

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІНСТИТУТ ПЕРЕПІДГОТОВКИ ТА ПІДВИЩЕННЯ
КВАЛІФІКАЦІЇ КАДРІВ



В.Ф. Кустов

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ
СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків – 2008

УДК 656.256

Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпеки систем залізничної автоматики: Навчальний посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. - 218 с.

ISBN 966-7593-38-X

У навчальному посібнику розглянуті основні питання теорії надійності та функційної безпеки систем залізничної автоматики. Наведено основні терміни та визначення, методи розрахунків, випробування, нормування і забезпечення безвідмовності і функційної безпеки технічних засобів керування і регулювання руху поїздів.

Посібник містить основні вимоги і методи випробування, які регламентовано національними та галузевими нормативно-технічними документами щодо надійності та функційної безпеки технічних засобів керування і регулювання руху поїздів.

Навчальний посібник призначений для студентів вищих і середніх спеціальних навчальних закладів залізничного транспорту, бакалаврів, спеціалістів, магістрів, слухачів курсів по підвищенню кваліфікації кадрів, працівників підприємств і організацій магістрального і промислового залізничного транспорту, метрополітенів.

Іл. 17, табл. 10, біблогр.: 57 назв.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (№1.4/18 Г-676. від 03.05.2007 р.)

Рецензенти:

професори Бойнік А.Б. (УкрДАЗТ),
Борячок М.Д. (ХНУРЕ)

© Кустов В.Ф.
© УкрДАЗТ, 2008

ЗМІСТ

1.	ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	9
1.1.	Надійність об'єкта та його властивості	9
1.2.	Безпечність об'єкта	10
1.3.	Стани об'єкта	13
1.4.	Відмови, пошкодження, дефекти, збої	15
1.5.	Технічне обслуговування та ремонт	17
1.6.	Помилки та безпечність дій персоналу	17
1.7.	Стійкість до зовнішніх чинників	19
2.	ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ	19
2.1.	Показники безвідмовності	19
2.2.	Показники функційної безпечності	24
2.3.	Показники ремонтопридатності	30
2.4.	Показники довговічності	31
2.5.	Показники збережності	32
2.6.	Комплексні показники надійності	32
3.	МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ .	34
3.1.	Загальні поняття	34
3.2.	Експериментальний метод визначення надійності та функційної безпечності	35
3.3.	Розрахункові методи визначення безвідмовності та функційної безпечності	38
3.3.1.	Розрахунковий метод визначення безвідмовності та функційної безпечності за розрахунково-логічними схемами	45
3.3.2.	Розрахунковий метод визначення безвідмовності та функційної безпечності за графами станів	51
3.4.	Розрахунково-експериментальний метод визначення надійності та функційної безпечності	53
4.	РЕЗЕРВУВАННЯ	54
4.1.	Основні терміни та визначення	54
4.2.	Розрахунок показників безвідмовності і функційної безпечності резервованих технічних засобів без відновлення	58

4.2.1.	Розрахунок показників функційної безпечності у разі загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"	58
4.2.2.	Розрахунок показників безвідмовності у разі загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"	60
4.2.3.	Розрахунок показників функційної безпечності у разі роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"	62
4.2.4.	Розрахунок показників безвідмовності у разі роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"	64
4.2.5.	Розрахунок показників безвідмовності у разі загального і роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "АБО"	64
4.2.6.	Розрахунок показників функційної безпечності і безвідмовності у разі мажоритарного резервування	65
4.2.7.	Розрахунок показників функційної безпечності у разі використання ненавантажувального загального, роздільного і ковзного резервування	71
4.2.8.	Розрахунок показників безвідмовності у разі використання ненавантажувального загального, роздільного і ковзного резервування	75
4.2.9.	Розрахунок показників функційної безпечності і безвідмовності у разі використання змішаного резервування	77
4.3.	Розрахунок показників функційної безпечності невідновлюваних резервованих технічних засобів за графами станів	78
4.3.1.	Розрахунок функційної безпечності невідновлюваних технічних засобів із навантажувальним дублюванням	78
4.3.2.	Розрахунок показників функційної безпечності невідновлюваного технічного засобу з ненавантажувальним дублюванням	80
4.3.3.	Розрахунок показників функційної безпечності невідновлюваної триканальної системи з мажоритарним резервуванням	83

5.	ВПЛИВ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЮ СПРАВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХ ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ	85
5.1.	Загальні положення	85
5.2.	Вплив періодичного контролю справності елементів на безвідмовність та функційну безпечність технічних засобів без резервування	86
5.3.	Розрахунок функційної безпечності технічних засобів у разі використання загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i" та періодичного контролю справності елементів	86
5.4.	Розрахунок функційної безпечності технічних засобів у разі використання роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i" та періодичного контролю справності елементів	89
5.5.	Вплив періодичного контролю справності елементів на показники безвідмовності технічних засобів у разі загального та роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"	90
5.6.	Розрахунок функційної безпечності і безвідмовності технічних засобів із мажоритарним резервуванням і періодичним контролем	90
6.	ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХ ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ	92
6.1.	Вплив параметрів відновлення нерезервованих об'єктів на їх функційну безпечність	92
6.2.	Вплив параметрів відновлення нерезервованих об'єктів на їх безвідмовність	97
6.3.	Розрахунок функційної безпечності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального і ненавантажувального дублювання .	99
6.3.1.	Розрахунок функційної безпечності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "i"	99

6.3.2.	Розрахунок безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "i"	106
6.3.3.	Розрахунок функційної безпечності відновлюваних технічних засобів у разі використання не навантажувального дублювання	108
6.3.4.	Розрахунок безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання ненавантажувального дублювання	115
6.3.5.	Розрахунок показників функційної безпечності і безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання дублювання	115
6.4.	Розрахунок безвідмовності та функційної безпечності відновлюваних резервованих технічних засобів із періодичним контролем справності їх елементів	117
7.	НОРМУВАННЯ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ І НАДІЙНОСТІ	118
7.1.	Основні терміни та визначення	118
7.2.	Загальні вимоги до технічних засобів, що виконують функції безпеки	119
7.3.	Кількісні вимоги функційної безпечності	126
7.3.1.	Номенклатура показників функційної безпечності	126
7.3.2.	Нормативні кількісні вимоги функційної безпечності	127
7.3.3.	Класифікація технічних засобів за рівнями вимог функційної безпечності	129
7.4.	Кількісні вимоги надійності	132
7.5.	Якісні вимоги функційної безпечності і надійності	136
7.5.1.	Вимоги функційної безпечності технічних засобів за відсутності відмов їхніх елементів, за допустимих змін структури та напруги в мережі електроживлення, помилок оперативного й обслуговуючого персоналу	139
7.5.2.	Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі відмов і пошкоджень елементів їхньої структури та інших пристроїв	140
7.5.3.	Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії електромагнітних завад	141

