

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Основи теорії надійності технічних систем	
1.1. Елементи надійності.....	8
1.2. Математичні методи у теорії надійності.....	12
1.3. Статистичні оцінки параметрів розподілів.....	24
1.3.1. Точкові оцінки параметрів розподілів.....	24
1.3.2. Методи знаходження оцінок параметрів розподілу.....	27
1.3.3. Інтервальні оцінки параметрів надійності.....	32
1.3.4. Перевірка гіпотез про закони розподілу.....	45
1.3.5. Характеристики потоків випадкових подій.....	60
1.3.6. Марковські моделі надійності.....	61
Завдання для самостійної роботи.....	66
Розділ 2. Надійність нерезерованих систем	
2.1. Аналіз показників надійності невідновлюваних нерезерованих систем.....	68
2.1.1. Характеристики потоків відмов і відновлень.....	68
2.1.2. Показники надійності невідновлюваних елементів.....	69
2.1.3. Показники надійності невідновлюваних систем.....	83
2.2. Аналіз показників надійності нерезерованих відновлюваних систем.....	90
2.2.1. Визначення процесу відновлення.....	90
2.2.2. Показники надійності відновлюваних елементів.....	95
2.2.3. Показники надійності відновлюваних систем.....	99
2.3. Марковські моделі відновлюваних систем.....	109
Завдання для самостійної роботи.....	121
Розділ 3. Надійність резервованих систем	
3.1. Аналіз показників надійності резервованих невідновлюваних елементів.....	124
3.2. Аналіз показників надійності резервованих невідновлюваних систем.....	130
3.3. Структурно-логічний аналіз надійності технічних систем.....	134
3.4. Наближений метод оцінки надійності і перетворення	

трикутника в зірку і навпаки.....	147
3.5. Наближений метод виключення елементів.....	149
3.6. Розрахунки структурної надійності систем.....	151
3.7. Випробування на надійність.....	167
Завдання для самостійної роботи.....	169

Розділ 4. Надійність програмного забезпечення комп'ютерів

4.1. Проблеми забезпечення надійності програмних комплексів.....	172
4.2. Причини відмов програмного забезпечення.....	175
4.3. Моделі надійності програмного забезпечення.....	180
4.3.1. Аналітичні неперервні динамічні моделі.....	183
4.3.2. Дискретні моделі.....	192
4.3.3. Статичні моделі.....	196
4.4. Способи забезпечення надійності програм.....	200
Завдання для самостійної роботи.....	205

Розділ 5. Надійність комп'ютерних систем

5.1. Відмовостійкі обчислювальні системи.....	206
5.2. Визначення показників надійності програмних комплексів як складних систем.....	214
Завдання для самостійної роботи.....	225

Розділ 6. Ймовірно-фізичний метод розрахунку показників надійності технічних систем

6.1. Модель розрахунків показників надійності.....	226
6.2. Надійність невідновлюваних технічних систем.....	231
6.3. Надійність відновлюваних технічних систем.....	234
6.4. Надійність резервованих систем.....	237
Завдання для самостійної роботи.....	243

Розділ 7. Функціональна надійність та інформаційна безпека

7.1. Загрози функціональної надійності інформаційної системи.....	245
7.1.1. Поняття функціональної надійності.....	245
7.1.2. Визначення функціональної відмови.....	252
7.2. Збійні помилки.....	254

7.3.	Помилки в програмному забезпеченні.....	258
7.4.	Помилки людини-оператора.....	264
7.5.	Помилки даних.....	269
7.5.1.	Властивості даних в інформаційних системах.....	269
7.5.2.	Помилки у вхідних повідомленнях.....	271
7.6.	Систематичні помилки і відмови з загальної причини.....	272
7.7.	Функціональні відмови внаслідок атак на інформаційну систему	275
	Завдання для самостійної роботи	280
	Література.....	281

ВСТУП

Метою посібника є формування знань з теорії надійності комп'ютерних систем, оволодіння технологією проведення розрахунків характеристик надійності засобами сучасних інформаційних технологій у системі Mathcad.

