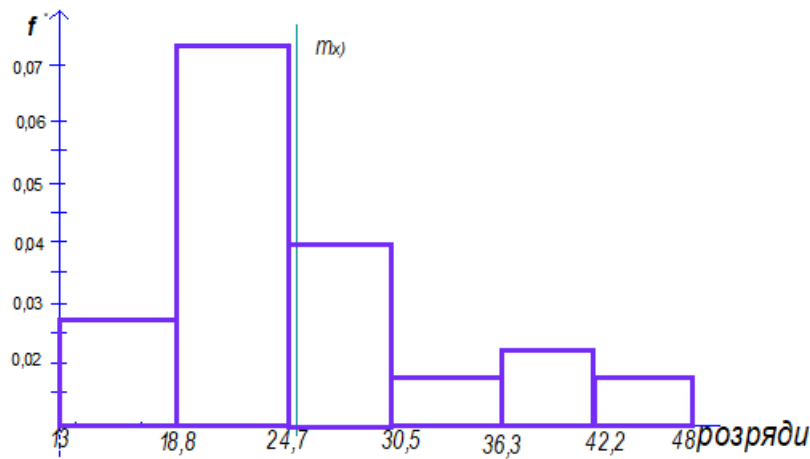


Рисунок 4.5 – Приклад гістограми

На базі отриманих даних має бути побудована емпірична крива, визначені характеристики статистичного емпіричного розподілу. На підставі зовнішнього вигляду експериментальної кривої, а також значень характеристик її розподілу та показників, які здійснюють вплив на її вигляд висувається гіпотеза щодо функції щільності випадкової величини, яку досліджують.

Здійснюють вирівнювання емпіричної кривої за однією або послідовно за декількома відповідно теоретичними кривими. Емпірична та теоретична криві відповідно порівнюються за одним обраним із множини критеріїв узгодження.

З врахуванням найкращої узгодженості емпіричної та теоретичної кривих встановлюється функція для цього розподілу [26].

Перевірка достовірності гіпотези про приналежність дослідних даних до обраного виду імовірнісного закону може виконуватися за допомогою критерію Пірсона. Перевіряючи погодженість теоретичного й статистичного розподілів, виходять з розбіжностей між теоретичними ймовірностями P_j і спостереженими частотами P_j^* . З цією метою доповнюють таблицю 4.1 і заносять розраховані теоретичні значення P_j , застосовуючи перетворення формули (4.5):

$$P_j = \frac{f_j(x)}{\Delta j}. \quad (4.6)$$

Міру розбіжності за критерієм Пірсона позначають χ^2 і розраховують за формулою:

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^k \frac{(P_j^* - P_j)^2}{P_j}. \quad (4.7)$$

Якщо $\chi^2_{\text{спост}} \leq \chi^2_{\text{табл}}$, то гіпотеза про належність спостережених даних до певного закону розподілу приймається, в іншому випадку – відхиляється.

Розподіл χ^2 залежить від параметра r , який називають числом ступенів свободи розподілу. Число ступенів свободи r дорівнює кількості інтервалів K мінус кількість незалежних умов («зв'язків»), накладених на частоти P^* .

Прикладами таких умов можуть бути: вимога щоб сума частот дорівнювала одиниці (цю вимогу накладають у всіх випадках); підбір теоретичного розподілу з умовою, щоб збігалися теоретичне й середнє значення; збіг теоретичної й статистичної дисперсій і так далі.

Для дотримання вимоги щоб сума частот дорівнювала одиниці використовують нормуючий множник:

$$C = \frac{1}{\sum_{j=1}^k P_j}. \quad (4.8)$$

4.5 Довірчий інтервал та довірча ймовірність

Найбільш об'єктивні відомості про надійність виробів можна одержати на базі використання статистичних даних про несправності й відмови, отримані під час спостережень за експлуатацією генеральної сукупності, що є деякою повною множиною однорідних об'єктів, які можуть зацікавити дослідника. Прикладом генеральної сукупності можуть бути тролейбуси або трамвайні вагони одного типу, що експлуатуються в одному місті України. У більшості випадків неможливо одержати відомості про всі елементи множини, що складає генеральну сукупність. Тому звичайно використовують випадкову вибірку, тобто частину генеральної сукупності, що складається з елементів, відібраних ненавмисно, випадковим чином. Вибірка повинна бути репрезентативною (представницькою), тобто пропорції її об'єктів різних підвидів у середньому повинні відповідати пропорціям, що присутні в генеральній сукупності [25].

Параметри, які винятково характеризують генеральну сукупність, можуть бути отримані тільки на підставі використання повністю всіх даних про неї. Якщо використовують дані випадкової вибірки, то одержують статистичні оцінки параметрів генеральної сукупності. Дані вибірки характеризують за допомогою частки (відносної частки) випадкової події, яку визначають як відношення фактичної кількості m появ цієї події A до загальної кількості дослідів n , у яких подія A могла з'явитися, тобто $W_n(A) = m / n$.

При $n \rightarrow \infty$ частка наближається до імовірності випадкової події (статистичне визначення) $\lim_{n \rightarrow \infty} Wn(A) = P(A)$.

Вибір довірчого інтервалу створюється з урахуванням наступних принципів. Із всієї генеральної сукупності обсягу вибірки обирають вибірку, яка добре характеризує всю сукупність (властивість об'єкту). На підставі дослідження цієї вибіркової сукупності з високою достовірністю оцінюють головні характеристики. Найчастіше виявляють закон розподілу генеральної сукупності і оцінюють найважливіші числові параметри, такі як математичне очікування, дисперсія і середнє квадратичне відхилення.

Стосовно оцінювання цих параметрів потрібно обчислити відповідні вибіркові значення. Так, вибірка середня дає змогу оцінити математичне очікування, причому, оцінити це значення точково. Точково тому що це окремо взяте, конкретне значення. Якщо з тієї ж генеральної сукупності проводять багаторазові вибірки, то в загальному випадку будуть виходити різні вибіркові середні, і кожна з них є точковою оцінкою генерального значення.

Аналогічно, незміщеною точковою оцінкою генеральної дисперсії є виправлена вибірка дисперсія i , відповідно, стандартного відхилення – виправлене стандартне відхилення.

Недолік точкових оцінок полягає в тому, що у разі невеликого обсягу вибірки можуть отримувати вибіркові значення, які далекі від істини. У цих випадках логічно вимагати, щоб вибірка характеристика θ_s (середня, дисперсія або якась інша) відрізнялася від генерального значення θ_T не більше ніж на деяке позитивне значення.

Значенням δ називають точністю оцінки, і озвучену вище вимогу можна записати за допомогою модуля [25–27]:

$$|\theta_T - \theta_s| < \delta \quad (4.9)$$

(точність оцінки також позначають через ϵ).

Але статистичні методи не дають змогу 100 % стверджувати, що розраховане значення θ_s задовольнятиме цій нерівності – адже в статистиці завжди є місце випадковості. Отже, можна говорити лише про ймовірність γ , з якою ця нерівність здійсниться:

$$P(|\theta_T - \theta_s| < \delta) = \gamma.$$

якщо розкрити модуль:

$$\begin{aligned} -\delta < \theta_T - \theta_s < \delta; \\ \theta_s - \delta < \theta_T < \delta + \theta_s \end{aligned} \quad (4.10)$$

і сформулюємо суть: інтервал $(\theta_s - \delta; \theta_s + \delta)$ називають довірчим інтервалом і є інтервальною оцінкою генерального значення θ_T за знайденим вибірковим

значенням θ_0 . Цей інтервал із ймовірністю «накриває» справжнє значення θ_0 . Цю ймовірність називають довірчою ймовірністю або надійністю інтервальної оцінки.

Надійність γ часто задають наперед: $\gamma = 0,95$; $\gamma = 0,99$; $\gamma = 0,999$.

Вибіркова середня – це точкова оцінка невідомої генеральної середньої. Як зазначалося вище, недолік точкової оцінки полягає в тому, що вона може виявитися далекою від істини. І за умовою, потрібно знайти інтервал $(m^* - \delta; m^* + \delta)$, який з ймовірністю $\gamma = 0,95$ «накриває» справжнє значення $m^* = a$ (буде невірним сказати, що m^* потрапить до цього інтервалу).

Точність оцінки розраховується за такою формулою

$$\delta = \frac{t_y \sigma}{\sqrt{N}}, \quad (4.11)$$

де t_y – коефіцієнт довіри. Цей коефіцієнт знаходять із співвідношення

$$2\Phi(t_y) = \gamma,$$

де $\Phi(x)$ – функція Лапласа.

Для більш точної оцінки можливо зменшувати інтервал, щоб отримати більш точну оцінку. Це можна зробити виходячи з формули (4.11). Очевидно, що менше стандартне відхилення (міра розкиду значень), тим коротше довірчий інтервал. Але це в окремо взятому завданні ні на що не впливає – адже відомо конкретне значення σ і змінити його не можна.

Тому для зменшення γ можна зменшити коефіцієнт довіри t_y і довірчий інтервал дійсно стане в разі коротшим, але при цьому впаде і значення ймовірності. Тобто цей вузький інтервал «накриває» генеральну середню, але лише з меншою ймовірністю. Це, звісно, є незадовільним для серйозного статистичного дослідження.

Тому для зменшення довірчого інтервалу (при тому ж значенні) залишається збільшувати обсяг вибірки. Що цілком зрозуміло і без формули (4.11), адже чим більше обсяг вибірки, тим точніше вона характеризує генеральну сукупність (за інших рівних умов).

4.6 Визначення обсягу вибірки

Вибіркова сукупність або вибірка – це певна кількість об'єктів, що були відібрані із сукупності, яка досліджується, з метою отримання відомостей про генеральну сукупність. Вибіркова сукупність або вибірка в всіх частинах повинна бути схожа з генеральною сукупністю, це потрібно для того щоб на її підставі в подальшому можна було б з достатньою впевненістю зробити висновок про генеральну сукупність.

Важливою вимогою при цьому є те щоб вибірка була репрезентативною (представницькою), тобто коли будь-який об'єкт вибирають випадково, однак усі об'єкти мають однакову ймовірність потрапити до цієї вибірки [25, 27].

Обсяг вибірки – це кількість об'єктів, за якими здійснюється спостереження, та які складають цю вибірку.

Обсяг сукупності (генеральної або вибіркової) – це кількість об'єктів, які включенні до цієї сукупності.

Збільшення обсягу вибірки (кількості спостережень) відіграє важливу роль в одержанні ймовірності результатів. Існують статистичні методи розрахунку мінімальної кількості об'єктів спостережень: параметричний, коли вид закону розподілу досліджуваної випадкової величини відомий і непараметричний, коли вид закону невідомий.

Для визначення обсягу випробувань або кількості об'єктів N за допомогою параметричного методу задаються відносною помилкою δ середнього значення (наприклад, наробітку t_{cp}), довірчою імовірністю ρ і очікуваним коефіцієнтом варіації (для експоненціального закону $V = 1$),

Відносну помилку визначають співвідношенням

$$\delta = (t_b - t_{cp}) / t_{cp}, \quad (4.12)$$

де t_b – верхня одностороння довірна границя значення.

Рекомендуються приймати $\delta = 0,05; 0,10; 0,15; 0,2$; та $\rho = 0,8; 0,9; 0,95; 0,99$.

Для підвищення ефективності випробувань, тобто досягнення у разі заданих витрат максимально достовірної інформації, необхідно врахувати дві умови:

- обсяг вибірки об'єктів повинен бути оптимальним для заданої довірчої імовірності отриманої інформації;
- проводити випробування бажано в режимі багатofакторного експерименту.

Відомо, що збільшення кількості об'єктів у випробуваннях збільшує точність отриманої інформації і її достовірність, але збільшує і витрати на випробування. Причому залежність достовірності від кількості експериментів має такий вигляд: тобто, перші 9 експериментів дають 90 % інформації, наступні 90 експериментів добавляють тільки 9 % інформації, а наступні 900 експериментів – лише 0,9 % інформації (рис. 4.6). Виникає питання: а який обсяг вибірки ж прийняти.

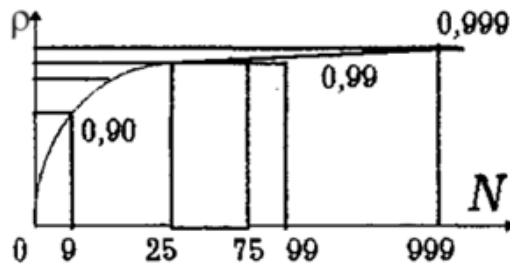


Рисунок 4.6 – Залежність достовірності інформації від кількості експериментів N

Для систем ЕЕЕ в розрахунках надійності вважаються достовірними результати, якщо їхні помилки не перевищують 2...5 %, тобто довірлива ймовірність дорівнює 0,980, що відповідає $N = 25...75$ об'єктів. Але краще визначати кількість об'єктів випробувань за формулою:

$$N = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\xi}, \quad (4.13)$$

де ξ – точність (похибка) вимірювальних інструментів, приладів;

t – нормована за ймовірністю статистика, яку обирають залежно від значення достовірності: $\rho = 0,90$ тоді $t = 1,65$; $\rho = 0,95$ тоді $t = 1,96$; $\rho = 0,99$ тоді $t = 2,58$; $\rho = 0,999$ тоді $t = 3,45$;

σ – середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання, яке для визначення кількості обсягу вибірки визначають за формулою:

$$\sigma \approx \frac{1}{6}(X_{\max} - X_{\min}). \quad (4.14)$$

Тут виникає питання точності вимірювання параметру, який можна визначити занадто грубо або занадто точно. Умовою оптимальної точності вимірювання слід вважати $\sigma \leq \xi$, тобто розмах розподілу (або межа допуску): вимірювальний інструмент повинен бути здатним розділити на 6...12 інтервалів.

Наприклад, якщо поле допуску розмірів валу складає 0,10 мм, то вимірювання штангенциркулем $\xi = 0,05$ мм буде грубим, вимірювання мікрометром $\xi = 0,01$ мм – достатнім, оптиметром $\xi = 0,001$ мм – занадто точним.

Для визначення обсягу випадкової вибірки можна скористатися готовими таблицями, які наведені у статистичних довідниках, або калькулятором обсягу вибірки.

При непараметричному методі мінімальна кількість N об'єктів спостережень для перевірки необхідної ймовірності $R(t)$ безвідмовної роботи протягом наробітку t з довірчою ймовірністю β визначається за умов

відсутності відмов за час t . У випадку, якщо під час реалізації плану спостереженні відбулася хоча б одна відмова, треба провести додаткові спостереження, тому що необхідне значення $R(t)$ не підтвердилося [14].

Розрахунки виконують за такою формулою:

$$N = \ln(1 - \rho) / \ln R(t) \quad (4.14)$$

або використовують таблиці.