7.5.4.	Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії кліматичних, механічних та інших чинників	144
7.5.5.	Технічні вимоги в частині стійкості технічних засобів до електромагнітних завад	145
7.5.5.1.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до наносекундних імпульсних завад	145
7.5.5.2.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до мікросекундних імпульсних завад великої енергії	146
7.5.5.3.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до імпульсних розрядів статичної електрики	147
7.5.5.4.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до динамічних змін напруги мережі електроживлення	148
7.5.5.5.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до впливу радіочастотного електромагнітного поля	150
7.5.5.6.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до впливу високочастотних електромагнітних полів від цифрових радіотелефонів	151
7.5.5.7.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до гармонік напруги електроживлення	152
7.5.5.8.	Вимоги в частині стійкості технічних засобів до комутаційних завад малої енергії	153
7.5.5.9.	Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості для випробовування технічних засобів на стійкість до імпульсних завад	154
7.5.5.10.	Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості для випробовування технічних засобів на стійкість до високочастотних полів	156
8.	ВИПРОБОВУВАННЯ НА ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ	158
8.1.	Загальні положення	158
8.2.	Методи випробовування технічних засобів на відповідність конструкційним вимогам функційної безпечності	159
8.3.	Методи випробовування технічних засобів на відповідність конструкційним вимогам функційної безпечності	161

8.4.	Методи випробовування технічних засобів на функційну безпеку у разі відмов і пошкоджень елементів їхньої структури та зовнішніх пристроїв	162
8.5.	Методи випробовування технічних засобів на функційну безпеку і надійність у разі дії електромагнітних завад	163
8.6.	Методи випробовування на електромагнітну сумісність ..	164
8.6.1.	Загальні вимоги до проведення випробувань на електромагнітну сумісність	164
8.6.2.	Умови випробовування	166
8.6.3.	Методи випробовування на стійкість до впливу електромагнітних завад	169
8.6.4.	Структурна схема генератора комутаційних завад	174
8.6.5.	Результати випробовування і протокол випробовування .	176
8.6.6.	Порядок проведення експлуатаційних і приймальних випробувань дослідних зразків пристроїв залізничної автоматики	177
8.6.6.1.	Підготовка до експлуатаційних випробувань	177
8.6.6.2.	Порядок введення зразків у дослідну експлуатацію	181
8.6.6.3.	Приймальні випробування та приймання дослідних зразків у постійну експлуатацію	184
9.	ДОКАЗ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ І СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ	186
9.1.	Особливості доказу функційної безпеки мікроелектронних пристроїв і систем	186
9.2.	Етапи доказу функційної безпеки та їх загальна характеристика	188
9.3.	Вимоги до документа "Доказ функційної безпеки технічних засобів"	192
9.4.	Вимоги до етапів життєвого циклу технічного засобу і зміст документа "Висновок щодо функційної безпеки технічних засобів"	195
9.5.	Експертні оцінки функційної безпеки	195
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	206
	ДОДАТОК 1. Позначення та скорочення	212

1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Надійність об'єкта та його властивості

Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

Об'єкт може включати технічні засоби, технічний персонал чи будь-які їх поєднання. Сукупність об'єктів, об'єднаних спільним призначенням і метою функціонування, може розглядатися як об'єкт.

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

Невідновлюваний об'єкт – ремонт якого неможливий чи не дозволяє відновити працездатність із заданими кількісними показниками надійності.

Функція об'єкта (задана функція) – виконання в об'єкті процесу, що відповідає його призначенню, виявлення заданої умови чи властивості об'єкта відповідно до вимог нормативної та/чи конструкторської (проектної) документації.

Основна функція об'єкта (потрібна функція) – функція чи сукупність функцій об'єкта, виконання якої розглядають як необхідну умову відповідності об'єкта його призначенню.

Відповідальна функція об'єкта - функція, неправильне виконання якої може призвести до його небезпечного стану.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення усіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, що залежно від призначеності об'єкта й умов його застосування може містити в собі безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережність чи певні поєднання цих властивостей. Термін «надійність» використовують тільки для загального не кількісного опису вказаних властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції у певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку.

Довговічність – властивість об'єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Збережність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції під час і після зберігання та/чи транспортування.

Ремонтопридатність – властивість об'єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту.

Готовність – властивість об'єкта бути здатним виконувати потрібні функції в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами. Ця властивість залежить від поєднання властивостей безвідмовності, ремонтотпридатності та забезпечення технічного обслуговування і ремонту.

Показник надійності – кількісна характеристика однієї чи декількох із тих властивостей, які у сукупності складають надійність об'єкта.

1.2. Безпечність об'єкта

Безпечність – повна відсутність небезпеки.

Безпечність об'єкта – відсутність недопустимого ризику завдання об'єктом шкоди під час його роботи, технічного обслуговування, зберігання чи транспортування.

Ризик – сукупність частоти чи ймовірності появи небезпечної події за певний час і негативних наслідків цієї події.

Під час функціонування і технічного обслуговування об'єкта у багатьох випадках існує деяка загроза від нього життю та здоров'ю людей, довкіллю, завдання матеріального та іншого збитку. Ця загроза може виникати внаслідок впливу об'єкта безпосередньо на довкілля, пасажирів і технічний персонал

залізниць, а також через порушення правильного його функціонування, наприклад, у разі відмов апаратури, помилок у технічному та програмному забезпеченні об'єкта, неправильних дій персоналу, внаслідок чого можуть виникати аварії, катастрофи та інші транспортні події. Тому безпечність об'єкта не можна трактувати як повну відсутність в ньому небезпечних станів, незважаючи на те, що у більшості випадків імовірність виникнення таких небезпечних станів дуже мала. Правильніше було б користуватися терміном "небезпечність" для технічних засобів залізничної автоматики, але у цьому разі психологічно складно сприймати заздалегідь установлену небезпечність систем керування і регулювання руху поїздів, що становить навіть дуже малу величину. Внаслідок цього на залізничному транспорті краще використовувати терміни "безпечність об'єкта" чи "безпечність технічного засобу".

Під безпечністю об'єкта необхідно розуміти його властивість зберігати стани, за яких він забезпечує відсутність перевищування визначеної границі ризику, що є комбінаціями можливості появи (імовірності й частоти) небезпечної події за певний час та її негативних наслідків. Цією границею (мірою безпечності) повинні бути обгрунтовані та встановлені ймовірності виникнення небезпечних подій і наслідки, що допускаються, наприклад, визначений матеріальний (істотний, великий, дуже великий), екологічний чи інший збиток. Визначений матеріальний збиток – це визначений перелік негативних наслідків чи обсяг матеріальних витрат, яких, за оцінками, можуть зазнати люди, суспільство чи підприємства (організації) внаслідок небезпечного функціонування, обслуговування, зберігання чи транспортування об'єкта. До зазначеного переліку, наприклад, належать: зіткнення поїздів і сходи з рейок рухомого складу; вартість ушкоджених споруд, рухомого складу, устаткування та його відновлення, збиток від псування або втрати вантажу; санкції за несвоєчасне доставляння вантажу; збиток від спотворення інформації тощо. Ступінь можливих наслідків порушення безпечності об'єкта визначає рівень його безпечності (клас безпечності).