Теорія надійності вивчає закономірності виникнення відмов устаткування, методи, які слід застосовувати при проектуванні, виготовленні та експлуатації виробів для забезпечення їх максимальної надійності та мінімальних витрат на їх виготовлення та обслуговування.

Надійність технічних систем, у тому числі і комп'ютерної техніки, є однією із основних характеристик їх якості. Часто складається ситуація, коли витрати на забезпечення працездатності виробів перевищують їх вартість. У відповідь на вимоги підвищення їх довговічності виникла теорія надійності.

Оскільки якість виробів залежить від великої кількості факторів, то однозначно передбачити моменти відмов кожного окремого елемента є практично неможливою задачею, оскільки неможливо врахувати усі фактори, які впливають на його надійність. Тому теорія надійності для оцінки надійності виробів застосовує масові спостереження, а для обробки результатів спостережень застосовує математичний апарат теорії ймовірностей та статистичного аналізу. Статистика є базою, на основі якої можна проводити якісний аналіз причин низького рівня надійності і дозволяє виявити найбільш характерні відмови з тим, щоб вияснити й усунути їх причини при подальшому виготовленню продукції. Використовуючи статистичні дослідження та певні методи розрахунків, теорія надійності дозволяє створювати високонадійне устаткування і прогнозувати відмови, щоб у процесі його експлуатації можна було б попереджувати їх наслідки. Статистика відмов повинна використовуватись для планування кількості ремонтів і кількості запасних елементів та агрегатів, необхідних для відновлення устаткування, яке вийшло із ладу.

Посібник складається із семи розділів. У першому розділі викладені основи теорії надійності технічних систем. У ній розглядаються основні поняття загальної теорії надійності та характеристики надійності технічних систем та їх елементів. У другому розділі розглядаються характеристики надійності невідновлюваних та відновлюваних нерезервованих систем, розглядаються марковські моделі відновлюваних систем. Третій розділ присвячений питанням надійності резервованих систем, надається структурно-логічний аналіз надійності елементів і систем, описуються методи розрахунків структурної надійності систем. У четвертому розділі викладені питання надійності програмного забезпечення комп'ютерів, наведені моделі прогнозування його надійності. У п'ятому розділі викладені методи дослідження відмовостійкості

та надійності програмних комплексів як складних систем. Шостий розділ присвячений ймовірно-фізичному методу розрахунків показників надійності технічних систем, надійності невідновлюваних і відновлюваних резервованих систем. У цьому розділі розглядаються питання функціональної надійності та елементи інформаційної безпеки в комп'ютеризованих системах.

Для кожної наведеної моделі надійності елементів та систем наведено приклади їх чисельної реалізації.

Автор вважає своїм обов'язком висловити щиру вдячність рецензентам – д.т.н., проф. В.Є. Снитюку, д.т.н., проф. О.Г. Корченку, д.т.н., проф. І.П. Гамеляку за цінні зауваження та слушні рекомендації під час рецензування даного навчального посібника.

Особливу подяку автор висловлює ректору Національного транспортного університету – д.т.н., проф. Дмитриченку М.Ф. за сприяння та підтримку у виданні навчального посібника.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Елементи теорії надійності

Розглянемо основні поняття теорії надійності.

Об'єкт – це предмет певного цільового призначення, що розглядається під час проектування, виробництва, експлуатації, досліджень і випробувань на надійність. Об'єктами є вироби, системи і їхні окремі елементи.

Елемент – це виріб, який випускається серійно промисловістю і має самостійне конструкторське оформлення.

Система – це сукупність взаємодіючих елементів з певними взаємозв'язками між ними, призначених для виконання загальної задачі.

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

Функціональна надійність – це надійність виконання окремих функцій, що покладаються на систему. Характеризується поняттями "збої" і "помилки в роботі".

Структурна надійність – це різновид надійності, що визначає втрату працездатності або відмову виробничої системи.

Відмова – це часткова або повна втрата або зміна таких властивостей об'єкта, яка суттєвим чином знижує або приводить до повної втрати його працездатності.