У випадку обмеженої кількості вихідних статистичних даних під час розрахунку рекомендується наступний порядок визначення кількості контрольних об'єктів:

– задаються рівнем відносної помилки δ і довірчою ймовірністю ρ .
Доцільно використовувати значення $\delta = 0,05; 0,1; \rho = 0,90; 0,95$;

– згідно з таблицею 4.1 знаходять обсяг вибірки (вихідну кількість статистичних даних) n . Якщо елемент об'єкту, показник надійності якого розраховується, є неремонтованим, то обсяг вибірки n є кількість елементів N , які необхідно поставити під спостереження. У більшості випадків елементи об'єкту ремонтпридатні і їхня кількість може бути скорочена за рахунок збільшення тривалості випробувань (або навпаки, збільшенням кількості контрольних елементів можна скоротити час випробувань). Кількість контрольних елементів N і тривалість контрольного наробітку t зв'язані співвідношенням:

$$N \cdot t = n T_0 / \eta, \quad (4.15)$$

де T_0 – наробіток на одну відмову;

n – кількість даних про відмови елементів (обсяг вибірки);

η – коефіцієнт, що залежить від ρ .

Таблиця 4.1 – Данні під час встановлення обсягу вибірки

Відносна помилка δ	Обсяг n при довірчій імовірності ρ			
	0,80	0,9	0,95	0,99
0,05	300	600	1000	1000
0,1	80	200	300	600
0,15	45	90	150	300
0,2	27	55	90	184

Таблиця 4.2 – Встановлення обсягу вибірки залежно від довірчої ймовірності

n	Значення η у разі ρ рівному				n	Значення η у разі ρ рівному			
	0,99	0,95	0,9	0,8		0,99	0,95	0,9	0,8
24	0,67	0,75	0,79	0,85	150	0,84	0,88	0,90	0,93
45	0,72	0,79	0,83	0,86	200	0,86	0,89	0,92	0,94
55	0,75	0,81	0,85	0,89	300	0,88	0,91	0,93	0,95
80	0,78	0,84	0,87	0,91	600	0,91	0,94	0,95	0,97
90	0,79	0,85	0,88	0,92	1000	0,93	0,95	0,96	0,97

Відповідно до знайденої величини n знаходять η з таблиці 4.2 і визначають добуток $N \cdot t$ за формулою (4.15), задавши орієнтоване значення T_0 .

Далі, використовуючи добуток $N \cdot t$, задавши t , можна визначити N .

Наведені співвідношення дозволяють вирішувати й обернені задачі оцінки δ і β за фактично наявними обсягами або вибірками об'єктів.

Контрольні запитання до лекції 4

1. Назвіть головні вимоги до інформації про надійність.
2. Які головні завдання збору і обробки інформації про надійність рухомого складу?
3. Які методи отримання інформації Ви знаєте? В чому переваги і недоліки цих методів?
4. Які плани спостережень існують? Як позначають плани спостережень?
5. В чому особливість різних планів спостережень за роботою об'єктів для визначення показників їхньої надійності?
6. Назвіть позначення літер в планах спостережень.
7. Запропонувати перелік додаткових відомостей про види випусків, маршрути, інші умови експлуатації для розширення і уточнення бази облікових даних.
8. Назвіть порядок обробки статистичних даних.
9. Обсяг проведення оцінок про надійність об'єктів залежить від поставлених завдань?
10. Що називають «точковими оцінками», які недоліки точкових оцінок?
11. Що показує довірчий інтервал?

ЛЕКЦІЯ 5

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ

План

- 5.1 Концепція управління технічним станом електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.
- 5.2 Методи прогнозування надійності об'єктів.
- 5.3 Оцінювання залишкового ресурсу.
- 5.4 Гамма-відсотковий ресурс.

5.1 Концепція управління технічним станом електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем

Якісне застосування технічних об'єктів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем (ЕЕЕС) може бути забезпечено тільки у разі відповідного рівня надійності, яке починається під час проєктування та забезпечується в період експлуатації та ремонту. До того ж головні вимоги до безпечної конструкції технічних об'єктів, їхніх умов та режимів експлуатації визначається міжнародними, національними та галузевими стандартами, а також нормативами підприємств-виробників [30].

На усіх етапах життєвого циклу технічних об'єктів вирішуються певні завдання, які представлені структурною схемою на рисунку 5.1.

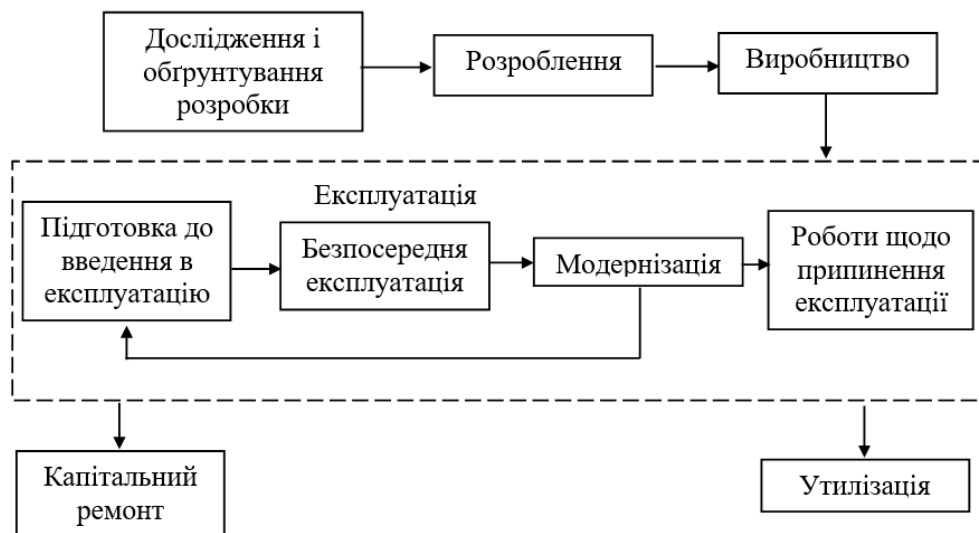


Рисунок 5.1 – Завдання, що вирішуються протягом життєвого циклу технічних об'єктів [30]

На стадії «Експлуатація» життєвого циклу технічних об'єктів вирішується головне призначення у народному господарстві. На цій стадії головною метою формування техніко-експлуатаційних характеристик

технічних об'єктів є їхнє збереження у встановлених межах, яке має забезпечувати [30]:

- відповідний рівень працездатності технічних засобів;
- підвищення продуктивності праці персоналу, зайнятого забезпеченням працездатності технічних засобів;
- скорочення витрат на технічне обслуговування та ремонт;
- забезпечення безпеки технічних об'єктів відносно зовнішніх впливів тощо.

Зазначенні вище завдання належать до управління технічним станом об'єктів і вирішуються шляхом застосування систем технічного обслуговування та ремонту, що формуються згідно відповідної концепції.

Концепція управління технічним станом технічних об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки узагальнює техніко-економічні заходи з надійності і забезпечує можливість прийняття рішень щодо підвищення рівня працездатності на всіх етапах життєвого циклу, відновлення технічного ресурсу та оновлення основних засобів, що містить:

- забезпечення відповідної якості;
- удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту;
- підвищення рівня організації і якості технічного обслуговування та ремонту;
- вирішення питань оновлення (заміни) об'єктів, або їхня утилізація;
- продовження терміну експлуатації шляхом ремонтів, або модернізації.

Під час етапу «експлуатація» працездатність технічних об'єктів забезпечується проведенням періодичного технічного обслуговування та поточним ремонтом із заміною деталей та вузлів відповідно до їхнього технічного стану ресурсу. За нормативними даними електричні машини, апарати, агрегати й деталі об'єктів мають визначений технічний ресурс.

За значеннями окремих технічних ресурсів виділяють окремі групи елементів, що підлягають замінюванню через певний термін, що дає змогу систематизувати періодичність технічних впливів і оптимізувати прийняття рішень про подальше використання технічних об'єктів, вирішувати питання доцільності подальшого використання: проведення ремонту з продовженням терміну експлуатації, повної модернізації, або утилізації та оновлення.

Головні завдання прийняття рішень забезпечення працездатності технічних об'єктів можна розділити на такі етапи:

- на 1 етапі проходить експлуатація технічних об'єктів та виконуються технічні впливи за чинною системою технічного обслуговування та ремонту;
- на етапі 2 вирішуються питання оновлення (заміни) технічних об'єктів залежно від фінансових можливостей;

- на етапі 3 передбачено прийняття рішень з продовження терміну експлуатації після експертних висновків;
- на етапі 4 на базі оцінки технічного стану та економічної доцільності приймається рішення щодо проведення модернізації;
- на етапі 5 передбачається підготовка до утилізації об'єктів, подальша експлуатація яких економічно не доцільна та не забезпечує безпеки експлуатації.

В період експлуатації об'єктів ЕЕЕС за чинною системою технічного обслуговування та ремонту для забезпечення необхідного рівня технічного стану вирішуються завдання формування різновидів технічних впливів за номенклатурою, елементарними технологічними операціями, оцінювання кратності їхнього календарного планування і визначення найважливіших для практики кількісних показників ремонтпридатності. Для цього розраховують кожен складову цільової функції, зокрема витрати на технічне обслуговування та планові і непланові ремонти за формулою [30]:

$$C_{ЗТВ} = \sum_{j=1}^n C_{ПТВ} + \sum_{i=1}^N C_{НТВ} \rightarrow \min \left| \begin{matrix} Y_P \\ P_{PEC} \end{matrix} \right., \quad (5.1)$$

у разі коли Y_P та P_{PEC} більше нуля,

де $C_{ЗТВ}$ – загальні витрати на технічне обслуговування і ремонт у рік;

$C_{ПТВ}$ – витрати на проведення планових різновидів технічних впливів у рік;

$C_{НТВ}$ – витрати на усунення непрогнозованих відмов та непланові ремонти за рік;

n – кількість різновидів технічних впливів;

N – кількість об'єктів у вибірці;

Y_P – рівень якості технічного обслуговування та ремонту;

P_{PEC} – ресурси, що можуть бути використані під час надання послуг, зокрема на технічне обслуговування й ремонт.

Відповідно до цільової функції загальні витрати на технічне обслуговування і ремонт мають бути в межах встановлених мінімально-доцільних витрат.

Вирішення питань оновлення (замінювання), продовження терміну експлуатації шляхом ремонтів або модернізації проводять на підставі наявних обсягів фінансування, технічного стану та терміну експлуатації.

Оновлення, тобто замінювання об'єктів новими, проводиться згідно планів робіт і відповідно до фінансових ресурсів, що можуть бути використані з різних джерел фінансування:

$$N_{in} = \frac{\Phi_i}{C_i}, \quad (5.2)$$

де N_{in} – кількість об'єктів за окремими типами;

Φ_i – обсяг фінансування;

C_i – вартість нового об'єкту та його монтажу.

Утилізація технічних об'єктів, що вичерпали повністю технічний ресурс і не можуть бути використані в експлуатації, проводиться їх власником на підставі оформлення документації відповідно до чинного законодавства.

Модернізація – це цілеспрямований процес досягнення необхідного технічного рівня системи за рахунок змінювання складу, виходячи з функціональної структури, конструкції окремих її елементів і підсистем згідно схем їхнього розвитку і підвищені ні технологічності виробництва у разі обмеженнях на ресурси і вартість [3].

5.2 Прогнозування рівня розвитку технічних об'єктів

Прогнозування передбачає проведення досліджень і розробку методів прогнозу технічного стану і працездатності об'єктів. За цим проведені процеси діагностування та інформаційного забезпечення стану машини, напрацювання за минулий період експлуатації послуговують необхідною інформаційною базою для прогнозування і оцінювання майбутнього стану об'єкту зі збереженням технічного ресурсу і забезпечення надійності об'єкту в наступний період експлуатації. Інформацію, що отримана під час діагностування та моніторингу, використовують для прогнозування подій і технічного стану технологічного обладнання. Прогнозування є процесом, за результатами якого отримують ймовірнісні дані щодо майбутнього стану прогнозованого процесу і загалом технологічного обладнання [20].

Необхідною умовою проведення прогнозу є інформація про об'єкт прогнозування, яка розкриває його стан у попередній період, особливості функціонування з метою виявлення закономірностей і характеру змінювання стану в наступний період розвитку стану і функціонування машини. Інформація в процесах прогнозування ґрунтується на поточній (хронологічній) інформації стану та функціонування вузлів і механізмів технологічного обладнання, в тому числі отриманої інформації під час діагностування і в процесі моніторингу діючих машин.

За наявності хронологічній інформації, отриманої в процесі довготривалих спостережень, виявляються закони поведінки і змінювання параметрів $\{p_n\}$ надійності і працездатності в часі поточного періоду експлуатації, закони подальшого ймовірнісного змінювання параметрів.

Тому виокремлюють короткострокове прогнозування і довгострокове, що віддзеркалює тактику і стратегію планування та прийняття рішень. Під час короткострокового прогнозування необхідно враховувати, що виявленні

тенденції є неповними, до того ж вони не забезпечують необхідний рівень ймовірності.

У разі довгострокового прогнозування змінювання подій в минулому надає більш повну і точну інформацію для стратегічного планування розвитку подій і вжитих заходів, але для проведення такого прогнозування необхідний тривалий період певної хронологічної інформації.

Вивчення прогнозування технічного стану об'єкту починають з розгляду прогнозування відповідно до певних етапів технічного розвитку. Перехід попереднього рівня стану техніки до наступного вимагає безперервного розвитку технічних об'єктів в процесі їхньої експлуатації. Темп розвитку може сповільнюватися або прискорюватися залежно від прийнятих рішень, різноманітних зовнішніх впливів, умов зовнішнього середовища. Прогноз розвитку технічного об'єкта може стосуватися будь-якого елемента, вузлу, механізму аналізованої події, до різних рівнів розвитку події в часі. В суті прогнозування технічного розвитку лежить виявлення перспективних напрямків і пошук технічних рішень. Водночас технічний розвиток залежить від змінювання технічних параметрів у часі (рис. 5.2).

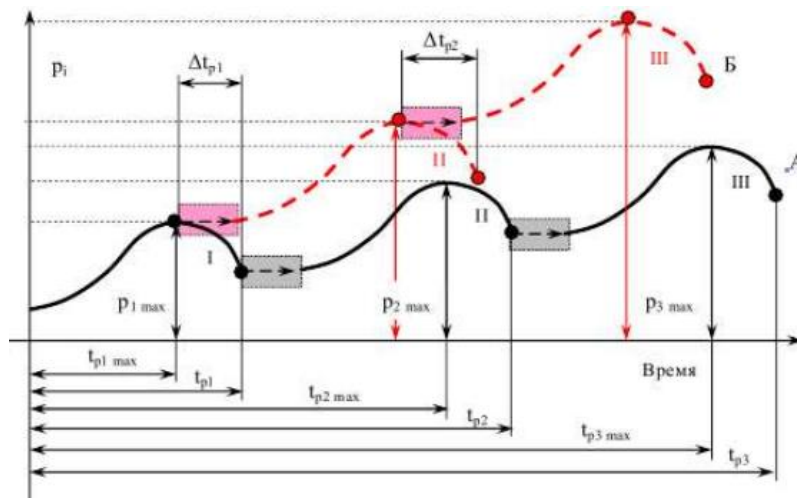


Рисунок 5.2 – Прогнозування технічного розвитку:

А – поточний варіант розвитку техніки; Б – прогресуючий варіант розвитку техніки; I, II, III – етапи зміни технічного стану техніки і її вдосконалення;
 p_1, p_2, p_3 – досягнуті рівні розвитку техніки для різних етапів технічного стану;
 $\Delta t_{p1}, \Delta t_{p2}$ – зміщення початку чергового етапу розвитку техніки

Зона графічного зображення на рисунку 5.2 показує темп розвитку і переходу з одного рівня до іншого. Технічними параметрами $\{p_i\}$ можуть бути залежно від об'єкта швидкість, продуктивність, питоме споживання палива, витрата електроенергії, потужність, показники якості, витрати на технічне

обслуговування і ремонт. Технічний розвиток досягається за рахунок модернізації і удосконалення конструкції, реалізації нових патентів, використання нових матеріалів тощо.