Безпечність об'єкта за його функціонування та технічного обслуговування залежить від можливості його пошкодження та впливу безпосередньо на людей та середовище, у якому він розташовується, а також від порушення правильного виконання заданих відповідальних функцій через відмови елементів об'єкта, вплив дестабілізуючих чинників, спотворення інформації в пристроях контролювання, зберігання, оброблення й передавання інформації, за неправильних дій оперативного та обслуговуючого персоналу тощо. Безпечність об'єкта під час зберігання чи транспортування залежить тільки від можливості його пошкодження та впливу безпосередньо на людей та середовище, у якому його розташовано.

Безпечність впливу об'єкта безпосередньо на людину та довкілля містить: електробезпечність; вибухобезпечність; пожежну безпечність; електромагнітну безпечність (відсутність недопустимого електромагнітного випромінювання у зовнішнє середовище); безпечність впливу хімічних і забруднювальних речовин, зокрема гранично допустиму концентрацію речовин чи компонентів, які містяться в об'єкті; радіаційну безпечність; температурну безпечність (відсутність недопустимого підвищення температури в навколишньому середовищі чи недопустимого нагрівання окремих елементів через функціонування об'єкта); механічну безпечність (відсутність впливу рухомих частин об'єкта; недопустимих вібрацій, прискорення, ударів, що виникають усередині об'єкта і/або в навколишньому середовищі за його функціонування), акустичну безпечність (відсутність недопустимих рівнів шуму). Безпечність об'єкта, яка може бути порушена неправильним виконанням його заданих функцій, доцільно, через особливу важливість для залізничного транспорту, виділити в окрему властивість об'єкта і назвати функційною безпечністю.

Функційна безпечність – властивість об'єкта виконувати задані функції без недопустимого ризику створення ним аварійних ситуацій, які можуть призвести до загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей, негативного впливу на довкілля, визначеного матеріального чи іншого збитку.

Поняття "функційна безпечність" містить властивість об'єкта правильно виконувати функції, які важливі з позиції безпечності, за базовою структурою об'єкта й відсутності впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників; у разі відмов елементів об'єкта і пристроїв, що не належать до складу об'єкта, але пов'язані з його роботою; у разі реконфігурації та вилучення модулів об'єкта; у разі зміни параметрів і робочих режимів роботи елементів об'єкта, які можливі під час його експлуатування; у разі дії електромагнітних завад, кліматичних, механічних, біологічних та інших чинників; у разі відмов програмованих засобів; у разі помилкових дій оперативного та обслуговуючого персоналу.

Показник функційної безпечності – кількісна характеристика функційної безпечності об'єкта.

1.3. Стани об'єкта

Працездатний стан (працездатність) – стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції об'єкта.

Непрацездатний стан – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоча б одну з потрібних функцій об'єкта. Прикладом такого стану є перегорання нитки світлофорної однопіткової лампи.

Справний стан (справність) – стан об'єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції об'єкта.

Несправний стан (несправність) – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоча б одну із заданих функцій об'єкта. Прикладом такого стану є перегорання в системі однієї нитки світлофорної двопіткової лампи, за умови, що спеціальні пристрої переключать її на другу нитку.

Безпечний стан – стан об'єкта, у якому він не може бути причиною загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей, негативного впливу на довкілля, визначеного матеріального чи іншого збитку. При цьому об'єкт може знаходитися як у справному або працездатному стані, так і несправному або непрацездатному стані.

Небезпечний стан – стан технічного засобу, у якому він може бути причиною загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей, негативного впливу на довкілля, завдання певного матеріального чи іншого збитку. При цьому об'єкт може також знаходитися як у справному або працездатному, так і несправному або непрацездатному стані.

Небезпечний стан об'єкта при його справному або працездатному стані може виникнути, наприклад, при випромінюванні об'єктом недопустимих електромагнітних завад, які можуть призводити до негативного впливу на людей та технічні засоби, зокрема, систем керування відповідальними технологічними процесами. Причиною виникнення небезпечного справного стану може бути відсутність вимог у технічній документації до об'єкта з випромінювання електромагнітних завад; небезпечного працездатного несправного стану – недостатнє обмеження їх розповсюдження через відмови елементів фільтрації.

Прикладом небезпечного стану пристрою керування стрілочним електродвигуном є непрацездатний і несправний його стан, при якому стрілочний електродвигун вмикається несанкціоновано; пристрою керування світлофором – стан, при якому на світлофорі з'являється менш забороняючий сигнал, зокрема, зелений або жовтий вогонь на світлофорі замість червоного. Причиною таких небезпечних станів можуть бути короткі замикання або обірвання елементів, зміна їхніх параметрів тощо.

У деяких джерелах інформації [3, 4] небезпечний стан систем залізничної автоматики розглядають тільки як непрацездатний стан, у якому значення хоча б одного параметра, що характеризує спроможність виконувати задані функції убезпечнювання руху поїздів, не відповідає вимогам нормативно-технічної і/або конструкторської документації. Це не зовсім правильно, тому що статус небезпечного й безпечного стану об'єкта не може залежати від вимог, викладених у зазначених видах документації, які можуть бути некоректні або зовсім відсутні.

Захисний стан – непрацездатний та безпечний стан об'єкта.

Прикладом захисного стану пристрою керування стрілочним електродвигуном є такий його стан, коли неможливо увімкнути стрілочний електродвигун; пристрою керування світлофором – коли на ньому з'являється більш забороняючий сигнал.

У роботах [3, 4] захисний стан систем залізничної автоматики розглядають тільки як непрацездатний стан, у якому значення всіх параметрів, що характеризують спроможність виконувати задані функції забезпечення руху поїздів, відповідають вимогам нормативно–технічної і/або конструкторської документації. Але статус захисного стану не може залежати від вимог, викладених у зазначених видах документації, що можуть бути некоректними або зовсім відсутніми. Захисним станом об'єкта може бути тільки такий його непрацездатний стан, що не може призвести до загибелі, травмування чи недопустимого погіршення здоров'я людей; завдання певного матеріального, екологічного чи іншого збитку, навіть у разі виконання вимог нормативно–технічної і/або конструкторської документації, тобто непрацездатний та безпечний стан об'єкта.

Граничний стан – стан об'єкта, за яким його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Граничний стан настає, наприклад, тоді, коли показники надійності і (або) функційної безпечності стають неприйнятними та (чи) об'єкт стає неремонтопридатним внаслідок несправності.

1.4. Відмови, пошкодження, дефекти, збої

Відмова – подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта.

Критерій відмови – ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта, встановлених у нормативній і/або конструкторській (проектній) документації

Пошкодження – подія, яка полягає у порушенні справного стану об'єкта, коли зберігається його працездатність.

Дефект – кожна окрема невідповідність об'єкта встановленим вимогам.

Небезпечна відмова – подія, що полягає в порушенні працездатного та захисного станів об'єкта і призводить до його небезпечного стану.

Захисна відмова – подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта при зберіганні захисного стану.

Критерій небезпечної відмови – ознака чи сукупність ознак порушення безпечного стану об'єкта, встановлених у нормативній і/або конструкторській (проектній) документації.

Збій (у роботі об'єкта) – подія, що полягає в порушенні працездатного чи справного стану об'єкта, яка усувається самостійно або незначним втручанням персоналу без ремонту і не призводить до фізичного пошкодження елементів.