Збій - самоусувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор.

Безвідмовність – здатність об'єкта зберігати працездатний стан протягом певного часу.

Відмовостійкість. Комплексний показник надійності функціонування системи, який визначається ймовірністю того, що система функціонуватиме на певному рівні якості після того, як відбудеться відмова (або декілька відмов) у компонентах апаратури та (чи) програмного забезпечення.

При дослідження конкретного об'єкта його відмову визначають за допомогою критерію відмови, під яким розуміють ознаку або сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта, встановлених у нормативно-технічній і конструкторській (проектній) документації. Як приклад, можна привести багатоканальний об'єкт – радіолокаційний комплекс. Що вважати відмовою такого об'єкта? У нормативно-технічній документації чітко встановлений критерій відмови: кількість каналів, що одночасно перебувають у непрацездатному стані.

В момент досягнення критерію відмови об'єкт переходить у непрацездатний стан (відмову).

Характер виникнення відмов та пошкоджень може бути різний. Залежно від цього відмови класифікують за різними ознаками і видами (табл.1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація відмов

Класифікація відмов	Види відмов
Характер зміни параметра до моменту виникнення відмови	1. Раптова відмова 2. Поступова відмова
Зв'язок з відмовами інших об'єктів (елементів)	1. Незалежна відмова 2. Залежна відмова
3. Характер вияву відмови	1. Збій 2. Перемежована відмова
4. Причина виникнення відмови	1. Конструктивна відмова 2. Виробнича відмова 3. Експлуатаційна відмова
5. Ступінь впливу на працездатність об'єкта	1. Повна відмова 2. Часткова відмова

Довговічність – це властивість об'єкта до тривалої експлуатації при необхідному технічному обслуговуванні, у яке можуть входити і різні види ремонту. Довговічність характеризується або часом, або числом циклів, або об'ємом виконаної роботи. Для деяких виробів поняття довговічності і безвідмовності можуть співпадати, але у загальному випадку, це самостійні характеристики надійності.

Для тих виробів, у яких працездатність підтримується за допомогою спеціальних поновлюючих дій, які називаються *ремонт*, важливим показником надійності є ремонтпридатність.

Загальною вимогою для безвідмовності і довговічності є вимога збереження працездатності протягом певного часу або наробітку. Відрізняються ці поняття тим, що безвідмовність вимагає безперервного збереження працездатності, а довговічність – збереження працездатності протягом тривалого часу, але з можливими перервами для технічного обслуговування та ремонту.

Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції.

Ремонт називається підтримка працездатності виробів за допомогою спеціальних відновлюючих дій. Важливим показником надійності є ремонтпридатність.

Ремонтпридатність виробу – це пристосовуваність до попередження, виявлення і усунення відмов.

Отже, поняття надійності більш докладно розкривається сукупністю трьох понять: безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності.

Адаптивність – це властивість виробничих систем змінювати свою структуру і функції у відповідь на зміну середовища з метою забезпечення заданого критерію якості функціонування.

Ефективність – це властивість виробничих систем, що визначається співвідношенням корисного результату з мінімальними витратами, що обумовлюють їх розробку, створення та експлуатацію.

Надійність є складною властивістю і формується такими складовими, як безвідмовність, довговічність, відновлюваність і збережуваність.

Основною тут є властивість безвідмовності.

Граничний стан – стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація неприпустима або недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливо або недоцільно. Після настання граничного стану експлуатація об'єкта припиняється і приймається рішення про його списання, або про продовження ресурсу.

Наробіток на відмову є тривалість або обсяг роботи об'єкта. Для комп'ютерної системи природним є розрахунок наробітку в одиницях часу, тоді як для інших технічних засобів можуть бути зручними інші засоби виміру (наприклад, наробіток автомобіля – у кілометрах пробігу). Для невідновлюваних і відновлюваних виробів поняття наробітку розрізняється: у першому випадку мається на увазі наробіток до першої відмови (він же є і останньою відмовою), у другому – між двома сусідніми в часі відмовами (після кожної відмови відбувається відновлення працездатного стану).