Функції технічного розвитку показують, що існує безліч причин або факторів, що призводять до необхідності проведення прогнозів. Головні чинники – зношування, моральне і фізичне старіння техніки, необхідність безперервного вдосконалення конструкції, вдосконалення обслуговування і ремонту технологічного обладнання, розроблення найефективнішої системи постачання запчастинами, недостатня кваліфікація, досвід і знання обслуговуючого персоналу тощо. Тоді функції технічного розвитку технічного об'єкта входять: поточне значення параметра технічного об'єкта; змінювання поточного технічного стану (параметра p_i) відносно до майбутнього зразка технічного об'єкта з кращими параметрами; значення прогнозованого параметра для майбутнього зразка технічного об'єкта; коефіцієнт впливу зовнішнього середовища; коефіцієнт темпу розвитку, темп або час переходу з одного рівня розвитку на наступний.

Прогнозування надійності характеризується тим, що вирішується імовірнісне завдання, в якому поведінка технічного об'єкта або події в майбутньому визначається з певним ступенем достовірності і оцінюється ймовірність його знаходження в визначеному стані у розглянутих умовах експлуатації.

Існують різні методи прогнозування [20]:

- прогнозування надійності;
- працездатності;
- технічного ресурсу.

Стосовно до надійності прогнозування зводиться, загалом, до розрахунку ймовірності безвідмовної роботи об'єкта $R(t)$ залежно від можливих умов експлуатації.

Базою прогнозування надійності є оцінка змінювання вихідних параметрів об'єкта в часі у разі різних вхідних даних, на підставі чого можна зробити висновок про показники надійності у різних умовах і методах експлуатації.

Прогнозування надійності технологічного обладнання зводиться до прогнозування працездатності, ймовірності безвідмовної роботи, прогнозування залишкового технічного ресурсу. Розширюючи область пізнання питань прогнозування на основі діагностування, можна вирішувати питання прогнозування стосовно технічного стану і надійності різних видів техніки.

5.3 Оцінювання залишкового ресурсу

Методики оцінки *залишкового ресурсу* націлені на визначення кількісних оцінок показників надійності експлуатованого устаткування, дають змогу ефективно вирішувати завдання прогнозування стану об'єктів, використовуючи апіорну інформацію про фізичні процеси деградації, об'єктів, що обумовлюють їхні відмови [20].

Усі кількісні оцінки показників надійності (поточні показники надійності устаткування, що прогнозуються), залишковий ресурс (термін служби) і регламентований термін експлуатації мають певні оцінки достовірності і точності, що відповідають статистичним даним, які отримують за певний інтервал спостережень.

Як вже згадувалося причиною відмови можуть бути досягнення об'єктом граничного стану або поява несправності, що призводить до нездатності об'єкту виконувати необхідні функції.

Граничний стан об'єкту може характеризуватися [14]:

- переходом невідного об'єкту в непрацездатний стан;
- подальша експлуатація об'єкта пов'язана з загрозою небезпеки;
- зниженням ефективності використання об'єкту внаслідок погіршення надійності;
- економічною недоцільністю подальшої експлуатації;
- моральним старінням апаратури і устаткування.

Ресурсний (визначальний) параметр – параметр (характеристика), досягнення яким деякого критичного (граничного) значення призводить до відмови об'єкту.

Діагностичний параметр – параметр (характеристика), який може бути вимірний в процесі експлуатації об'єкту і який побічно характеризує витрачання ресурсу об'єкту.

Залишковий ресурс – сумарне напрацювання об'єкту від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

Залишковий ресурс (залишкове напрацювання до відмови, залишковий термін служби) є індивідуальними показниками надійності (довговічності, безвідмовності).

Інформація про залишковий ресурс (залишковому напрацюванню до відмови) потрібна для використання в системі технічного обслуговування, а також для розроблення рішень про можливість подальшої експлуатації.

Для вироблення рішення про подальшу експлуатацію об'єкту, терміни і об'єми проведення ремонтних дій на основі інформації про залишковий ресурс необхідно визначати наступні величини:

- середній залишковий ресурс;
- гамма-відсотковий залишковий ресурс;
- точність прогнозування показників залишкового ресурсу (довірчі межі, що відповідають визначеним довірчій ймовірності і відносній помилці).

Точність і достовірність прогнозованого значення залишкового ресурсу визначають відхиленням прогнозованого значення від фактичного значення, отриманого під час дослідження на фактичному матеріалі.

Параметри і характеристики об'єкту, що використовуються як початкова інформація під час прогнозування залишкового ресурсу, залежать від виду початкової інформації і вживаної методики прогнозування.

Параметрами і характеристиками, що несуть інформацію про індивідуальні особливості об'єкту, можуть бути:

- первинна оцінка довговічності цього типу об'єктів;
- напруження на момент прогнозування;
- значення ресурсного параметра на момент прогнозування;
- значення вимірюваних діагностичних параметрів об'єкту;
- переважаючі фізичні процеси деградації, що призводять до граничного стану;
- значення коефіцієнтів варіації фізичних процесів, що призводять до граничного стану, або коефіцієнтів варіації ресурсу об'єктів-аналогів.

Точність прогнозування залишкового ресурсу більшою мірою залежить від прийнятої функції розподілу залишкового ресурсу.

Під час дослідження надійності устаткування традиційно розділяють на два класи об'єктів :

- механічне і тепломеханічне устаткування (двигуни, насосні агрегати, арматура, посудини, трубопроводи і інші вироби), переважаючими процесами руйнування, що призводять до відмов (граничному стану) яких, є безповоротні деградаційні процеси типу об'ємна і контактна втома, механічний знос, корозія і старіння;
- електронне і електротехнічне устаткування (системи управління і контролю, електродвигуни, турбогенератори, компресори, трансформатори, вимикачі і інші вироби), що містять електротехнічні і електронні компоненти, які в основному обумовлюють відмови приладів і апаратури.

Під час технічного діагностування визначають фактичне значення параметру стану Π_k в момент контролю. Це значення порівнюють з допустимим $\Pi_{зр}$. Якщо $\Pi_k > \Pi_{зр}$, то проводиться ремонтна операція, якщо $\Pi_k < \Pi_{зр}$, то елемент залишають до наступного контролю.

Вимірювання параметру, що свідчить про зношування об'єкту під час експлуатації дає змогу побудувати експоненціальну криву (рис. 5.3).

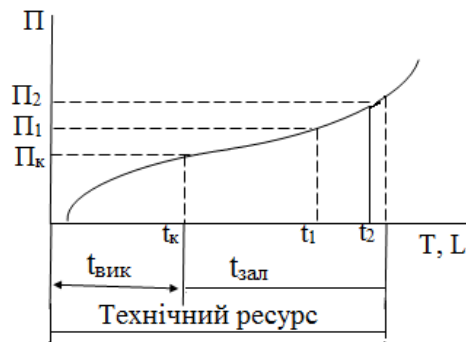


Рисунок 5.3 – Експоненціальна крива змінювання стану об'єкту під час експлуатації

На рисунку 5.3 позначені такі параметри:

- t_1, t_2 (або l_1, l_2) – напрацювання, за якими маємо значення Π_1 і Π_2 (оскільки графік побудовано за фактичними даними, то Π_1 і Π_2 відомі);
- $t_{вик}$ (або $l_{вик}$) – використаний ресурс;
- $t_{зал}$ (або $l_{зал}$) – залишковий ресурс.

Повний ресурс тоді буде визначатися як: $t_p = t_{вик} + t_{зал}$.

Для апроксимації кривої, тобто одержання функціональної залежності $\Pi = f(T)$ використовують ступеневу функцію:

$$\Pi = V_c \cdot t^\alpha \quad \text{або} \quad \Pi = V_c \cdot l^\alpha, \quad (5.3)$$

в якій невідомими є:

- V_c – інтенсивність зношування;
- α – показник ступеня апроксимації.

Можна записати наступне:

$$\Pi_1 = V_c \cdot t_1^\alpha \quad \text{або} \quad \Pi_1 = V_c \cdot l_1^\alpha; \quad (5.4)$$

$$\Pi_2 = V_c \cdot t_2^\alpha \quad \text{або} \quad \Pi_2 = V_c \cdot l_2^\alpha.$$

Якщо виконати відповідні перетворення, вирішити рівняння відносно $t_{зал}$ і відповідно до рисунка 5.3, маємо:

$$l_{зал} = l_k \left[\left(\frac{U_{зр.}}{U_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right] \quad \text{або} \quad t_{зал} = t_k \left[\left(\frac{U_{зр.}}{U_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right], \quad (5.5)$$

де $l_k(t_k)$ – напрацювання складової частини від початку її експлуатації або від поновлення експлуатації після ремонту і до початку контролю;

α – показник степені апроксимуючої функції змінювання параметра;

$U_{зр.}$ – діапазон змінювання параметра від номінального P_n до граничного $P_{зр.}$;

U_k – діапазон змінювання параметра до моменту контролю, тобто

$$U_k = |P_n - P_k| - \Delta P ; U_{зр.} = |P_n - P_{зр.}| - \Delta P , \quad (5.6)$$

де P_n – номінальне значення параметра;

$P_{зр.}$ – граничне значення параметра;

P_k – значення параметра на момент контролю;

ΔP – допуск на припрацювання.

У рівняннях (5.6) параметри $U_{зр.}$ та U_k визначають за модулем, оскільки значення параметрів можуть змінюватися в бік збільшення (внутрішній діаметр втулки) або зменшення (діаметр вала, висота щітки електродвигуна).

Отже, незважаючи на випадковий характер процесів, змінювання діагностичних параметрів можна відобразити деякою функцією від напрацювання і на цій підставі прогнозувати їхнє значення. Способи прогнозування ресурсу, у яких для апроксимації використовують ступеневу функцію, за показником ступеня апроксимації α визначають характер змінювання параметру P :

– у разі $\alpha = 1$ – це лінійна залежність (пряма лінія);

– у разі $\alpha > 1$ – це ступенева або експоненціальна залежність (опуклістю ввверх);

– у разі $\alpha < 1$ – це ступенева або експоненціальна залежність (опуклістю вниз).

Ступенева функція змінювання параметру P є достатньо універсальною, коефіцієнти якої мають чіткий фізичний зміст через невелику кількість невідомих коефіцієнтів та широке її використання в теорії прогнозування.

Для визначення залишкового ресурсу у разі використання зазначеного підходу необхідно знати початкове значення вимірювального параметру, пробіг (або термін служби) з початку експлуатації, значення вимірювального параметру в даний момент часу, а також граничне значення певного параметру.

Для зручності визначення прогнозованого ресурсу під час діагностування застосовують спеціальні довідкові або базові таблиці графіки, номограми та інші способи.

5.4 Гамма-відсотковий ресурс

Довговічність машини суттєво залежить від умов і технічного рівня експлуатації. Низький рівень обслуговування і його несвоєчасність призводить до скорочення терміну служби машини. Крім того кожен вузол і кожна деталь мають свою довговічність

З іншого боку заходи з підвищення довговічності здорожують конструкцію. Але використання якісних матеріалів, упровадження нових технологічних процесів і додаткового обладнання ці витрати виправдовують. Вартість виготовлення деталей, які визначають довговічність машини, зазвичай є невеликою порівняно з вартістю виготовлення машини, а вартість самої машини є невеликою порівняно із загальними експлуатаційними витратами.

Слід зазначити, що надмірне підвищення довговічності, як і недостатня довговічність економічно не вигідні. Довговічність машини не повинна перевищувати терміну морального зношення, тобто стану, коли машина, зберігаючи фізичну працездатність, за своїми кількісними або якісними характеристиками перестає задовольняти споживача.

Ресурс є величиною, що потенційно може бути досягнута під час експлуатації. Для деяких об'єктів для оцінювання довговічності застосовують такі показники:

- середній ресурс – це математичне очікування ресурсу;
- гамма-відсотковий ресурс – це сумарний наробіток, протягом якого об'єкт не досягає граничного стану з імовірністю γ , вираженою у відсотках;
- призначений ресурс – це сумарний наробіток, у разі досягнення якого експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану.

Істотною перевагою гамма-відсоткового ресурсу є можливість визначення строку експлуатації до завершення випробувань всіх зразків. У більшості випадків для різних елементів використовують 90 % ресурс. Якщо відмова елемента впливає безвідмовність, то гамма-ресурс наближається до 100 %.

За гамма-відсотковим ресурсом оцінюють якість нових і відремонтованих машин. Якщо ресурс об'єктів має розподіл із щільністю ймовірності $f(t)$, то гамма-відсотковий ресурс t_γ обчислюють за рівнянням [25, 26]:

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \quad (5.7)$$

Значення гамма-відсоткового ресурсу можна визначити за допомогою кривої надійності (ймовірності безвідмовної роботи), та функції щільності розподілу ресурсів, що подані на рисунках 5.4 і 5.5.

Гамма-відсотковий ресурс має і перевищує у середньому обумовлену кількість γ відсотків об'єктів певного типу. Заданий відсоток об'єктів γ – регламентована ймовірність. Наприклад у разі $\gamma = 90 \%$, відповідний ресурс називають 90 %-вим ресурсом. На рисунку 5.4 90 %-вий ресурс відповідає значенню $l_{p\gamma}$ (як визначалося раніше, це може бути значення t_l).

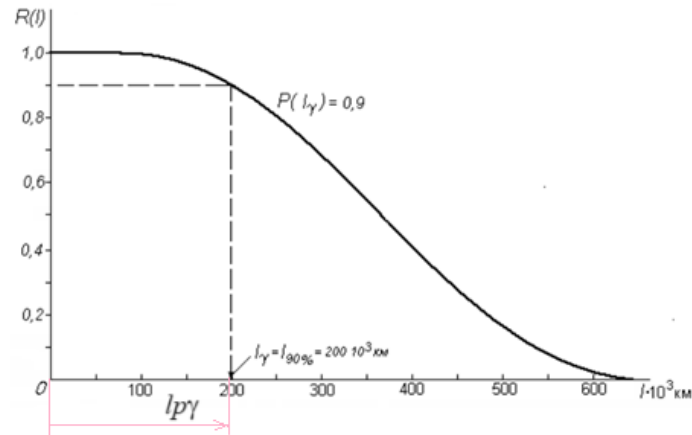


Рисунок 5.4 – Крива надійності (ймовірності безвідмовної роботи) для визначення 90 %-вого ресурсу

Частина об'єктів (рис. 5.5), які вичерпали свій ресурс до певного напрацювання, визначається заштрихованою частиною площі під кривою до ординати даного напрацювання (при цьому вся площа під кривою приймається за 100 %).