Термін “збій об'єкта” має ширший зміст, ніж “самоусувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор” (згідно з ДСТУ 2860) або “окремий випадок відмови”, тому що він може відбуватися не тільки у разі виникнення самоусувної або одноразової відмови (при порушенні працездатного стану) об'єкта, але й у випадку порушення його справного стану у разі збереження працездатного стану (тобто при пошкодженні), наприклад, через вплив електромагнітних завад на елементи одного каналу мажоритарного резервування. Таке порушення функціонування об'єкта не є його відмовою, тому що працездатний стан об'єкта зберігається, але ж назвати його пошкодженням також неправильно, тому що в цьому випадку немає фізичного змісту цього явища. Крім цього, виникнення багаторазової відмови об'єкта (наприклад, внаслідок впливу серії імпульсів електромагнітних завад високої частоти), яку незначним втручанням усуває оператор, можливо також визначати як збій. Відновлення функціонування може виконувати як оператор, так і інший персонал.

Тому доцільно визначити термін “збій” як подію, що полягає в порушенні працездатного чи справного стану об'єкта, яке усувається самостійно або незначним втручанням персоналу без ремонту і не призводить до фізичного пошкодження елементів об'єкта.

Під мінімальним втручанням персоналу мають на увазі, наприклад, перезапускання об'єкта оператором; вимикання обслуговуючим персоналом електроживлення окремих частин об'єкта з подальшим його вмиканням.

Перезапускання – повторне запускання для відновлення справного, працездатного чи захисного стану об'єкта.

Небезпечний збій – збій, що призводить до небезпечного стану об'єкта.

Захисний збій – збій, що призводить до захисного стану об'єкта.

1.5. Технічне обслуговування та ремонт

Технічне обслуговування – комплекс операцій чи операція для підтримки справного стану чи працездатності об'єкта при використанні його за призначенням, під час простою, зберігання та транспортування.

Ремонт – комплекс операцій для відновлення справного стану чи працездатності об'єкта та відновлення ресурсів об'єктів чи їх складових частин.

Відновлення – подія, яка полягає в тому, що після несправності об'єкт знову відновлює здатність виконувати потрібну функцію.

1.6. Помилки та безпечність дій персоналу

Помилка оператора – неправильна дія чи бездіяльність оператора, що заборонена правилами і призводить до ненавмисного наслідку.

Згідно з ДСТУ 2860, термін “помилка оператора” визначено як “дію людини, яка призвела до ненавмисного наслідку” [1]. Необхідно відзначити, що до такого ж самого наслідку може призвести також і бездіяльність оператора, яка заборонена правилами, внаслідок чого може відбуватися, наприклад, відхилення керованих чи контрольованих параметрів об'єкта за допустимі межі; несвоєчасна зміна стану об'єкта контролювання

чи керування; спотворення інформації у разі її введення, виведення, оброблення або передавання. Тому доцільно враховувати у цьому терміні не тільки дію, але й бездіяльність оператора, що заборонена правилами і призводить до ненавмисного наслідку.

Імовірність небезпечної помилки оператора – відношення кількості небезпечних помилок до загальної кількості операцій, виконаних оператором.

Небезпечна помилка обслуговуючого персоналу – помилка обслуговуючого персоналу, в результаті якої об'єкт переходить у небезпечний стан.

Небезпечна помилка технологічного алгоритму – неправильне розпорядження технологічного алгоритму об'єкта, що призводить до небезпечного стану об'єкта в цілому чи його складових частин.

Небезпечна помилка програми – неправильне подання компонентів програми функціонування об'єкта, що призводять до небезпечного стану об'єкта в цілому чи його складових частин.

Безпечність об'єкта щодо помилок оператора – властивість об'єкта не переходити у небезпечний стан від помилок оператора.

Безпечність дій оператора – властивість дій оператора не переводити об'єкт у небезпечний стан.

Безпечність об'єкта щодо помилок обслуговуючого та ремонтного персоналу – властивість об'єкта не переходити у небезпечний стан від помилок обслуговуючого та ремонтного персоналу.

Безпечність дій обслуговуючого та ремонтного персоналу – властивість дій обслуговуючого та ремонтного персоналу не переводити об'єкт в небезпечний стан при діях із його обслуговування й ремонту.

1.7. Стійкість до зовнішніх чинників

Дестабілізуючий чинник – чинник, у результаті дії якого може порушитися працездатний стан об'єкта.

Стійкість до впливу дестабілізуючих чинників – властивість об'єкта зберігати працездатний стан під час впливу на нього дестабілізуючих чинників.

Небезпечний дестабілізуючий чинник – дестабілізуючий чинник, дія якого може призвести до небезпечного стану об'єкта.

Стійкість до впливу небезпечних дестабілізуючих чинників – властивість об'єкта зберігати справний, працездатний чи захисний стан, коли на нього діють дестабілізуючі чинники.

2. ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ

2.1. Показники безвідмовності

Імовірність безвідмовної роботи – імовірність того, що протягом заданого наробітку відмова об'єкта не виникне.

Імовірність безвідмовної роботи об'єкта характеризує можливість виконання ним заданих функцій за певний час t і визначається як імовірність того, що тривалість його безвідмовної роботи T (наробіток до відмови) буде не менша часу t :

$$P(t) = P(T \geq t). \quad (2.1)$$

Імовірність безвідмовної роботи пов'язана з функцією розподілу наробітку до відмови $F(t)$ таким чином:

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (2.2)$$

Як і будь-яка ймовірність, імовірність безвідмовної роботи змінюється від 1 до 0 (при $t = 0$ вона дорівнює 1, при $t = \infty$ дорівнює 0).

Імовірність безвідмовної роботи за інтервал часу від 0 до t визначається при статистичних випробовуваннях як відношення кількості працездатних об'єктів у момент часу t до кількості об'єктів, які поставлено на випробовування (тобто до кількості працездатних об'єктів у початковий момент часу $t = 0$):

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2.3)$$

де N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробовування (за умовою, що об'єкти, які відмовили, не замінюються і не відновлюються);

$n(t)$ – кількість об'єктів, що відмовили на інтервалі часу $0 - t$.

Імовірність відмови – імовірність того, що протягом заданого наробітку виникне відмова об'єкта.

Імовірність відмови об'єкта визначається як імовірність того, що тривалість його безвідмовної роботи T (наробіток до відмови) буде менша часу t :

$$Q(t) = P(T < t). \quad (2.4)$$

Імовірність відмови визначають для заданого наробітку (визначеного інтервалу часу) за формулою

$$Q(t) = F(t) = 1 - P(t). \quad (2.5)$$

Імовірність відмови та імовірність безвідмовної роботи події протилежні й у сумі дають одиницю, тобто

$$Q(t) + P(t) = 1. \quad (2.6)$$

Статистичне визначення ймовірності відмови – це відношення кількості об'єктів, що відмовили на інтервалі часу $0 - t$, до кількості об'єктів, які поставлено на випробовування:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (2.7)$$

Значення $P(t)$ і $Q(t)$ не мають сенсу без указівки часу t .