Технічний ресурс виробу – прогнозована тривалість його експлуатації від початку до моменту, коли інтенсивність відмов збільшується до рівня, який робить подальшу експлуатацію виробу неможливою або недоцільною з економічних міркувань.

Зокрема, **невідновлюваний об'єкт** – це об'єкт для якого в розглянутій ситуації проведення відновлення працездатного стану не передбачено в нормативно-технічній і конструкторській (проектній) документації.

У теорії надійності розглядаються такі основні стани об'єктів: справний, несправний, працездатний, непрацездатний.

Поняття справного об'єкта є більш широким, ніж поняття працездатного об'єкта. Тобто працездатний об'єкт може бути справним і несправним.

Основними подіями, які приводять до зміни станів об'єктів є відмова та ушкодження, які можна класифікувати відповідно до деяких ознак (раптові,

поступові, незалежні та залежні, конструктивні, виробничі, експлуатаційні відмови тощо).

Для характеристики наведених вище особливостей об'єкта вводяться кількісні показники надійності (табл.1.2).

Таблиця 1.2. Кількісні показники надійності

Властивість об'єкта	Позначення	Найменування показника
1. Безвідмовність	$P(t)$ $F(t), f(t)$ T_0 T_γ $\lambda(t)$ λ	1. Імовірність безвідмовної роботи Закон розподілу ймовірності наробітку елемента до відмови 3. Середній наробіток до відмови 4. Гама-відсотковий наробіток до відмови 5. Інтенсивність відмов 6. Параметр потоку відмов
2. Відновлюваність	$\mu(t)$ T_B $\mu(t), \theta(t)$ $H(t), h(t)$	1. Імовірність відновлення 2. Середній час відновлення 3. Інтенсивність відновлення 4. Функція і щільність відновлення
3. Довговічність	T T_s	3. Технічний ресурс 2. Середній термін служби
4. Збережуваність	t_z t_γ	1. Середній термін зберігання Гама-відсотковий термін збережуваності
Комплексні показники надійності	K_r $K_{ог}$ $K_{тв}$ $K_{еф}$	1. Коефіцієнт готовності 2. Коефіцієнт оперативної готовності 3. Коефіцієнт технічного використання 4. Коефіцієнт збереження ефективності

Крім названих узагальнених завдань, при дослідженні надійності вирішується також ряд конкретних завдань:

- вибір оптимальної структури об'єкта з метою забезпечення його надійності і обґрунтування необхідного резервування;
- діагностика і прогнозування технічного стану об'єкта;
- пошук елементів, що відмовили в об'єкті;
- неруйнуючий статистичний контроль якості елементів об'єкта при його виробництві;
- контроль і керування технічним станом об'єкта в процесі його експлуатації;

- експлуатаційні випробування об'єкта і його елементів;
- задання вимог до надійності об'єкта і визначення вимог до надійності окремих елементів цього об'єкта;
- розрахунок надійності об'єкта на етапі його проектування і конструювання;
- обґрунтування основних принципів (напрямків) і програм забезпечення надійності об'єкта та його елементів з урахуванням їх особливостей;
- обґрунтування системи контролю якості та надійності об'єкта при його виготовленні;
- обґрунтування системи забезпечення і підтримки надійності об'єкта в процесі його експлуатації;
- оцінка і контроль надійності об'єкта за результатами виробництва та експлуатації.

Надійність об'єкта в процесі експлуатації може істотно погіршуватися, якщо не приймати спеціальних заходів щодо попередження, визначення відмов і їхнього оперативного усунення. З метою підтримки надійності об'єкта на рівні, що необхідний для успішного виконання поставлених перед ним завдань, розробляють і реалізують раціональну (оптимальну) експлуатацію об'єкта з використанням методів теорії надійності, теорії масового обслуговування, теорії планування експерименту, технічної діагностики тощо.