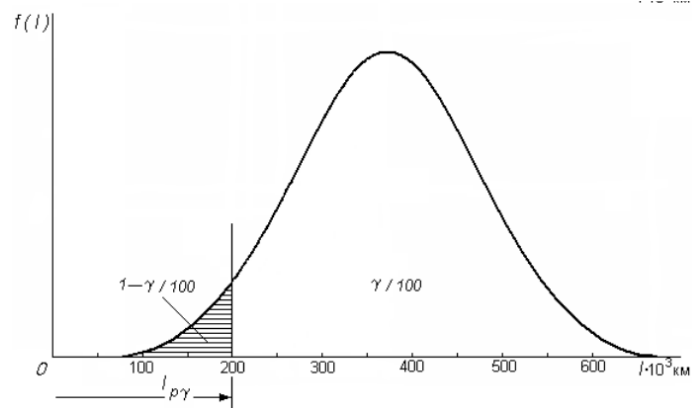


Рисунок 5.5 – Визначення гамма-відсоткового ресурсу за допомогою функції щільності розподілу ресурсів

Судячи з результатів, наведених на рисунку 5.5, 90 % ресурс аналізованих виробів становить 200 тис. км. Це означає, що на момент напрацювання 10 % виробів свій ресурс можуть вичерпати, а 90 % можуть успішно функціонувати.

Гамма-відсотковий ресурс має велике практичне значення, оскільки в результаті неминучого розсіювання довговічності техніки під час навантажень в змінюваних умовах експлуатації, їхня довговічність – величина статистична.

Визначається експериментально за даними про довговічність великої групи об'єктів. Якщо спостереження (випробування) вести, поки всі 100 % об'єктів вичерпають свій ресурс (досягнуть граничного стану) – до напрацювання $t_{\gamma=0}$, то за їхніми результатами нескладно визначити середній ресурс. Тривалість випробувань (спостережень) при цьому буде максимальною.

Наприклад, середній доремонтний ресурс $t_{др}$ електромеханічного пристрою та його агрегатів повинен досягати 6...8 тис. год. При цьому довговічність окремих пристроїв певної марки (типу) може значно перевищувати середній доремонтний ресурс. Це потребує для завершення випробувань (спостережень) в умовах експлуатації з вичерпуванням ресурсу всіх досліджуваних пристроїв п'ять і більше років.

Гамма-відсотковий ресурс, як показник оцінки довговічності сприяє скороченню часу випробувань (спостережень) машин, оскільки випробування (спостереження) призводять до вичерпування ресурсу порівняно невеликої кількості (10...20 %) машин. За цим значення гамма-відсоткового ресурсу відповідно рівні t_{γ_1} і t_{γ_2} ($\gamma_1 = 90\%$ та $\gamma_2 = 80\%$), тим менше тривалість випробувань (спостережень).

Чим більше встановлена γ , тим менше тривалість випробувань (спостережень). Проте для оцінки ресурсу з певною регламентованою точністю у разі зменшення тривалості випробувань потрібно збільшити кількість об'єктів, що випробовуються.

Контрольні запитання до лекції 5

1. Які завдання вирішуються на кожному етапі життєвого циклу технічного об'єкту?
2. Вірно, що під час довгострокового прогнозування необхідно враховувати етапи майбутнього технічного розвитку машин?
3. Яка роль модернізації?
4. Що є номінальним значенням параметру, а що є граничним значенням параметру?
5. Надайте визначення поняттю «залишковий ресурс».
6. Чим може характеризуватися граничний стан об'єкту?
7. Чи вірно, що залишковий ресурс визначають за декількома моделями?
8. Від чого залежить точність і достовірність прогнозованого значення залишкового ресурсу?
9. Що показує степінь апроксимації функції залишкового ресурсу?
10. Гамма-відсотковий ресурс є показником довговічності або безвідмовності?
11. Як використовують гамма-відсотковий ресурс? Які переваги?

ЛЕКЦІЯ 6

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ

План

- 6.1 Технічне обслуговування орієнтоване на безвідмовність.
- 6.2 Методика розрахунку оптимального міжремонтного періоду.
- 6.3 Конструктивно-технологічні методи підвищення надійності об'єктів.
- 6.4 Надійність складних систем.
- 6.5 Забезпечення технічних об'єктів запасними частинами.

6.1 Технічне обслуговування орієнтоване на безвідмовність

Планування попереджувальних ремонтних робіт призначено забезпечувати ефективне функціонування виробничого процесу, скорочувати час простоїв обладнання та зменшення можливих збитків підприємства. Розрахунок плану графіку ремонтних робіт на рік визначається переліком зафіксованих поломок обладнання, кількістю ремонтних робіт та строками їхнього виконання за рік. Будь-який механізм та обладнання потребують ремонту. Ремонт проводять запланований (за графіком), або не запланований (необхідний терміново). Головним документом, за яким здійснюється запланований ремонт, є річний графік планово-попереджувальних ремонтних робіт для підприємства. На підставі цього графіка визначають потребу у персоналі, який безпосередньо здійснює ремонт, матеріалах, запасних та комплектуючих частинах виробів, що потребують ремонту [30].

Розробка оптимальних строків проведення технічного обслуговування обумовлюється багатьма об'єктивними причинами. У першу чергу розкидом ресурсу деталей, оскільки тривалість роботи кожної деталі – випадкова величина (зі своїми законами й параметрами розподілу), охарактеризувати яку можна тільки шляхом спостереження за сукупністю аналогічних деталей конкретної моделі технічного об'єкта.

Якщо було визначено для кожного типу деталі оптимальний строк замінування, встановлений на підставі мінімізації (максимізації) цільової функції (наприклад, за мінімумом питомих витрат), то виникає друге питання: як встановити оптимальні строки технічного обслуговування в цілому. Оскільки здійснювати незалежне технічне обслуговування (замінування кожної деталі окремо) може виявитися економічно не вигідною, тому що для замінування деталі часто потрібне розбирання агрегату й проведення інших

складних робіт, під час розроблення строків проведення технічного обслуговування необхідно враховувати ймовірне напрацювання кожного елемента залежно від режиму роботи.

Важливим показником підвищення експлуатаційної надійності технічного об'єкту є правильно встановлений перелік і періодичність виконання технічного обслуговування. Визначення переліку й періодичності виконання технічного обслуговування здійснюють у такій послідовності:

- 1) вивчають умови експлуатації з погляду їхнього технічного обслуговування, включаючи час роботи;
- 2) аналізують імовірні відмови й несправності з погляду можливості їх попередження;
- 3) визначають перелік і види перевірок, змащень, регулювань, замінювання тощо для кожного вузла й визначають необхідні інструменти, прилади й пристосування для проведення технічного обслуговування цих вузлів;
- 4) обґрунтовують методику збору експлуатаційних даних за аналогами, що перебувають в експлуатації, і їхніх вузлів;
- 5) встановлюють періодичність усіх профілактичних робіт для кожного вузла;
- 6) проводять угруповання профілактичних робіт за строками і встановлюють ремонтний цикл;
- 7) затверджують нормативи й інструкцій з технічного обслуговування об'єкту.

6.2 Методика розрахунку оптимального міжремонтного періоду

Оптимальний міжремонтний період визначають за умови забезпечення відповідного рівня безвідмовності за формулою [4]:

$$T_p = \beta \cdot T_{сер} \quad \text{або} \quad L_p = \beta \cdot L_{сер}, \quad (6.1)$$

де β – коефіцієнт раціональної періодичності, що враховує величину і характер варіації напрацювання (або ресурсу) на відмову, а також прийняту допустиму ймовірність безвідмовної роботи (їхні значення подано до табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Значення коефіцієнт раціональної періодичності за різними коефіцієнтами варіації

P	Значення β для різних коефіцієнтах варіації			
	$V = 0,2$	$V = 0,4$	$V = 0,6$	$V = 0,8$
0,85	0,8	0,55	0,4	0,25
0,95	0,67	0,37	0,2	0,1

Коефіцієнт варіації визначають з урахуванням формули (2.4) як:

$$V = \frac{\sigma}{T_{\text{сер}}} \quad \text{або} \quad V = \frac{\sigma}{L_{\text{сер}}}, \quad (6.2)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення, що визначається за формулою:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n (t_{\text{сер } i} - T_{\text{сер}})^2}{N - 1}} \quad \text{або} \quad \sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_1^n (l_{\text{сер } i} - L_{\text{сер}})^2}{N - 1}}. \quad (6.3)$$

де $T_{\text{сер}}$ ($L_{\text{сер}}$) – середнє напрацювання на відмову;

$t_{\text{сер } i}$ ($l_{\text{сер } i}$) – середнє напрацювання на відмову i -ої кількості об'єктів (транспортних засобів).

Значення середнього напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$ ($L_{\text{сер}}$) визначають під час оброблення статистичних даних, на підставі яких будують гістограму розподілу відмов. Така гістограма для певних об'єктів має різні види, що пояснювалося в особливостях нормальних законів розподілу випадкових величин. На рисунках 6.1 і 6.2 показані гістограми для двох варіантів виникнення відмов.

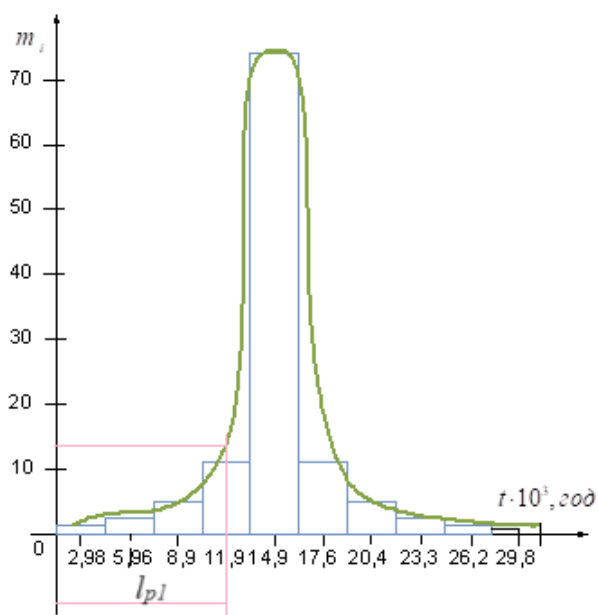


Рисунок 6.1 – Гістограма для першого варіанта виникнення відмов

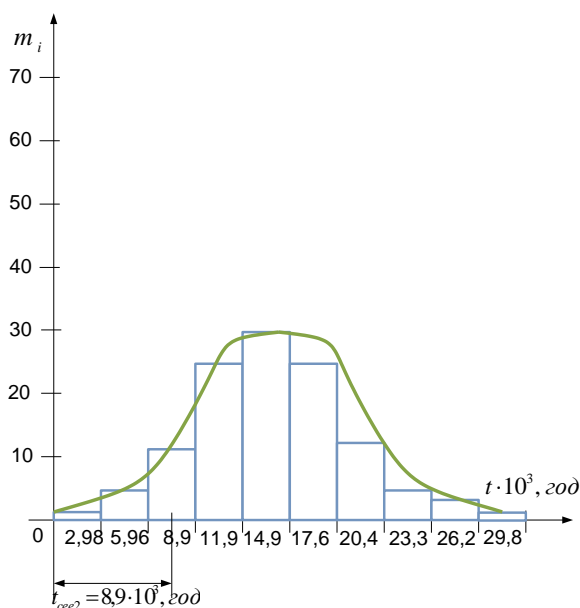


Рисунок 6.2 – Гістограма для другого варіанта виникнення відмов

Більш інформативним є варіант виникнення відмов, показаний на рисунку 6.1 де розсіювання значень напрацювань на відмову ближче до середнього. Варіант на рисунку 6.2 свідчить про гірший технічний стан та необхідність планування частіших ремонтів. Оскільки під час виконання

ремонтів у разі періодичності напрацювання l_{p1} за варіантом на рисунку 6.1 попереджається більше відмов ніж за варіантом на рисунку 6.2.

Для визначення оптимального міжремонтного періоду визначають показники надійності, зокрема середнє напрацювання на відмову за формулою (2.3), визначають середньоквадратичне відхилення за формулою (6.3) та коефіцієнт варіації для двох варіантів за формулою (6.2). За визначеними коефіцієнтами варіації напрацювання на відмову та прийнятій ймовірності безвідмовної роботи з таблиці 6.1 обирають коефіцієнт раціональної періодичності проведення ремонтів β для певної ймовірності безвідмовної роботи і за формулою (6.1) визначають оптимальний міжремонтний період.

У разі збільшення коефіцієнта варіації та (або) ймовірності безвідмовної роботи оптимальний міжремонтний період зменшується, що дає можливість використовувати ці показники для пошуку шляхів підвищення довговічності об'єктів в аспекті вдосконалення системи технічного обслуговування.

6.3 Конструкторсько-технологічні методи підвищення працездатності машин

Відновити геометричну форму і розміри деталі можна, виконуючи такі технологічні операції: нарощування поверхневих шарів матеріалу замість спрацьованого; пластичне деформування; заміна частини матеріалу деталі після обробки її поверхневих шарів.

До операцій відновлення фізико-механічних властивостей матеріалу деталей слід віднести усунення дефектів і зміцнення матеріалу тим або іншим видом оброблення.

Технологічні способи відновлення деталей складаються з двох груп: способи нарощування і способи оброблення. До першої групи належать способи, під час застосування яких спрацьований матеріал деталі компенсується нанесенням інших матеріалів. До них належать зварювання і наплавлення, напилування, металізація, нанесення електролітичних покриттів та полімерних матеріалів. До другої групи віднесено технологічні способи, наприклад обробка тиском, слюсарно-механічна обробка, зміцнювальне оброблення.

Перспективним напрямком раціонального застосування зміцнювальних технологій і матеріалів слід вважати використання зміцнювання, як способу управління в формуванні поверхонь робочих органів машин.

Наплавлення зносостійкими сплавами є найбільш універсальним, економічним і широко застосовуваним у народному господарстві способів відновлення і виготовлення деталей машин, наданню робочим поверхням

спеціальних властивостей, що сприяють зростанню терміну їхнього напрацювання на відмову.

У машинобудуванні застосовують практично усі відомі способи і різновиди наплавлення. До сучасних їхніх різновидів належить: дугова з порошковими дротами і стрічками, електрошлакова, індукційна, вібродугова, плазмова, газо-полум'яна та інші. Застосування наплавочних операцій дає змогу створювати нові біметалічні конструкції з необхідними технологічними та експлуатаційними властивостями, що дає змогу збільшити довговічність виробів, значно скоротити витрати конструкційних і легованих сталей [5].