Щільність розподілу наробітку до відмови (закон розподілу відмов) – щільність імовірності відмови до моменту часу t , або щільність імовірності того, що тривалість роботи об'єкта до відмови буде менше t .

Імовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови пов'язана з щільністю розподілу наробітку до відмови $f(t)$ таким чином:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^t f(t)dt; \quad (2.8)$$

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt. \quad (2.9)$$

Або, після диференціювання,

$$P'(t) = -f(t); \quad (2.10)$$

$$Q(t) = f(t), \quad (2.11)$$

Тобто

$$f(t) = -P'(t) = Q'(t). \quad (2.12)$$

Статистичне визначення щільності розподілу наробітку до відмови

$$f(\Delta t) = \frac{n(\Delta t) / \Delta t}{N_0}, \quad (2.13)$$

Інтенсивність відмов – умовна щільність імовірності виникнення відмови невідмовного об’єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла.

Визначається за формулою

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (2.14)$$

або

$$\lambda(t) = \frac{-P'(t)}{P(t)}. \quad (2.15)$$

Проінтегруємо вираз (2.15) від 0 до t :

$$-\int_0^t \lambda(t) dt = \ln P(t),$$

звідки

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (2.16)$$

Формула (2.16) зв’язує ймовірність безвідмовної роботи об’єктів з інтенсивністю їх відмов для будь-якого закону зміни інтенсивності у часі (закону розподілу відмов).

Статистичне визначення інтенсивності відмов:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t) / \Delta t}{N_{cp}}, \quad (2.17)$$

де N_{cp} – середня кількість об’єктів, які працювали безвідмовно на інтервалі часу Δt :

$$N_{cp} = \frac{N_1 + N_2}{2},$$

де N_1, N_2 – кількість об'єктів, які працювали безвідмовно відповідно до початку і до кінця інтервалу часу Δt .

Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтуємих і невідновлюваних об'єктів.

Наробіток – тривалість чи обсяг роботи.

Наробіток може бути як неперервною величиною (тривалість роботи у годинах, кілометрах пробігу тощо), так і цілочисельною величиною (кількість робочих циклів, спрацьовувань тощо).

Наробіток до відмови – наробіток об'єкта від початку його експлуатації до виникнення першої відмови.

Середній наробіток до відмови – математичне сподівання наробітку об'єкта до першої відмови.

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (2.18)$$

де t – наробіток до відмови;

$P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи (функція безвідмовності).

Статистичне визначення середнього наробітку до відмови:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (2.19)$$

де t_i – наробіток до відмови i -об'єкта.

Наробіток між відмовами – наробіток об'єкта від завершення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Середній наробіток на відмову (середній наробіток між відмовами) – відношення сумарного наробітку відновного об'єкта до математичного сподівання кількості його відмов протягом цього наробітку

Статистична оцінка середнього наробітку на відмову:

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_{0i}}{n}, \quad (2.20)$$

де t_{oi} – наробіток відновного об'єкта між двома його сусідніми відмовами, тобто від початку його функціонування або відновлення до моменту наступної відмови;
 n – кількість відмов одного відновного об'єкта.

Якщо випробовують N однотипних зразків, тоді середній наробіток на відмову визначають за формулою

$$T_0 = \frac{\sum_i^{N_0} t_{ci}}{N_0}, \quad (2.21)$$

де t_{ci} – середній наробіток між відмовами i - зразка.

Параметр потоку відмов – відношення математичного сподівання кількості відмов відновного об'єкта за досить малий його наробіток до значення цього наробітку.

Для визначення статистичної оцінки параметра потоку відмов використовують формулу

$$\omega(\Delta t) = \frac{n(\Delta t) / \Delta t}{N_0}, \quad (2.22)$$

де N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробування (об'єкти, що відмовили, замінюються на нові).

Цей параметр показує, яка частина об'єктів виходить з ладу за одиницю часу по відношенню до кількості всіх об'єктів, що справно працюють.

2.2. Показники функційної безпечності

Імовірність безпечної роботи – імовірність того, що протягом заданого наробітку небезпечна відмова об'єкта не виникне.

Імовірність безпечної роботи об'єкта характеризує можливість виконання ним відповідальних функцій за визначений час t і визначається як імовірність того, що тривалість

його безпечної роботи T (наробіток до небезпечної відмови) буде не менша часу t :

$$P_{\sigma}(t) = P(T \geq t). \quad (2.23)$$

Імовірність безпечної роботи пов'язана з функцією розподілу наробітку до небезпечної відмови $F(t)$ таким чином:

$$P_{\sigma}(t) = 1 - F_n(t), \quad (2.24)$$

де $F_n(t)$ – функція розподілу наробітку до небезпечної відмови.

Статистичне визначення ймовірності безпечної роботи:

$$P_{\sigma}(t) = \frac{N_0 - n_n(t)}{N_0}, \quad (2.25)$$

де N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробування;
 $n_n(t)$ – кількість небезпечних відмов об'єктів на інтервалі часу $0 - t$.

Імовірність небезпечної відмови – імовірність того, що протягом заданого наробітку виникне небезпечна відмова об'єкта.

Імовірність небезпечної відмови об'єкта визначається як імовірність того, що тривалість його безвідмовної роботи T (наробіток до небезпечної відмови) буде менша часу t :

$$Q_n(t) = P(T < t). \quad (2.26)$$

Імовірність небезпечної відмови визначають для заданого наробітку (визначеного інтервалу часу) за формулою

$$Q_n(t) = F_n(t) = 1 - P_{\sigma}(t). \quad (2.27)$$

Статистичне визначення ймовірності небезпечної відмови:

$$Q_n(t) = \frac{n_n(t)}{N_0}, \quad (2.28)$$

Для визначення імовірності небезпечної відмови за кожну годину експлуатації треба ймовірність небезпечної відмови за певну тривалість експлуатації поділити на цю тривалість, тобто $Q_n(t)/t$.

При розрахунку ймовірності небезпечної відмови за кожну годину експлуатації тривалість роботи об'єкта визначають у годинах.

Щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови (закон розподілу відмов) - щільність імовірності небезпечної відмови до моменту часу t , або щільність імовірності того, що тривалість роботи об'єкта до небезпечної відмови буде менше t .

Щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови $f_o(t)$ пов'язана з імовірністю безпечної роботи та ймовірністю небезпечної відмови, з урахуванням формул (2.8) і (2.9), таким чином:

$$f_o(t) = -P'_o(t), \quad (2.29)$$

або

$$f_o(t) = Q_n(t), \quad (2.30)$$

Статистичне визначення щільності розподілу наробітку до небезпечної відмови:

$$f_o(\Delta t) = \frac{n_n(\Delta t) / \Delta t}{N_0}. \quad (2.31)$$

Інтенсивність небезпечних відмов – умовна щільність імовірності виникнення небезпечної відмови невідомого об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту небезпечна відмова не виникла.