На перших етапах дослідження надійності використовують розрахункові методи, на наступних етапах експлуатації, на основі отриманих дослідних даних роблять оцінку надійності об'єкта і порівняння їх з певними вимогами, що дозволяє прийняти необхідні рішення по підвищенню надійності окремих елементів і забезпечити необхідну надійність об'єкта в цілому.

Основною подією в надійності є відмова досліджуваного об'єкту, що, у загальному випадку, є випадковою подією. Для вивчення процесів, пов'язаних з причинами і наслідками відмов, необхідно застосовувати математичний апарат теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії статистичних рішень тощо.

1.2. Математичні методи у теорії надійності

Імовірнісна модель відмов – це закон розподілу ймовірностей відмов (щільності або функції розподілу ймовірностей) або ймовірності появи відмови у заданий момент часу (функція розподілу наробітку до відмови).

Встановлення аналітичного виразу законів розподілу випадкових величин (наробітку, ресурсу тощо) дозволяє визначити необхідні показники надійності (імовірність відмови, імовірність безвідмовної роботи, середнє значення наробітку). При цьому вибір теоретичної моделі відмов обумовлює певну точність отримуваних кількісних показників надійності.

Основні закони розподілу ймовірностей, які застосовуються у теорії

надійності:

1. *Експоненціальний розподіл.* Випадкова величина X має експоненціальний розподіл з параметром λ ($\lambda > 0$), якщо її щільність імовірності і функція розподілу дорівнюють

$$f(x, \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad F(x, \lambda) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (x \geq 0). \quad (1.1)$$

Математичне сподівання, дисперсія, мода і медіана відповідно дорівнюють

$$M(X) = \frac{1}{\lambda}, \quad D(X) = \frac{1}{\lambda^2}, \quad Mo = 0, \quad Me = \frac{1}{\lambda} \ln 2.$$

Графік розподілу для різних значень параметра λ наведений на рис. 1.1.

$$f(x, \lambda) := d \exp(x, \lambda) \quad \lambda_1 := 1 \quad \lambda_2 := 2 \quad \lambda_3 := 3$$

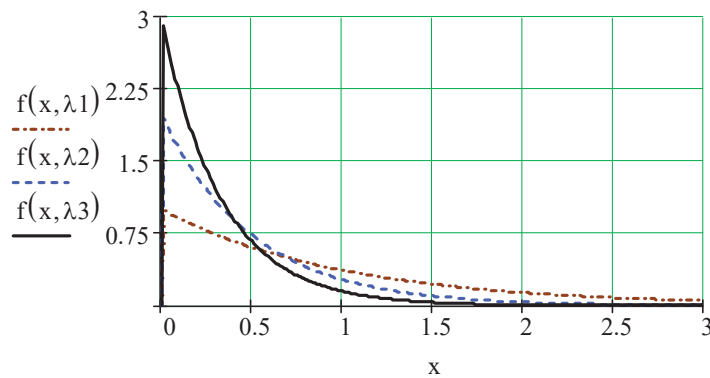


Рис. 1.1. Щільність експоненціального розподілу

Експоненціально розподілену випадкову величину можна інтерпретувати також як проміжок часу між двома послідовними настаннями подій у потоці Пуассона. Прикладна популярність експоненціального розподілу пояснюється не тільки різноманітними можливостями природної фізичної інтерпретації, але і винятковою простотою і зручністю його модельних властивостей.

Експоненціальний закон дуже популярний у теорії надійності. Ця популярність пояснюється тим, що експоненціальний закон фізично природний, простий і зручний для використання. Усі формули у теорії надійності у випадку експоненціального розподілу значно спрощуються.

Основна причина цього полягає у тому, що експоненціальний закон надійності має таку важливу властивість: для експоненціального закону імовірність безвідмовної роботи на даному інтервалі $(t, t + \Delta t)$ не залежить від часу попередньої роботи t , а залежить тільки від довжини інтервалу. Іншими словами, якщо відомо, що у даний момент елемент справний, то майбутня його поведінка не залежить від минулого.

У деяких випадках, знаючи природу відмов і характер роботи елемента, можна