Забезпечення керованого і надійного спрацювання деталей визначається нанесенням локального зносостійкого покриття таким чином, щоб обрана схема нанесення і співвідношення зносостійкостей матеріалу бази і зміцнення забезпечували необхідне (задане) формування поверхонь робочих органів. Другим напрямком є нанесення зносостійкого покриття шаром змінної товщини, до параметрів якого входять максимальна і мінімальна товщина та довжина шару [4]. У протилежність зміцненню однорідним шаром, коли підвищення довговічності досягається за рахунок тільки більш зносостійких властивостей наплавки, під час керованого зміцнення досягається значно більший ефект підвищення напрацювання шляхом формування необхідних профілів робочих органів.

Попередження морального зношення досягається двома шляхами. Перший – в конструкцію машини закладаються резерви розвитку за потужністю, продуктивністю, діапазоном операцій, що виконуються. Це дозволяє в подальшому модернізувати машину відповідно до нових вимог. Другий – підвищення інтенсивності використання машини в експлуатації, тобто прагнення відпрацювати ресурс довговічності за короткий термін служби. Найоптимальнішим переважно вважається термін 3...4 роки.

6.4 Надійність складних систем

Одним із методів підвищення працездатності машин є забезпечення схемної надійності складних систем [29].

Аналіз будь-якого технічного об'єкту полягає в розгляді працездатності його окремих складових елементів і проводиться одночасно з аналізом умов експлуатації. Під час аналізу визначають елементи, які обмежують надійність об'єкту і відмова цих елементів може спричинити відмову об'єкту загалом: вихід з ладу підшипника, пробій ізоляції, порушення кінематичних зав'язків тощо.

Усі елементи розглядають як незалежні і кожен із них має бути врахований. Розподіл системи на елементи і вплив їхніх відмов на надійність визначається відповідною структурною схемою надійності, яку складають на підставі функціональної схеми певного технічного об'єкту, що використовують далі, як модель надійності об'єкту. До складання структурної схеми роблять аналіз функціонування системи та її елементів, визначають і описують можливі відмови елементів, оцінюють вплив кожного з них на працездатність системи.

Структурна схема надійності визначає взаємозв'язок ймовірностей безвідмовної роботи всіх залучених до неї елементів. У структурній схемі кожен i -й елемент оцінюють значенням $R(t)$ – ймовірністю його безвідмовної роботи. При цьому вважають, що відмови елементів незалежні, а система й елементи можуть перебувати лише у двох станах: працездатному і непрацездатному.

Структурна схема надійності передбачає такі види взаємозв'язку елементів: послідовне, паралельне та змішане.

У разі послідовного з'єднання відмова одного з елементів призводить до відмови всього об'єкта й імовірність безвідмовної роботи визначають добутком безвідмовної роботи всіх її елементів R_i [29]:

$$R_{noc} = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 R_2 \dots R_n, \quad (6.4)$$

де R_i – імовірність безвідмовної роботи i -го елемента;

n – кількість елементів.

Схематично послідовне з'єднання наведено на рисунку 6.3.

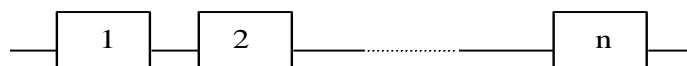


Рисунок 6.3 – Схема послідовного з'єднання елементів

У разі паралельного з'єднання відмова одного елемента не призводить до відмови технічного об'єкту. Це досягається застосуванням дублюючих елементів, що виконують роль резерву. Ймовірність безвідмовної роботи машини в цьому випадку визначається за формулою:

$$R_{nap} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_2) \dots (1 - R_n)]. \quad (6.5)$$

Схематично паралельне з'єднання наведено на рисунку 6.4.

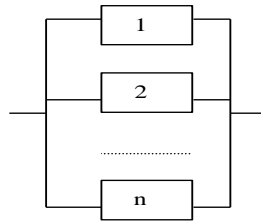


Рисунок 6.4 – Схема паралельного з'єднання елементів

В технічних об'єктах можливе застосування змішаного з'єднання, що забезпечує вмикання резервного елемента у випадку виходу з ладу головного. У разі цього структурна схема містить послідовні і паралельні з'єднання.

Застосовують загальне і роздільне резервування.

Загальне резервування – резервування, в якому резервується об'єкт в цілому. У разі загального резервування системи (рис. 6.5) із навантаженим резервом ймовірність безвідмовної роботи визначають так:

$$R_0(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n R_i(t) \right]^{m+1}, \quad (6.6)$$

де n – кількість послідовних елементів головної системи;
 m – кратність резервування.

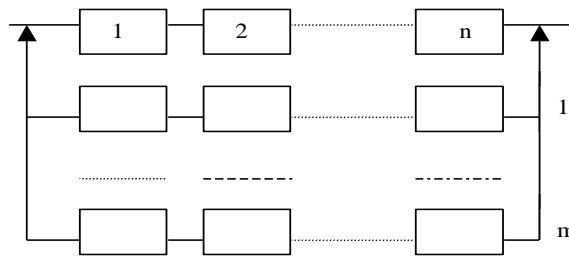


Рисунок 6.5 – Загальне резервування

Роздільне резервування – резервування, в якому резервуються окремі елементи об'єкта або їхні групи. У разі роздільного резервування з навантаженим резервом (рис. 6.6) ймовірність безвідмовної роботи визначають за формулою

$$R_p(t) = \prod_{i=1}^n \left\{ 1 - [1 - R_i(t)]^{m_i+1} \right\}, \quad (6.7)$$

де m_i – кратність резервування i -го елемента.

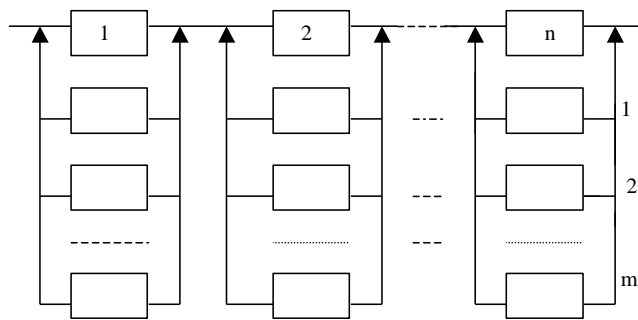


Рисунок 6.5 – Роздільне резервування

Для забезпечення надійності СЕЕЕ передбачено резервування як системи в цілому, так і окремих агрегатів (рис. 6.6).

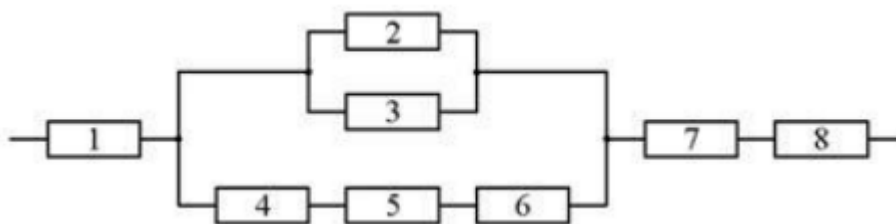


Рисунок 6.6 – Структура з можливими варіантами резервування

Під час резервування використовують такі поняття: основний, резервний та резервовані елементи.

Основний елемент – елемент об'єкта, необхідний для виконання потрібних функцій без використання резерву.

Резервний елемент – елемент, призначений для виконання функцій основного елемента в разі його відмови.

Резервовані елементи – основний елемент, на випадок відмови якого в об'єкті передбачені один або декілька резервних елементів.

Сукупність додаткових засобів і (або) можливостей, що використовуються для резервування утворюють *резерв*.

Під час складання моделі надійності системи необхідно враховувати всі види резервування, як засобу підвищення надійності технічного об'єкта.

Порядок розрахунку системи на надійність проводять за таким порядком:

- 1) проводять аналіз конструкції машини і визначають склад елементів, що впливають на її надійність;
- 2) встановлюють взаємозв'язок елементів у структурній схемі;
- 3) визначають ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента;
- 4) будують структурну схему надійності;
- 5) складають математичну модель розрахунку (залежність $R(t)$);

б) розраховують кількісні характеристики надійності: імовірність безвідмовної роботи $R(t)$; середнє напрацювання на відмову $T_{\text{сер}}$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$ тощо.

6.5 Забезпечення технічних об'єктів запасними частинами

Усунення відмов технічних об'єктів СЕЕЕЕ в умовах експлуатації звичайно проводиться шляхом замінювання елементів, що відмовили, запасними працездатними. Такий спосіб називають резервуванням із заміщенням. Він є ефективним тільки за умови, що є достатня кількість запасних частин. З огляду на те, що кількість відмов за певний період є випадковою величиною, розрахунок достатньої кількості запасних елементів має ймовірнісний характер [25].

Під ймовірністю забезпечення запасними частинами розуміють ймовірність того, що протягом заданого періоду експлуатації не буде простоїв через бракування запасних елементів певного типу. Таку ймовірність прийнято призначати достатньо високою; звичайно 0,9. Поповнення запасів здійснюють періодично. При цьому необхідно провести розрахунок кількості запасних елементів, що забезпечує із заданою ймовірністю певний парк машин на період T до чергового поповнення запасу.

Оптимальний запас (оптимальний розмір замінюваних деталей) агрегатів, машин, апаратів, тощо – це практично мінімальна кількість виробів у резерві, що забезпечує повне відновлення технічних засобів після відмови без їхньої затримки під час ремонту непрацездатних виробів. Це означає, що загальна кількість агрегатів, що знаходяться в запасі та тих, що можуть бути відновлені на цей момент не може бути меншою кількості відмов цих агрегатів.

Під час визначення оптимального запасу агрегатів, машин, апаратів враховується однотипність рухомого складу, технічних засобів систем електропостачання, колійного господарства, електротехнічних систем та уніфікація їхніх складових.

Оптимальний запас агрегатів A визначають за умови, що час відновлення працездатного стану технічної системи після відмови набагато менший часу ремонту агрегату на відповідній ділянці. Оптимальний запас деталей визначають за формулою:

$$A = N_o \cdot n \cdot \frac{\omega}{\beta_6}, \quad (6.8)$$

де N_o – кількість однотипних машин (якщо один тип, то $N_o = N_i$);

n – кількість деталей, агрегатів, вузлів на одиницю машини;

ω – параметр потоку відмов;

β_e – параметр потоку відновлення, тобто кількість деталей, агрегатів, вузлів тощо, яка може бути відновлена за період, що розглядається.

Розмір оптимального запасу агрегатів, машин, апаратів, вузлів, запчастин може визначатись з урахуванням сезонного впливу на кількість відмов окремих складових, загального терміну експлуатації технічних систем, що змінюють значення параметру потоку відмов, а також планів модернізації.

Також протягом року може змінюватися параметр потоку відновлення, який залежить від продуктивності відповідної ремонтної ділянки (причини: відхилення в поставках запчастин, матеріалів, плинність робочих кадрів та їхньої відпустки тощо).

Контрольні запитання до лекції 6

1. Що є оптимальним міжремонтним періодом? Від яких факторів він залежить?
2. Що враховує коефіцієнт раціональної періодичності?
3. За якою формулою визначають коефіцієнт варіації?
4. Для чого створюють побудовання гістограми розподілу відмов під час встановлення міжремонтного періоду?
5. Зрівняти за гістограмами два варіанти розподілу відмов. Вказати недоліки і переваги.
6. Як визначити оптимальний міжремонтний період (формула для розрахунку)?
7. Як впливає збільшення коефіцієнта варіації та (або) ймовірності безвідмовної роботи на значення оптимального міжремонтного періоду?
8. Якими способами можна підвищити працездатність машин?
9. В чому складається забезпечення схемної надійності технічного об'єкту?
10. Як визначають ймовірність безвідмовної роботи у разі послідовного або паралельного з'єднання елементів?
11. Як визначають оптимальну кількість замінюваних деталей?
12. Від яких факторів залежить параметр потоку відновлення об'єктів?

ЛЕКЦІЯ 7

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ

План

- 7.1 Головні поняття ергатичних систем.
- 7.2 Рівні організації ергатичних систем.
- 7.3 Показники надійності ергатичних систем.

7.1 Головні поняття ергатичних систем

Відповідно до системної концепції сприйняття і вивчення навколишнього світу він весь складається із сукупності взаємопов'язаних об'єктивних систем, тобто множин закономірно пов'язаних один з одним елементів, що представляє собою певне цілісне утворення. Невід'ємні властивості системи – це, по-перше, наявність нових властивостей, які породжені сукупністю її елементів і не притаманні цим елементам окремо, і, по-друге, здатність, внаслідок цього, до виконання деяких функцій, дій або рухів [32].

Системи, пов'язані з діяльністю людини, називають штучними. В цьому випадку розглядається система, яку людина створює в самому процесі праці для отримання суспільно-необхідного продукту. Таку систему називають ергатичною системою (ЕС) (від грец. «ергон» – робота і *nomos* – закон) – загальна назва групи наук, що займаються комплексним дослідженням людини в ергатичних системах.

Залежно від характеру продукту праці ЕС можуть бути виробничими, інформаційними, транспортними тощо.

Якщо говорити про сучасне виробництво, то тут зустрічається і такий термін: «поліергатична», тобто сучасне виробництво, що включає в себе різні ЕС. Істотною обставиною є те, що сучасна ергатичній система – це людино-машинна система.

Людина-оператор в системі «людина-машина» може негативно впливати на змінювання технічного стану машини у випадках недостатнього знання машини, халатності, втоми тощо. Наслідки при цьому можуть бути різними. Тому для проєктування таких систем необхідний облік людського фактора, тобто виділення аспектів, пов'язаних з присутністю людини [32, 34].

Науку, що комплексно вивчає людину в певних умовах її діяльності сучасного виробництва, називають *ергономікою*. Як науку і як метод дослідження вона вивчає умови виконання роботи оператором. Її метою є

оптимізація знарядь, умов і процесу труда, підвищення безпеки і екологічності виробництва. Найбільший розвиток вона отримала в таких передових в технічному відношенні країнах як США, Великобританія, Японія, Франція та інші.

Головними завданнями ергономіки, тобто завданнями, що виникають під час розгляду ЕС «людина-машина» є оптимальний розподіл функцій між людиною і машиною та дослідження робочих навантажень на людину [34]. Схематичне уявлення сучасної ергатичної системи показано на рисунку 7.1.

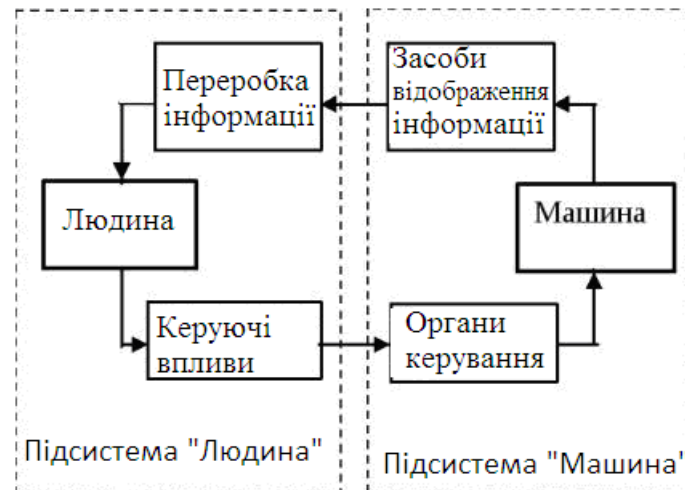


Рисунок 7.1 – Схема сучасної ергатичної системи

7.2 Рівні організації ергатичних систем

Рівні організації системи «людина-машина» можуть бути різними. Можливі й різні схеми класифікації рівнів організації. Розглянемо класифікацію ергатичних систем за вкладом машин і людей в систему.