Інтенсивність небезпечних відмов визначається за формулами:

$$\lambda_n(t) = \frac{f_{\bar{o}}(t)}{P_{\bar{o}}(t)}, \quad (2.32)$$

$$\lambda_n(t) = \frac{-P'_{\bar{o}}(t)}{P_{\bar{o}}(t)}, \quad (2.33)$$

Статистичне визначення інтенсивності небезпечних відмов:

$$\lambda_n(\Delta t) = \frac{n_n(\Delta t) / \Delta t}{N_{cp}}, \quad (2.34)$$

де N_{cp} – середня кількість об'єктів, які працювали безпечно на інтервалі часу Δt .

$$N_{cp} = \frac{N_1 + N_2}{2},$$

де N_1, N_2 – кількість об'єктів, які працювали безпечно відповідно до початку і до кінця інтервалу часу Δt .

Наробіток до небезпечної відмови – наробіток об'єкта від початку його експлуатації до виникнення першої небезпечної відмови.

Середній наробіток до небезпечної відмови – математичне сподівання наробітку системи до першої небезпечної відмови.

$$T_{cp.n} = \int_0^{\infty} t f_{\bar{o}}(t) dt = \int_0^{\infty} P_{\bar{o}}(t) dt, \quad (2.35)$$

де $P_{\bar{o}}(t)$ – імовірність безпечної роботи (функція безпечності).

Статистичне визначення середнього наробітку до небезпечної відмови:

$$T_{cp.n} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0}, \quad (2.36)$$

де t_{ni} – наробіток до небезпечної відмови i -об'єкта.

Наробіток між небезпечними відмовами – наробіток об'єкта від завершення відновлення його працездатного стану з небезпечного стану після небезпечної відмови до виникнення наступної небезпечної відмови.

Середній наробіток на небезпечну відмову (середній наробіток між небезпечними відмовами) – відношення сумарного наробітку відновного об'єкта до математичного сподівання кількості його небезпечних відмов протягом цього наробітку.

Математичне визначення середнього наробітку на небезпечну відмову:

$$T_n = \int_0^{\infty} t f_o(t) dt. \quad (2.37)$$

Статистичне визначення середнього наробітку на небезпечну відмову:

$$T_n = \frac{\sum_i^{N_0} t_{ni}}{N_0}, \quad (2.38)$$

де t_{ni} – наробіток відновного об'єкта між i -небезпечними відмовами, тобто від початку його функціонування або відновлення до моменту наступної небезпечної відмови.

Параметр потоку небезпечних відмов – відношення математичного сподівання кількості небезпечних відмов відновного об'єкта за досить малий його наробіток до значення цього наробітку.

Статистичне визначення параметра потоку небезпечних відмов:

$$\omega_n(\Delta t) = \frac{n_n(\Delta t) / \Delta t}{N_0}, \quad (2.39)$$

де N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробування, за умовою, що об'єкти, які відмовили, замінюються на нові.

Функція готовності до безпечної роботи $K_{\sigma}(t)$ – імовірність того, що об'єкт буде знаходитися у безпечному стані у момент часу t .

Статистичне визначення функції готовності до безпечної роботи:

$$K_{\sigma}(t) = \frac{N_t}{N_0}, \quad (2.40)$$

де N_t – кількість об'єктів, які знаходяться у безпечному стані в момент часу t ;

N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробування (загальна кількість об'єктів).

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи – імовірність того, що об'єкт буде знаходитися у безпечному стані у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачене.

$$K_{\sigma} = \lim K_{\sigma}(t). \quad (2.41)$$

Статистичне визначення коефіцієнта готовності до безпечної роботи:

$$K_{\sigma} = \frac{T_n}{T_n + T_{\sigma}}, \quad (2.42)$$

де T_n – середній наробіток на небезпечну відмову;
 T_{σ} – середня тривалість відновлення.

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи у деяких джерелах інформації [3,4] також називають коефіцієнтом безпечності і відносять до комплексних показників безпечності, але у випадку, коли тривалість відновлення майже дорівнює нулю, цей коефіцієнт безпечності буде практично дорівнювати одиниці, тобто його максимальному значенню. В цьому випадку буде створюватися ілюзія досягнення максимальної безпечності об'єкта, тому що комплексний показник його безпечності має максимальне значення, навіть у разі дуже малого значення його середнього наробітку на небезпечну відмову. У зв'язку з цим використовувати термін «коефіцієнт безпечності» недоцільно.

2.3. Показники ремонтпридатності

Імовірність відновлення – імовірність того, що час відновлення об'єкта не перевищить заданого значення.

$$P_g(t) = P(T_g \leq t). \quad (2.43)$$

Статистичне визначення ймовірності відновлення

$$P_g(t) = \frac{N_g}{N_0}, \quad (2.44)$$

де N_g – кількість об'єктів, які відновлено до моменту часу t ;

N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на випробування (загальна кількість об'єктів).

Середня тривалість відновлення – математичне сподівання часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови.

Статистичне визначення середньої тривалості відновлення

$$T_g = \frac{\sum_i^{N_0} t_{gi}}{N_0}, \quad (2.45)$$

де t_{gi} – тривалість відновлення i - об'єкта.

N_0 – кількість об'єктів, які поставлено на відновлення.

Гамма-відсоткова тривалість відновлення – інтервал часу, протягом якого відновлення працездатності об'єкта здійсниться з імовірністю γ , вираженою у відсотках.

Інтенсивність відновлення – умовна щільність імовірності відновлення працездатності об'єкта, визначена для одного моменту часу, за умовою, що до цього моменту відновлення не завершилося.

Статистичне визначення інтенсивності відмов

$$\mu(\Delta t) = \frac{n_e(\Delta t) / \Delta t}{N_{e,sp}}, \quad (2.46)$$

де $n_e(t)$ – кількість об'єктів, які відновлено на інтервалі часу Δt ;
 $N_{e,sp}$ – середня кількість об'єктів, які не відновлено на інтервалі часу $0 - t$.

2.4. Показники довговічності

Ресурс – сумарний наробіток об'єкта від початку його експлуатації чи поновлення після ремонту до переходу у граничний стан.

Середній ресурс – математичне сподівання ресурсу.

Статистичне визначення середнього ресурсу

$$T_{po} = \frac{\sum_i^{N_0} t_{pni}}{N_0}, \quad (2.47)$$

де t_{ni} – ресурс i -об'єкта.

Гамма-відсотковий ресурс – сумарний наробіток, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю γ , вираженою у відсотках

Термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку чи її поновлення після ремонту до переходу у граничний стан.

Середній термін служби – математичне сподівання терміну служби.

Статистичне визначення середнього терміна служби

$$T_{сл} = \frac{\sum_i^{N_0} t_{сли}}{N_0}, \quad (2.48)$$

де $t_{сли}$ – термін служби i -об'єкта.

Гамма-відсотковий термін служби – календарна тривалість експлуатації, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю γ , вираженою у відсотках.

2.5. Показники збережності

Середній термін збережності – математичне сподівання строку збережності.

Статистичне визначення середнього терміну збережності

$$T_{зб} = \frac{\sum_i^{N_0} t_{збі}}{N_0}, \quad (2.49)$$

де $t_{збі}$ – термін збережності i -об'єкта.

Гамма-відсотковий термін збережності – термін збережності, що його досягає об'єкт із заданою імовірністю γ , вираженою у відсотках.