Перший рівень (нижній): тут людина забезпечує як енергетичну, так і керуючу функції системи. Класичний приклад – це людина з лопатою.

Другий рівень – це коли людина здійснює керуючу функцію, а енергетична функція доручається машині. Це рівень механізації, наприклад, використання екскаваторів, електропідйомників, тощо.

Третій рівень – це коли машина забезпечує енергетичну та інформаційну функції, а людина – керуючу. Сюди входить будь-яке виробництво, на якому люди користуються засобами відображення і органами управління. Це, зокрема системи диспетчерського управління, автоматизовані робочі місця (АРМ), тощо.

Четвертий, вищий рівень організації системи – це машина, яка забезпечує енергетичну, інформаційну та керуючу функції, тоді як людина тільки

контролює її роботу. Приклад цього рівня – автоматизовані лінії, керовані комп'ютерами.

Сучасні людино-машинні системи складаються з апаратних засобів, програмного забезпечення і персоналу. Ці компоненти діють спільно для виконання певної функції або досягнення мети. Виконання завдання залежить від великої кількості змінних, що характеризують функції системи.

Системні функції можуть здійснюватися як персоналом, так і апаратно-програмними компонентами системи, а частіше – і тим і іншим разом. Вимоги до виконання оператором функцій залежать від ступеня автоматизації системи.

На низькому рівні автоматизації – рівні механізації – оператор непосредно керує обладнанням і контролює параметри і результати його роботи за допомогою пропонованої сенсорної інформації, безпосереднього сприйняття або поєднання того й іншого. В індивідуальному виробництві робота верстатника досить різноманітна, рухові функції відіграють допоміжну роль, головне – це чітке програмування своєї діяльності.

У дрібносерійному виробництві зростають монотонність, підвищується швидкість роботи внаслідок повторюваності операцій. У великосерійному виробництві рухова функція спрощується і починає переважати фактор монотонності. Програмуюча (розумова) діяльність зводиться до мінімуму.

У напівавтоматичному виробництві людина виключається з процесу власне обробки деталі або виробу. Діяльність її полягає у виконанні простих операцій з обслуговування верстата: увімкнути двигун, вставити деталь, вийняти готову деталь. Ця праця не вимагає високої кваліфікації, вона беззмістовна і монотонна.

У разі підвищення рівня автоматизації машинний елемент системи все більшою мірою керує роботою системи (наприклад, підтримує режимні параметри на належному рівні без втручання людини). На більш високому рівні він підтримує адекватне співвідношення між параметрами, а на ще більш високому – змінює саму схему керування з метою оптимізації співвідношень між параметрами в залежності умов і режимів роботи.

З підвищенням рівня автоматизації характер діяльності оператора стає все більшою мірою контролюючим за своєю природою. Людина в ергатичних системі перевіряє, спостерігає, оцінює виконання системних функцій апаратними та програмними засобами, регулює і координує їхню роботу, як того вимагають продуктивність і безпека системи.

У зв'язку з цим під час проєктування систем «людина-машина» високого рівня існують два протилежні підходи [34]. Перший полягає в тому, щоб повністю виключити людину з системи. Якщо це неможливо, (наприклад, у разі наявності вимог закону про присутність людини на автоматизованій ергатичній

системі), то роль людини повинна бути мінімальною. Цей підхід зменшує можливість людської помилки і, тим самим підвищує надійність системи. Крім цього, заміна людей машинами може понизити експлуатаційні витрати.

Інший підхід, навпаки, полягає в максимально можливому долученні людини-оператора до системи навіть ціною введення будь-яких додаткових робіт, які з першого погляду є непотрібними операціями. Це може бути, наприклад, введення характеристик системи з екрану дисплея. Робиться це для того, щоб підтримати людину в робочому стані, щоб, в разі відмови машинної частини системи, оператор міг швидко втрутитися і запобігти несприятливим наслідкам.

Отже, перший підхід (мінімальне втручання людини) передбачає, що людина-оператор так чи інакше не буде здатна вирішити проблему. Другий же підхід робить ставку на те, що людина розумна, здатна до адаптації і часто може дозволити непередбачені проблеми. Людину, таким чином, розглядають як ергатичний резерв системи [32].

Однозначно вибрати той або інший підхід, очевидно, неможливо. Мабуть, краще мінімізувати долучення людини до системи, коли її внесок невеликий. Дійсно, якщо людина усвідомлює, що в роботі, яку вона виконує, немає необхідності, робота стає неприємною їй, створює напругу, викликає втому і стрес. Тому найважливіше завдання під час проєктування і створення ЕС – це забезпечення людей осмисленою, гідною людини роботою.

7.3 Показники надійності ергатичних систем

На відміну від технічних систем ергатичні системи характеризують динамізмом та високим ступенем невизначеності вихідних даних і, як наслідок, неможливістю адекватного опису їхнього функціонування з використанням детермінованих математичних моделей. Для опису динамічних властивостей ергатичних систем можуть бути використані нелінійні диференціальні рівняння високого порядку. Але розв'язок таких рівнянь сучасними засобами зробити достатньо важко. Це ж стосується і інтерпретації результатів моделювання.

Іншою проблемою, що виникає в процесі розроблення, впровадження і експлуатації ергатичних систем є визначення «меж можливого» в діяльності людини і технічних можливостей комп'ютерних систем оброблення даних. Під час визначення меж можливостей людини-оператора в автоматизованій інформаційній системі виникає нова проблема, а саме вибір показників, які б достатньо повно відображали властивості подібних систем. На сьогодні не існує чітко визначеного переліку подібних показників.

На практиці для дослідження властивостей ергатичних систем та їхніх елементів використовують різноманітні показники: кількісні, якісні, економічні, технічні, комплексні, часткові, основні, допоміжні, специфічні тощо [2].

Особливості автоматизованих інформаційних систем організаційного типу достатньо велика кількість структурних елементів, функцій і процесів; високий ступінь неоднорідності складу підсистем, що мають локальні завдання і цілі функціонування; складність міжкомпонентних зав'язків і зв'язків системи з середовищем. Значні проєктні витрати на розробку і впровадження; багатоманіття можливих варіантів побудови і функціонування систем; необхідність залучення для проєктування і створення системи багатьох роз'єднаних і неоднорідних за рівнем кваліфікації груп розробників; необхідність впровадження в експлуатацію всіх структурних елементів системи одночасно.

Ергономічний (людський чинник) показує [32]:

- суб'єктивний характер рішень, людиною в умовах часових обмежень і відсутності повної інформації;
- нездатність людини генерувати велику кількість альтернативних варіантів рішень і прогнозувати їхні результати;
- залежність ефективності рішень, які вирішує людина, від її креативних здібностей і професіоналізму.

Оператор, як елемент ергатичної системи, функціонує в умовах перешкод, має право на помилку під час виконання функціональних обов'язків із подальшим відновленням працездатності.

Під *помилкою* оператора ергатичних систем розуміють неправильне виконання або невиконання ним приписаних дій, яке призводить до появи аварійної ситуації або до створення такої ситуації, що може призвести до аварійного ефекту.

Для запобігання появи помилок оператора ергатичної системи може бути використана статистика появи попередніх помилок оператора. Подібна статистика може бути опрацьована із застосуванням аналітичних моделей теорії надійності. Кількісною оцінкою надійності оператора ергатичної системи може бути ймовірність успішного виконання ним поставленого завдання на заданому етапі функціонування ергатичної системи.

Під час синтезу вимог до оператора ергатичної системи, отримання опорної оцінки надійності його функціонування можливе тільки на базі адекватної аналітичної моделі. Модель помилок, що описується функцією розподілу $F(t)$, пов'язана з ймовірністю безпомилкової роботи оператора ергатичної системи $R(t)$, яка є моделлю надійності оператора ергатичної

системи. Взаємозв'язок між $R(t)$ і $F(t)$, визначається співвідношенням виду $R(t) = 1 - F(t)$, з якого очевидна залежність ймовірності безпомилкової роботи оператора ергатичної системи від моделі помилок.

З великої кількості показників якості роботи людей в ергатичних системах найчастіше використовують швидкодію, напруженість, економічність і надійність [32, 33].

Критерієм швидкодії може бути час виконання завдання, тобто час від моменту реагування оператора на сигнал до моменту закінчення керуючих впливів:

$$T_{\text{оп}} = t_{\text{рп}} + t_{\text{пер}} N = t_{\text{рп}} + N / V_{\text{оп}}, \quad (7.1)$$

де $t_{\text{рп}}$ – прихований (латентний) час реакції, тобто проміжок часу від моменту появи сигналу до реакції на нього оператора (0,2 ... 0,5 с);

$t_{\text{пер}}$ – час переробки однієї одиниці інформації (0,15...0,35 с);

N – кількість інформації, що переробляється;

$V_{\text{оп}}$ – пропускна здатність, що характеризує час, протягом якого оператор осягає сенс інформації (2...4 од/с).

Надійність оператора характеризується його безпомилковістю, готовністю, відновлюваністю, своєчасністю і точністю. Для кожного з цих показників розроблені відповідні вирази імовірність P_j безпомилкової роботи, наприклад, визначається на підставі статистичних даних.

Швидкодія оператора може бути оцінена тривалістю робочого циклу $T_{\text{рц}}$, який визначають за формулою:

$$T_{\text{рц}} = \tau_{\text{вр}} + \sum_{i=1}^n \tau_{\text{оч}(i)}, \quad (7.2)$$

де $\tau_{\text{вр}}$ – тривалість виконання робіт;

$\tau_{\text{оч}(i)}$ – тривалість між моментами закінчення i -ої операції і початком $(i + 1)$ -ої.

Напруженість роботи оператора оцінюють ступенем функціональної напруги його організму (нервового або фізичного) за формулою, що враховує фізіологічні якісні показники напруженості роботи в реальних і екстремальних умовах.

Економічність оператора визначають як відношення кількісного результату його роботи до витрат на підготовку і підтримку кваліфікації оператора.

Надійність людино-машинних систем – це властивість системи (і людини, і машини) виконувати задані функції протягом певного часу при заданих умовах роботи.

Одним з мультиплікативних показників надійності служить ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$, яку визначають за формулою:

$$R(t) = P_m \cdot P_{op} \cdot P_{св}, \quad (7.3)$$

де P_m – ймовірність безвідмовної роботи комплексу технічних і програмних засобів;

P_{op} – ймовірність безвідмовної роботи оператора;

$P_{св}$ – ймовірність своєчасного виконання роботи.

Наведені показники водночас з психологічними характеристиками людини-оператора (характеристика аналізаторів, пам'яті, мислення, уваги, сенсомоторні характеристики) дають змогу отримати вихідні дані про діяльність оператора, визначити ступінь відхилення індивідуальних характеристик від максимально можливих для цієї діяльності, а також визначити умови, за яких досягаються ці показники. Досліджуючи специфіку ергатичних систем, потрібно відзначити головну особливість сучасних інформаційних систем організаційного управління.

Такою особливістю є те, що функції оператора, користувача результатів оброблення даних і особи, яка приймає рішення, дуже часто виконує одна людина. У цих умовах проблема оптимального розподілу функцій людини і технічних засобів в автоматизованих інформаційних системах набуває особливого значення і її розв'язання можливе тільки на засадах ергономіки.

Важливим методологічним принципом ергономіки є принцип системного підходу, згідно з яким людина і комплекс технічних засобів розглядаються як рівноправні компоненти системи. Надання переваг одному з цих компонент порушує принцип цілісності системи і не може гарантувати виконання кінцевої мети – досягнення ефективного функціонування автоматизованих інформаційних систем управління.

Методологія системного підходу до дослідження автоматизованих інформаційних систем організаційного управління охоплює такі компоненти: структурний аналіз і синтез, функціональний аналіз і синтез, інформаційний аналіз і синтез.

Схема аналізу автоматизованої інформаційної системи організаційного управління заснована на декомпозиції і дослідженні властивостей і взаємодії окремих елементів, звідси більшість аналітичних задач розв'язується, зазвичай, на етапі експлуатації інформаційних систем. Синтез ергатичних систем – це визначення й реалізація бажаних динамічних характеристик систем згідно із заданим критерієм оптимальності. При визначенні бажаних характеристик автоматизованих інформаційних систем управління в електричній інженерії (функціональна повнота, своєчасність, надійність, економічна ефективність

тощо) поряд із урахуванням критерію оптимальності та апіорних відомостей про збурені впливи, повинні братися до уваги обмеження, що накладаються властивостями об'єкта дослідження. Більшість задач синтезу розв'язується на етапі проектування автоматизованих інформаційних систем.

Контрольні запитання до лекції 7

1. Що називають ергатичною системою?
2. Які показники надійності ергатичних систем Ви знаєте?
3. В чому складаються головні завдання ергономіки?
4. В чому суть системного аналізу, який використовують для оцінки системи «людина – техніка – середовище»?
5. Охарактеризуйте рівні організації ергатичних систем.
6. Який склад мають сучасні людино-машинні системи?
7. Які показники характеризують надійність оператора?
8. Назвіть, що є швидкодією, напруженістю, економічністю і надійністю оператора в ергатичних системах? Як можна розрахувати ці показники?
9. В чому принцип мультиплікативного показника надійності оператора?
10. Чому за принципом системного підходу ергономіки людина і комплекс технічних засобів мають розглядатися як рівноправні компоненти системи?

ЛЕКЦІЯ 8

НАДІЙНІСТЬ І РИЗИКИ

План

8.1 Класифікація і аналіз ризиків.

8.2 Методи оцінювання надійності в умовах неповної визначеності і ризиків.

8.3 Методи експертології в оцінюванні надійності.

8.4 Способи управління ризиками.

8.1 Класифікація і аналіз ризиків

Ризик – це економічна категорія, яка відображає можливість виникнення несприятливої ситуації або невдалого результату виробничо-господарської, фінансової і (або) інноваційної діяльності, невід’ємний елемент діяльності в умовах ринку.

У широкому сенсі ризик це [31, 36]:

- 1) можлива небезпека;
- 2) характеристика діяльності під час експлуатації технічних об’єктів з урахуванням можливих несприятливих наслідків;
- 3) можливість або ймовірність завдання збитків або шкоди користувачам технічних об’єктів;
- 4) майно або особи, які піддаються збитку або шкоди в ході експлуатації технічних об’єктів;
- 5) незастрахований інтерес власника, а також оператора технічних об’єктів щодо суми, яка буде необхідна для відшкодування збитку або шкоди, які можуть бути завдані під час користування технічного об’єкту.