2.6. Комплексні показники надійності

Комплексні показники надійності характеризують не менш двох властивостей, що складають надійність об'єкта, наприклад, безвідмовність і ремонтпридатність.

Функція готовності (до безвідмовної роботи) – імовірність того, що об’єкт буде знаходитися у безпечному стані у момент часу t .

Статистичне визначення функції готовності

$$K_z(t) = \frac{N_t}{N_0}, \quad (2.50)$$

де N_t – кількість об’єктів, які знаходяться у справному стані в момент часу t ;

N_0 – кількість об’єктів, які поставлено на випробування (загальна кількість об’єктів).

Коефіцієнт готовності (до безвідмовної роботи) – імовірність того, що об’єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об’єкта за призначенням не передбачене.

Коефіцієнт готовності дорівнює

$$K_g = \lim K_g(t). \quad (2.51)$$

Статистичне визначення коефіцієнта готовності

$$K_z = \frac{T_o}{T_o + T_e}, \quad (2.52)$$

де T_o – середній наробіток на відмову;

T_e – середня тривалість відновлення.

3. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

3.1. Загальні поняття

Визначення надійності та функційної безпечності – визначення кількісних значень показників надійності та функційної безпечності об'єкта.

Виконується для оцінювання відповідності кількісних значень показників надійності та функційної безпечності об'єкта вимогам, встановленим у Технічному завданні (ТЗ) на його розроблення і/або технічних умовах (ТУ) на його виготовлення, а також для виявлення й усунення причин відмов і розробляння рекомендацій з підвищення безпечності й надійності.

Для визначення надійності та функційної безпечності використовують експериментальні, розрахункові чи розрахунково–експериментальні методи. Необхідність та методику визначення показників надійності та функційної безпечності регламентовано національними і галузевими нормативними документами [2, 7].

Експериментальний метод – метод, що базується на статистичному обробленні даних, одержаних у випробуваннях чи в експлуатації об'єкта.

Розрахунковий метод – метод, який ґрунтується на розрахунку показників надійності за даними довідників із надійності компонентів і комплектувальних елементів об'єкта, за даними про надійність аналогів елементів об'єкта, за даними про властивості матеріалів та іншій інформації, наявній на час проведення розрахунку.

Розрахунково-експериментальний метод – метод, коли показники надійності та функційної безпечності всіх чи деяких складових частин об'єкта визначають за результатами випробувань і/чи експлуатації, а показники надійності та функційної безпечності об'єктів у цілому розраховують за математичною моделлю.

Розраховування безвідмовності та функційної безпечності – визначення числових значень показників безвідмовності та функційної безпечності об'єкта за довідковими даними про надійність і функційну безпечність його складових частин (елементів), за результатами випробовування, за даними про властивості матеріалів та іншою інформацією, наявною в момент оцінювання функційної безпечності.

Визначення надійності та функційної безпечності методом статистичного моделювання – спосіб визначення показників надійності та функційної безпечності об'єкта, який проектують на ЕОМ, шляхом моделювання процесів функціонування об'єкта, виникнення та усунення відмов.

3.2. Експериментальний метод визначення надійності та функційної безпечності

Експериментальні випробовування об'єкта на безвідмовність і функційну безпечність проводять методом статистичного випробовування. Під час випробовування на безвідмовність фіксують усі відмови, під час випробовування на функційну безпечність – тільки небезпечні відмови.

Для проведення експериментального випробовування одночасно долучають до роботи N_0 об'єктів з усієї генеральної сукупності N виготовлених чи запланованих до виготовлення об'єктів. Кількість об'єктів для випробовування (обсяг вибірки) визначають залежно від середньоквадратичного відхилення наробітку до відмови і небезпечної відмови об'єктів, а також від вимог до вірогідності результатів випробовування, яку планують одержати (довірчої ймовірності). Обсяг вибірки збільшують у разі підвищення вимог до вірогідності результатів випробовування й збільшенні середньоквадратичного відхилення наробітку до відмови і небезпечної відмови об'єктів. Обсяг вибірки визначають згідно з ДСТУ 3004 [53]. Під час випробовування повинна бути забезпечена незмінність умов випробовування.

За результатами експериментального випробування визначають кількість небезпечних відмов $n_H(\Delta t_i)$ і кількість захисних відмов $n_3(\Delta t_i)$ за кожен i -інтервал часу Δt_i , на підставі яких складають таблицю результатів статистичного випробування (табл. 3.1), у якій першу частину “Експериментальні дані” заповнюють за результатами випробування, а другу частину “Розрахункові дані” – за результатами розрахунків, виконаних на підставі отриманих результатів випробування.

Таблиця 3.1

Зведена таблиця статистичних даних випробування

Кількість об'єктів, які поставлено на випробування $N_0 = \underline{\hspace{2cm}}$	Кількість відмов $n(\Delta t_i)$ за інтервал часу Δt_i			
	Δt_1	Δt_2	...	Δt_n
	1. Експериментальні дані:			
1.1. Кількість небезпечних відмов $n_H(\Delta t_i)$ за інтервал часу Δt_i	$n_H(\Delta t_1)$	$n_H(\Delta t_2)$	...	$n_H(\Delta t_n)$
1.2. Кількість захисних відмов $n_3(\Delta t_i)$ за інтервал часу Δt_i	$n_3(\Delta t_1)$	$n_3(\Delta t_2)$	...	$n_3(\Delta t_n)$
2. Розрахункові дані:				
2.1. Кількість відмов $n(\Delta t_i)$ за інтервал часу Δt_i	$n(\Delta t_1)$	$n(\Delta t_2)$	...	$n(\Delta t_n)$
2.2. Кількість небезпечних відмов $n_H(t_i)$ за час t_i	$n_H(t_1)=n_H(\Delta t_1)$	$n_H(t_2)=n_H(\Delta t_1)+n_H(\Delta t_2)$	...	$n_H(t_n)=n_H(\Delta t_1)+n_H(\Delta t_2)+\dots+n_H(\Delta t_n)$
2.3. Кількість захисних відмов $n_3(t_i)$ за час t_i	$n_3(t_1)=n_3(\Delta t_1)$	$n_3(t_2)=n_3(\Delta t_1)+n_3(\Delta t_2)$	...	$n_3(t_n)=n_3(\Delta t_1)+n_3(\Delta t_2)+\dots+n_3(\Delta t_n)$
2.4. Кількість відмов $n(t_i)$ за час t_i	$n(t_1)=n_H(t_1)+n_3(t_1)$	$n(t_2)=n_H(t_2)+n_3(t_2)$	...	$n(t_n)=n_H(t_n)+n_3(t_n)$

Для визначання середнього наробітку до відмови, до захисної відмови, до небезпечної відмови необхідно додатково фіксувати відповідно моменти часу усіх відмов (відповідні наробітки до відмови, до захисної відмови і небезпечної відмови i -об'єктів).