На сьогоднішній день практично всі суб’єкти господарювання схильні до ризиків. Для забезпечення сталого існування будь-якого сегменту господарства необхідна детальна класифікація ризиків, з якими стикаються сучасні підприємства, яка б містила забезпечення процесу їхнього запобігання та оцінку наслідків від цих ризиків.

Під терміном «експлуатаційні ризики» мається на увазі група ризиків і небезпек, які безпосередньо пов’язані з володінням, розпорядженням (використанням) технічним об’єктом, тобто його експлуатацією в певній ризиковій ситуації.

Термін «ризикова ситуація» включає в себе географічні, політичні, економічні, адміністративні умови місця і часу експлуатації технічного об’єкту,

які можуть змінюватися незалежно від власника або оператора технічних об'єктів і впливають на частоту аварійних ситуацій і розмір збитків, які несе сам і зобов'язаний відшкодувати власник технічного об'єкту [35].

Розглядаючи експлуатацію і використання транспортних засобів можна запропонувати таку класифікацію пов'язаних з ними ризиків, які призводять до матеріальних втрат, в тому числі в результаті дорожньо-транспортної пригоди:

1) ризик технічний – визначається ступенем технічного стану транспортного засобу, тобто здійсненням превентивних заходів (регулярне проведення профілактики і технічного обслуговування транспортного засобу);

2) ризик експлуатаційний – ризик, що виникає в процесі експлуатації або використання транспортного засобу. Він об'єднує в собі ризики, пов'язані з експлуатацією транспортних засобів з перевезення пасажирів і вантажів;

3) ризики, викликані дією людського чинника – професійна підготовка або кваліфікація оператора, його фізичний і нервово-психічний стан;

4) ризик аварії з вини інших учасників транспортного процесу – це ймовірність збитків в результаті дій інших учасників; ризик пошкодження, крадіжки або втрати транспортного засобу – ризик настання фінансової шкоди, викликаной:

– протиправними діями інших осіб в результаті вчинення ними повного або часткового пошкодження транспортного засобу, його крадіжки (викрадення); втратою транспортного засобу;

– частковим або повним пошкодженням транспортного засобу в результаті стихійного лиха та природних катаклізмів (пожежі, повені, урагану тощо), громадських заворушень, терористичних актів чи військових дій.

Є ризики специфічні, які притаманні тільки певній галузі. Так транспортні підприємства стикаються зі специфічними, властивими тільки транспорту, ризиками, що виникають в ході експлуатації транспортних засобів, які називають «експлуатаційними транспортними ризиками», а саме [33]:

1) ризик втрати майна суб'єктом транспортної галузі в результаті стихійних лих, аварій, псування або втрати в ході транспортного процесу;

2) ризик виходу з ладу транспортних засобів та іншого обладнання суб'єкта транспортної галузі. Такий ризик виникає у випадках виходу техніки з ладу, морального і фізичного старіння транспортної техніки, її використання некваліфікованим персоналом, а також виходу з ладу транспортного об'єкта.

Експлуатаційні транспортні ризики, з якими в своїй діяльності стикаються суб'єкти транспортної галузі, є джерелами потенційно можливої втрати ресурсів, додаткових витрат, зниження доходів від фінансово-господарської діяльності.

В сучасних умовах розвитку електроенергетики України впливовим джерелом можливості виникнення якісно нових ризиків є ймовірність зіткнення суперечливих інтересів різних груп суб'єктів енергоринку (ЕР) у процесі обґрунтування рішень з розвитку галузі. Згідно [21, 40] суб'єктами (учасниками) ЕР є:

- виробники електроенергії – енергокомпанії з вертикально-інтегрованою структурою, генеруючі компанії, незалежні виробники електроенергії;
- постачальники електроенергії – вертикально-інтегровані компанії, компанії, які здійснюють транспортування енергії, компанії-дистриб'ютори, що розподіляють енергію, енергозбутові організації;
- незалежні комерсанти – брокери (забезпечують посередницькі послуги під час укладення контрактів), дилери (купають і перепродають електроенергію);
- споживачі електроенергії різних груп та категорій.

До наведеного переліку суб'єктів ЕР, згідно [21] додаються органи влади та зовнішні інвестори.

Із вищевикладеного слідує, що в умовах лібералізації ЕР України також існує ймовірність:

- 1) виникнення фізичних або технологічних ризиків, пов'язаних з ймовірністю відмов і перебоїв в роботі обладнання енергопідприємств;
- 2) появи «сучасних» фінансових ризиків через формування різних груп суб'єктів у відносинах у процесі функціонування й розвитку енергосистем.

Вочевидь, що схильність ризику можна розглядати як функцію від двох параметрів: ймовірність настання негативної події і масштабу можливого збитку.

З урахуванням вищезазначеного можна запропонувати таке визначення: *ризик в електроенергетиці* – це об'єктивно-суб'єктивна категорія, що пов'язана з ймовірністю виникненням небажаних подій (загроз) в умовах невизначеності та суперечливості інтересів різних груп суб'єктів ЕР і відображає міру їхніх втрат (збитків) від порушення надійного режиму електропостачання внаслідок неузгоджених дій цих суб'єктів.

До ризиків в електроенергетиці належать:

- 1) ризики коливання цін стосовно реалізації електроенергії у вільному секторі торгівлі;
- 2) фінансові ризики, що виникають внаслідок коливання цін на паливо, інші матеріальні ресурси.

Крім вищезазначених двох видів фінансового ризику слід додати, що енергопідприємства в умовах тотальної економічної кризи в Україні (і фінансової, зокрема), схильні до ризику змінювання купівельної

спроможності грошей, оскільки безперервний процес реалізації електроенергії неминуче супроводжується формуванням досить високої дебіторської заборгованості – реалізація електроенергії найчастіше здійснюється в кредит, а розрахунок здійснюється за фактичними показниками засобів обліку.

Стосовно електроенергетики загальна класифікація ризиків пропонується такою [37, 40]:

- ризики, пов'язані з небезпекою для життя людей;
- природні;
- екологічні (практична відсутність достовірних і репрезентативних статистичних даних);
- виробничо-технологічні (відображають ймовірнісні наслідки відмов технічних систем і їхніх елементів);
- правові (неможливість створення ефективного механізму управління ризиками на базі чинного законодавства);
- фінансово-економічні (відсутність даних про реальну вартість і технічний стан електроустаткування, практична неможливість отримання об'єктивної техніко-економічної інформації про наслідки різного роду аварій, пошкоджень, збоїв);
- соціально-політичні; інформаційні; комерційні.

Деяко відмінний підхід до загальної класифікації ризиків представлений в [3], згідно якого залежно від можливого результату ризику поділяють на:

- на чисті і спекулятивні, в залежності від причин виникнення;
- техногенні, природні, екологічні, політичні, транспортні, комерційні.

Комерційні ризики в свою чергу поділяють на майнові, виробничі, торгівельні, маркетингові, спільні, фінансові.

Фінансові ризики поділяють на інфляційні, деінфляційні, валютні, ризики ліквідності, інвестиційні, ризик упущеної вигоди, ризики зниження прибутковості, ризики прямих фінансових втрат (ризик банкрутства, селективний ризик, біржовий ризик).

Специфічні ризики енергопідприємства, обумовлені їхньою галузевою приналежністю і особливостями виробничого процесу, відносять до чистих ризиків і називають технологічними, виробничими або фізичними.

8.2 Методи оцінювання надійності в умовах неповної визначеності і ризиків

Ризик – результат впливу невизначеності на досягнення поставлених цілей.

Під невизначеністю розуміють стан, навіть частковий, дефіциту інформації, пов'язаної з подією, її наслідком чи ймовірністю, розуміння або знання про неї. Ризик полягає в можливому відхиленні фактичних результатів від очікуваних (цільових), може бути з позитивними або негативними наслідками та створювати чи бути у формі можливостей або загроз. Ризики з позитивними наслідками іноді називають можливостями.

Ризик характеризується комбінацією ймовірності реалізації та важкості наслідків. Знання ймовірності несприятливої події дає змогу визначити ймовірність сприятливих подій. Також ризиком часто називають безпосередньо певну подію, здатну принести кому-небудь прибуток або збитки.

Кількісну оцінку ризику можна розрахувати за формулою [31, 35]:

$$R = \sum P_i \cdot (\sum a_{ik} \cdot C_k), \quad (8.1)$$

де R_i – ймовірність настання відмови, ризикової події;

C_k – вартість наслідку аварії (величини втрат);

i – категорія небезпек;

k – категорія збитків;

a_{ik} – ваговий коефіцієнт.

Кількісну оцінку ризику можна розрахувати за методиками, які затверджені нормативними для окремих галузей, наприклад для автомобільного транспорту [38], за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері автомобільного транспорту.

Віднесення суб'єкта господарювання до високого, середнього або незначного ступеня ризику здійснюється з урахуванням суми балів, нарахованих за всіма критеріями, за такою шкалою [38]:

– від 41 до 100 балів – до високого ступеня ризику;

– від 21 до 40 балів – до середнього ступеня ризику;

– від 0 до 20 балів – до незначного ступеня ризику.

Моніторинг діяльності суб'єктів господарювання здійснюються Укртрансбезпекою за такою періодичністю:

– з високим ступенем ризику – не частіше одного разу на два роки;

– із середнім ступенем ризику – не частіше одного разу на три роки;

– з незначним ступенем ризику – не частіше одного разу на п'ять років.

Чим більше невизначеність виробничої ситуації, тим більше й ступінь ризику. Невизначеність залежить від наявності інформації, випадковості, неординарних природних і соціальних подій.

Оцінювання ризику може створюватися добутком числового значення ступеня ризику $D(r_k)$ на значення ступеня важливості за певним

фактором $D(i_k)$ з подальшим множенням на числове значення пріоритету фактора, який впливає на ризик Pr_k :

$$R_k = D(r_k) \cdot D(i_k) \cdot Pr_k.$$

Сума оцінок за всіма факторами буде становити загальну оцінку. Ступеням ризику та ступеням важливості надають числових значень у відповідності до розроблених положень, як [36], або застосовують певні методи експертології.

8.3 Методи експертології в оцінюванні надійності

Ризик пов'язаний з вибором певних альтернатив, розрахунком ймовірностей їхніх наслідків – у цьому його суб'єктивна сторона. Крім того, вона проявляється також і в тому, що люди неоднакового сприймають одну і ту ж величину ризику внаслідок відмінностей психологічних, моральних, ідеологічних, політичних організацій, принципів, установ тощо.

Однак, величина ризику не тільки суб'єктивна, але і об'єктивна категорія, оскільки вона є формою якісно-кількісного вираження реально існуючої невизначеності. Об'єктивність ризику проявляється і в тому, що це поняття відображає реально існуючі у суспільному житті явища, процеси, напрями діяльності [39].

Оцінка ризику може бути виконана з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або декількох методів різного рівня складності. Форма оцінки та її вихідні дані повинні бути сумісні з критеріями ризику для визначеної сфери застосування, враховувати суттєві фактори ризику в конкретній ситуації, забезпечувати їхню прийнятність та придатність.

Практично кожний метод пов'язаний з залученням експертів, обговорення проблеми групою фахівців, отримання узагальненої думки групи експертів і має на меті ідентифікацію можливих видів відмов і відповідних небезпек, ризику, критеріїв прийняття рішень та/або способів обробки ризику.

Важливе значення надається можливості учасників прогнозувати ситуацію. Тому методи залучення експертів особливо корисні у разі ідентифікації ризику застосування нових технологій, коли відсутні дані або необхідні нові нестандартні способи вирішення проблеми.

Перелік загальних небезпечних ситуацій та ризиків формують на підставі такої інформації, як перелік використовуваного обладнання і фактори, що впливають на його працездатність, данні про матеріали, з яких виготовлені об'єкти, ідентифікації видів відмов процесу, системи або процедури, їхні причини та наслідки, відомостей про взаємодію компонентів системи тощо.

Одним із методів є метод аналізу видів і наслідків відмов, та аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMEA). Цей метод допомагає ідентифікувати:

- всі види відмов різних частин і компонентів системи (видами відмов можуть бути приховані відмови, конструктивні відмови, виробничі відмови тощо, які призводять до порушення працездатного стану частин та/або компонентів системи) та їхнього впливу на безвідмовність досліджуваного об'єкта;

- наслідки відмов для системи;

- механізми відмови;

- способи досягнення безвідмовної роботи та/або пом'якшення наслідків для системи;

- всі види відмов систем і процесів

- наслідки помилок персоналу (вплив людського фактору);

- критичність і значущість кожного ідентифікованого виду відмови.

Існує декілька способів виконання аналізу критичності відмов.

Загальноприйнятий метод базується на визначенні:

- показника критичності виду відмови;

- рівня ризику;

- рангу пріоритетності ризику.

Модель критичності виду відмови є мірою можливості того, що досліджуваний вид відмови компонента призведе до відмови системи в цілому.

Критичність відмови визначають, як добуток ймовірності наслідків відмови на інтенсивність виду відмови і на час функціонування системи. Такий розрахунок часто застосовують до відмов обладнання в ситуації, коли кожен з цих показників може бути визначений кількісно, і види відмови мають однакові наслідки.

Рівень ризику визначають, як поєднання наслідків виду відмови та ймовірності цієї відмови, він може бути використаний в ситуації, коли наслідки різних видів відмов різні, його застосовують до систем і процесів, пов'язаних із обладнанням. Рівень ризику може бути поданий у якісному, змішаному або кількісному вигляді.

Ранг пріоритетності ризику є змішаною мірою критичності відмови, його розраховують шляхом множення рангу значущості наслідків відмови (зазвичай, від 1 до 10) на ймовірність відмови і можливість виявлення проблеми. Якщо відмову важко виявити, то їй зазвичай приділяють більше уваги і надають першочергового значення. Цей метод використовують найчастіше в процесі забезпечення якості [35].

Ще один із методів застосовує *індексів ризику*. Індекс ризику – це міра ризику, що є кількісною оцінкою ризику, отриману із застосуванням балових оцінок на базі порядкових шкал.

Індекси ризику застосовують для впорядкування значень ризику подібних критеріїв, щоб їх можна було порівнювати. Балові оцінки застосовують до кожного компонента ризику ураховуючи можливість об'єднання для отримання комплексного індексу ризику.

Метод індексів ризику має низку недоліків: якщо достовірність процесу (моделі) та їхніх вихідних даних не підтверджена належно, то результати можуть бути недостовірними. Той факт, що вихідні дані є числовим виразом значення ризику, може бути невірно використано, наприклад, в подальшому аналізі ефективності витрат. У багатьох випадках, в яких застосовують індекси ризику, відсутня основоположна модель, що дає змогу визначити лінійність або нелінійність окремих балових шкал факторів ризику, а також модель об'єднання факторів. У цих випадках ранжування є спочатку ненадійним, і перевірка його достовірності згідно з фактичними даними необхідна.

8.4 Способи управління ризиками

Під управлінням ризиком розуміють процес впливу на об'єкт з метою пошуку шляхів зменшення його негативних наслідків і має такі етапи [35]:

- 1) ідентифікація та класифікація ризику;
- 2) перевірка (встановлення доцільності початку економічної діяльності після проведення попередніх етапів);
- 3) якісний і кількісний аналіз ризиків;
- 4) опосередковане зниження ступеня ризику (шляхом корекції своєї економічної діяльності без безпосередніх заходів щодо подолання ризиків);
- 5) планування реагування на ризики (для ризиків, яких можна уникнути опосередковано);
- 6) контроль поточної обстановки (додаткова перевірка необхідності антиризикових заходів);
- 7) реагування на ризики (в разі необхідності);
- 8) розробка інструментів зниження ризиків.

Головними способами зниження ризиків в економіці незалежно від галузевої специфіки є [35]: страхування; резервування (самострахування); хеджування; розподіл; диверсифікація; мінімізація (управління активами і пасивами); уникнення (відмова від пов'язаної з ризиком операції) тощо.

Перераховані способи розрізняються, насамперед, за своїм економічним змістом, що полягає в передачі ризику третій особі (у разі страхування,

гарантування, хеджування і розподілу) або в залишенні його на власному утриманні (під час резервування, диверсифікації або мінімізації шляхом управління активами і пасивами). Розглянемо зміст і призначення вищезазначених способів управління.

Резервування є одним з головних способів управління сукупним ризиком, який не може бути переданий страховикові або поручителеві (за допомогою страхування або гарантування) або учасникам фінансового ринку (шляхом хеджування похідними інструментами). Резервування капіталу базується на державному регулюванні ризиків банківської системи.

Страховання, як і резервування, не ставить за мету зменшення ймовірності прояву або схильності ризику, а націлено переважно на відшкодування матеріального збитку від його прояву. Страховання ризиків зазвичай передбачає проведення попереджувальних заходів щодо зниження ймовірності настання страхових подій, але вони далеко не завжди досягають бажаної мети. Для страхування підходять масові види ризиків, до яких схильні багато економічних агентів, прояви яких не значно корельовані між собою і відомі з високою мірою точності.

Хеджування є способом захисту від можливих втрат шляхом укладення врівноважуючої угоди (перенесення ризику змінювання ціни з однієї сторони до іншої). Хеджування в завданнях електроенергетики призначене для зниження ризиків коливання цін реалізації електроенергії у вільному секторі торгівлі (кредитного ризику й ризику подій). Методами хеджування є: структурне балансування активів і пасивів, кредиторській і дебіторській заборгованості; змінювання терміну платежів; форвардні операції; опційні операції; фінансові ф'ючерси; кредитування і інвестування в іноземній валюті; реструктуризація валютної заборгованості; паралельні позики тощо.

Диверсифікація також є одним із засобів зменшення сукупної схильності ризику шляхом розподілу вкладень і зобов'язань. Найчастіше під диверсифікацією розуміють розміщення фінансових коштів в більш ніж один вид активів, ціни або прибутковості яких слабо корельовані між собою. Іншою формою диверсифікації є залучення засобів з різних, слабо залежних один від одного джерел. Зміст диверсифікації полягає в зниженні максимально можливих втрат за одну подію, проте при цьому одночасно зростає кількість видів ризику, які необхідно контролювати, що спричиняє за собою зростання транзакційних витрат.

Мінімізація – це ретельне балансування активів і зобов'язань, з тим щоб звести до мінімуму коливання чистої вартості портфеля. Теоретично в цьому випадку не виникає необхідності у відверненні ресурсів для утворення резерву або відкриття компенсуючої позиції. Управління активами і пасивами

направлене на уникнення надмірного ризику шляхом динамічного регулювання головних параметрів портфеля.

Контрольні запитання до лекції 8

1. Надайте поняття «ризик». Які головні ознаки ризику?
2. Які ризики існують? Що є ризиковою ситуацією?
3. Які характеристики мають враховуватися під час розрахування ризик?
4. Що мається на увазі під терміном «експлуатаційні ризики»?
5. Чим визначаються технічні ризики, а чим ті, що викликані дією людського чинника?
6. Яка головна мета оцінки ризику та що вона забезпечує?
7. Що входить до визначення критеріїв ризику?
8. Які складові має процес оцінки ризику?
9. На які основні запитання дозволяє відповісти оцінка ризику?
12. З чого складається процес ідентифікації ризику?
13. Що входить до аналізу наслідків ризиків?
14. Від чого залежить рішення про необхідність і способи обробки ризику?
15. В якому випадку використовують метод аналізу видів і наслідків відмов; аналізу видів, наслідків та критичності відмов?
16. В яких випадках використовують метод індексів ризику?
17. Які є методи управління ризиками?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем : навч. посіб. / С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, Б. М. Сердюк. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с.
2. Кустов В. Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики : навч. посіб. / В. Ф. Кустов. – Харків : УкрДАЗТ, 2008. – 218 с.
3. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу / К. О. Сорока. – Харків, 2004. – 115 с.
4. Далека В. Х. Надійність технічних засобів електротранспорту як складова ресурсозбереження / В. Х. Далека, С. Г. Акомелков, В. С. Пасько // Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. – Харків, 25–27 жовтня 2023 р. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – С. 198–201.
5. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : навч. посіб. / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.
6. Фактори, що впливають на надійність електропостачання / С. М. Бабюк, О. В. Красножоний, В. П. Барило, Б. В. Брич // Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. – Тернопіль, 25–26 листопада 2020 р. – Тернопіль, 2020. – С. 84–85.
7. ДСТУ 8647:2016. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і (або) експлуатації в умовах малої статистики відмов (видання офіційне). – Чинний від 1994–12–08. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 58 с. (Державний Стандарт України).
8. ДСТУ 2861-94 Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. – Чинний від 1997–01–01. – Київ : Держстандарт, 1997. – 16 с. (Державний стандарт України).
9. ДСТУ 2862:94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – Чинний від 1994–12–08. – Київ : Держстандарт, 1994. – 38 с. (Державний стандарт України).
10. ДСТУ 2864:94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – Чинний від 1996–01–01. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 8 с.

11. ДСТУ 8646:2016. Надійність техніки. Оцінювання і прогнозування залишкового ресурсу (терміну служби) технічних систем. – Чинний від 2017–07–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 69 с. (Національний стандарт України).

12. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. – Чинний від 1999–01–01. – [Електрон. ресурс]. – (Державний стандарт України). – Електрон. текст. дані – – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=93624, вільний (дата звернення 21.08.23). – Назва з екрана.

13. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення (2273). – Чинний від 1996–01–01. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 33 с. (Національний стандарт України).

14. ДСТУ 3942-2000 Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). Частина 2. Дифузійний розподіл. – Чинний від 2001–07–01. – Київ : Держстандарт України, 2001. – 33 с. (Національний стандарт України).

15. ДСТУ EN 61078:2022 Блок-схеми надійності (EN 61078:2016, IDT; ІЕС 61078:2016, IDT). – Чинний від 2023–12–31. – [Електрон. ресурс]. – (Державний стандарт України). – Електрон. текст. дані – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100885, вільний (дата звернення 21.08.23). – Назва з екрана.

16. ДСТУ EN 50160:2023 (EN 50160:2022, IDT). Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. – Чинний від 2023–12–08. – [Електрон. ресурс]. – (Державний стандарт України). – Електрон. текст. дані – – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106226, вільний (дата звернення 21.08.23). – Назва з екрана.

17. СОУ 60.2-33635880002:2006. Послуги міського електричного транспорту. Показники якості. – Чинний від 2006–04–19. – [Електрон. ресурс]. (Стандарт міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України). – Електрон. текст. дані – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=3508, вільний (дата звернення 20.03.24). – Назва з екрана.

18. ДСТУ ISO 9001-2015 (ISO 9001:2015). Система управління якістю. Вимоги. – Чинний від 2016–07–01. – Київ : «УкрНДНЦ», 2016. –30 с. (Державний стандарт України).

19. СОУ ЖКГ 35.20–35077234. 0006:2008. Вагони трамвайні пасажирські. Методика діагностування несівних систем (Видання офіційне). – Чинний від 2008–12–17. – Київ, 2008. – 42 с. (Стандарт організацій України).

20. Пасажи́рські ваго́ни. Діагно́стування. Залишко́вий ресу́рс. Надійні́сть : монографія / [Ю. Я. Водя́нніков, А. О. Сули́м, П. О. Хозя́ та ін.]. – Кременчу́к : ДП «УкрНДІВ». – 2023. – 69 с.
21. ДСТУ 3466-96 Які́сть електри́чної ене́ргії. Термі́ни та визна́чення. 01.01.1998 – Чи́нний від 1998-01-01. – Ки́їв : Держста́ндарт Украї́ни, 1998. – 38 с. (Націо́нальний ста́ндарт Украї́ни).
22. Дале́ка В. Х. Інформа́ційні техноло́гії на транспо́рті / В. Х. Дале́ка, К. О. Соро́ка, В. Б. Будні́ченко. – Харкі́в : ХНАМГ, 2012. – 364 с.
23. Кульба́шна Н. І. Підви́щення надійно́сті електри́чних маши́н тролейбу́сів / Н. І. Кульба́шна, І. І. Семусе́в. // Світо́ві тенде́нції ресу́рсозбере́ження на електри́чному транспо́рті : матеріа́ли всеу́кр. наук.-пра́кт. конф. – Харкі́в, 25–27 жо́втня 2023 р. – Харкі́в : ХНУМГ ім. О. М. Бекето́ва, 2023. – С. 146–149.
24. Дале́ка В. Х. Особли́вості визна́чення комплексни́х показни́ків надійно́сті при експлуата́ції міськото́го електри́чного транспо́рту / В. Х. Дале́ка, Н. І. Кульба́шна, О. Д. Гевлі́ч // Ювіле́йна науко́ва конфере́нція профе́сорсько-виклада́цького скла́ду, аспіра́нтів, студе́нтів та спі́вробі́тників відокре́млених структурни́х підрозді́лів університе́ту. – Ки́їв : НТУ. – 2024, Ви́п. 80. – С. 109.
25. Надійні́сть маши́н : практи́кум / О. С. Гринче́нко, В. Г. Кухто́в, О. І. Алфьоро́в та ін. ; За ред. О. С. Гринче́нка, В. Г. Кухто́ва. – Харкі́в : ТОВ «Плана́та-прінт», 2018. – 140 с.
26. Рожко́в П. П. Конспе́кт лекці́й з дисциплі́ни «Надійні́сть електри́чних мере́ж» для магі́стрів денно́ї та заочно́ї форм на́вчання за спеці́альністю́ 141 – Електро́енергетика, електро́техніка та електро́механі́ка (осві́тні програ́ми «Електро́техні́чні систе́ми електро́спожива́ння» та «Електро́техні́чні систе́ми електро́спожива́ння (осві́тньо-науко́ва)») / П. П. Рожко́в, С. Е. Рожко́ва ; Харкі́в. на́ц. ун-т міськ. госп-ва́ ім. О. М. Бекето́ва. – Харкі́в : ХНУМГ ім. О. М. Бекето́ва, 2017. – 85 с.
27. Поля́нський С. К. Розра́хунок показни́ків надійно́сті маши́н за статисти́чними да́ними : навч. посі́б. / С. К. Поля́нський, В. І. Лесько́, Г. К. Черне́га. – Ки́їв : КНУБА, 2010. – 124 с.
28. Іва́щенко О. В. Показни́ки техно́-економі́чної ефе́ктивності́ маши́н // О. В. Іва́щенко / Ві́сник ЖДТУ, 2012. – № 3 (61). – С. 235–237.
29. Зубре́цька Н. А. Забезпе́чення надійно́сті систе́ми електро́поста́чання мето́дом структурно́го резервува́ння // Н. А. Зубре́цька, С. С. Фе́дін, Н. Г. Савче́нко / Ві́сник КНУТД. – № 4. – 2009. – С. 14–23.

30. Далека В. Х. Концепція управління технічним станом основних засобів ліфтового господарства в містах України / В. Х. Далека, Є. М. Кайлюк, І. О. Пилипенко // Комунальне господарство міст – 2020. – том 7. – вип. 160. – С. 26–33.

31. Дзюба Л. Ф. Надійність технічних систем і техногенний ризик : навч. посіб. / Л. Ф. Дзюба, М. І. Кусій, О. В. Меньшикова. – Львів : Вид-цтво ЛДУ БЖД, 2017. – 192 с.

32. Основи ергономіки : навч. посіб. / В. Г. Брусенцов, О. В. Брусенцов, І. І. Бугайченко, С. О. Кисельова. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 141 с.

33. Ергономічне забезпечення транспортних процесів : навч. посіб. / Ю. О. Давідіч, Є. І. Куш, Д. П. Понкратов ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 392 с.

34. Сердюк С. М. Ергономічні питання проектування людино-машинних систем : навч. посіб. / С. М. Сердюк. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. – 334 с.

35. Березуцький В. В. Небезпечні виробничі ризики та надійність : навч. посіб. / В. В. Березуцький, М. І. Адаменко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.

36. Про затвердження методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175. // Офіційний вісник України. – 2002. – № 8. – С. 170–195.

37. Про затвердження порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : Постанова Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368. // Офіційний вісник України. 2004. – № 12. – С. 129–134.

38. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері автомобільного транспорту та визначається періодичність проведення планових заходів державного нагляду (контролю) Державною службою з безпеки на транспорті : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 січня 2020 р. № 7. // Офіційний вісник України. – 2020. – № 9. – С. 168–175.

39. Гранатуров В. М. Аналіз підприємницьких ризиків : проблеми визначення, класифікації та кількісної оцінки : монографія / В. М. Гранатуров, І. В. Литовченко, С. К. Харічков // За наук. ред. В. М. Гранатурова. – Одеса : Інститут проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України, 2003. – 164 с.

40. Кожевников А. Ю. Ризики суб'єктів ринку електричної енергії в умовах реформування енергетичної системи України / А. Ю. Кожевников // Державне управління : удосконалення та розвиток. – № 3, 2015. [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.dy.nauka.com.ua/?op=1&z=826>, вільний (дата звернення 25.05.24). – Назва з екрана.

41. Стратегія енергетичної безпеки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 4 серпня 2021 р. № 907-р. // Офіційний вісник України. – 20.08.2021. – № 64. – С. 219–232.

42. Основи надійності та технічної діагностики електроустаткування промислових підприємств : навч. посіб. / О. М. Сінчук, М. І. Лісний, І. О. Сінчук, Є. І. Скапа, О. О. Удовенко. – Кременчук : Вид. ПП Щербатих О. В., 2012. – 264 с.

Електронне навчальне видання

ДАЛЕКА Василь Хомич,
КУЛЬБАШНА Надія Іванівна

НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітніх програм: «Електричний транспорт», «Електричні системи і
комплекси транспортних засобів», «Електротехнічні системи
електроспоживання», «Магістральні електричні мережі: управління,
експлуатація та розвиток», «Світлотехніка і джерела світла»,
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)*

Відповідальний за випуск Н. В. Хворост

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання Н. І. Кульбашина

План 2023, поз. 100Л

Підп. до друку 15.10.2024. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 6,7.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК 5328 від 11.04.2017.