Після одержання експериментальних статистичних даних за формулами (2.3), (2.7), (2.13), (2.17), (2.19) визначають показники безвідмовності, а за формулами (2.25), (2.28), (2.31), (2.34), (2.36) – показники функційної безпечності. Для визначення показників безвідмовності у розрахункові формули підставляють значення кількості усіх відмов (як захисних, так і небезпечних) за необхідний інтервал часу. Показники безвідмовності та функційної безпечності визначають для різних інтервалів часу, після чого будують експериментальні функції у часі показників безвідмовності і функційної безпечності (для кожної групи показників достатньо й однієї), які потім апроксимують теоретичними функціями, після чого одержують їхні математичні вирази. За цими виразами і за формулами взаємозв'язку (2.5), (2.8), (2.9), (2.12) (2.14), (2.16), (2.18) обчислюють інші показники безвідмовності, а за формулами взаємозв'язку (2.27), (2.29), (2.30), (2.32) (2.33), (2.35), (2.36) – показники функційної безпечності.

Випробовування проводять у лабораторіях (випробувальних центрах) із використанням спеціального випробувального устаткування або в умовах підконтрольного експлуатування за допомогою збирання чи оброблення статистичних даних про експлуатування об'єкта. Умови випробовування зазначають у ТУ і/або методиках випробовування об'єкта конкретного виду. Крім цього, у цих документах зазначають: номенклатуру оцінюваних показників функційної безпечності і безвідмовності; стратегію випробовування – із відновленням і/або заміною виробів, що відмовили; перелік параметрів, за якими визначають працездатний і безпечний стан об'єкта; обсяг вибірки (кількість зразків об'єкта, що піддають випробовуванню); кількість незалежних спостережень і негативних результатів цих спостережень, що дають змогу прийняти рішення про відповідність чи невідповідність об'єкта заданим вимогам із безвідмовності і функційної безпечності, а також правила прийняття рішення; довірчу імовірність до результатів випробовування; тривалість проведення випробовувань; режими

роботи, вид, характер і ступінь навантаженості елементів і складових частин об'єкта; періодичність перевіряння стану об'єкта у процесі випробовування.

Суттєвим недоліком експериментального методу визначення показників надійності та функційної безпечності є необхідність залучення до тривалих випробувань великої кількості об'єктів (особливо для визначення їх функційної безпечності), що у багатьох випадках є економічно недоцільним.

У разі неможливості чи недоцільності проведення повного статистичного випробовування об'єкта на функційну безпечність і безвідмовність визначення їх показників проводять розрахунковим чи розрахунково-експериментальним методом.

3.3. Розрахункові методи визначення безвідмовності та функційної безпечності

Показники функційної безпечності й безвідмовності визначають розрахунковим методом на підставі довідкових даних надійності комплектувальних виробів, що належать до складу об'єкта, і відповідних розрахункових формул. Вимоги безвідмовності і функційної безпечності визначають за Технічним завданням на розроблення технічних засобів з урахуванням ДСТУ 4178 [2].

Для розрахунку необхідно визначити працездатний, непрацездатний, захисний, безпечний і небезпечний стан, а також захисну та небезпечну відмову заданого об'єкта. Наприклад, захисний стан – неможливість увімкнення електродвигуна залізничної стрілки при необхідності її переведення, поява заборонного сигналу на світлофорі замість дозвільного; небезпечний стан - несанкціоноване увімкнення електродвигуна залізничної стрілки; поява зеленого або жовтого вогню на світлофорі замість червоного.

Розрахунок проводиться на базі принципової або структурної схеми об'єкта, специфікації його елементів. Для розрахунків використовують показники експлуатаційної надійності і функційної безпечності елементів об'єкта. Розрахунок зазначених показників виконують за такими етапами:

а) визначення або одержання від підприємств-виробників (замовника) значень інтенсивностей захисних і небезпечних відмов елементів, що входять до об'єкта;

б) визначення умов експлуатації та режимів функціонування елементів об'єкта;

в) розрахунок експлуатаційних інтенсивностей захисних і небезпечних відмов елементів об'єкта.

Значення інтенсивностей відмов елементів об'єкта одержують від підприємств-виробників або визначають за довідниками надійності комплектувальних виробів, наприклад, за довідником [5]. Значення інтенсивностей небезпечних відмов елементів також одержують шляхом проведення спеціальних статистичних випробувань або за результатами їхньої експлуатації. Якщо достовірних даних із розподілу небезпечних і захисних відмов в елементах об'єкта немає, тоді інтенсивності небезпечних відмов приймають рівними інтенсивностям відмов, наведеним у технічній документації або довідниках із надійності комплектувальних елементів.

З урахуванням реальних умов експлуатації та електричних навантажень експлуатаційну інтенсивність відмов елементів визначають так:

$$\lambda_e = \lambda_o \prod_{i=1}^N K_i, \quad (3.1)$$

де λ_o – інтенсивність відмов елементів, що відповідає температурі навколишнього середовища 25°C і номінальному електричному навантаженню;

N – число чинників, які впливають на експлуатаційну надійність елемента;

K_i – поправочні коефіцієнти, які враховують вплив різних чинників на експлуатаційну надійність елемента.

Інтенсивності відмов i -елементів λ_{oi} та поправочні коефіцієнти K_i , які наведені нижче, визначають за довідником [5], або іншими довідковими даними.

Інтенсивність відмов інтегральних мікросхем визначають за формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_e K_n, \quad (3.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмов i – мікросхеми при температурі 25°C та номінальному електричному навантаженні;

K_e – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації (для об'єктів, які експлуатуються на рухомому складі залізниць $K_e = 2,5$; для інших умов експлуатації на залізничному транспорті $K_e = 2,0$);

K_n – коефіцієнт навантаження.

Коефіцієнт навантаження для мікросхем дорівнює

$$K_n = \frac{n}{K_{вих}},$$

де n – кількість навантажених на мікросхему входів;

$K_{вих}$ – коефіцієнт розгалуження по виходу мікросхеми, що навантажуються.

Інтенсивність відмов інтегральних мікросхем, для яких відсутні дані з їх надійності, визначають за формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oc.z} K_{сл} K_e, \quad (3.3)$$

де $\lambda_{oc.z}$ – інтенсивність відмов групи мікросхем;

K_e – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації (для об'єктів, які експлуатуються на рухомому складі залізниць $K_e = 2,5$; для інших умов експлуатації на залізничному транспорті $K_e = 2,0$);

$K_{сл}$ – коефіцієнт складності інтегральних мікросхем, який враховує кількість в них елементів.

Інтенсивність відмов випрямних, універсальних та імпульсних діодів, діодних зборок визначають за такою формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_\phi K_{д.н} K_{зл} K_e, \quad (3.4)$$

де K_p – коефіцієнт режиму, який залежить від електричного навантаження й температури;

K_ϕ – коефіцієнт, який враховує функціональний режим приладу (лінійний, перемикальний, випрямний та ін.);

$K_{д.н}$ – коефіцієнт, який залежить від величини максимально допустимого за технічними умовами (ТУ) навантаження по потужності розсіювання (струму);

$K_{зл}$ – коефіцієнт, який залежить від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої напруги за ТУ;

K_e – коефіцієнт, який залежить від умов експлуатації.

Інтенсивність відмов стабілітронів і діодів надвисокочастотних визначають за такою формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_e. \quad (3.5)$$

Інтенсивність відмов транзисторів біполярних, транзисторних зборок (крім потужних та надвисокочастотних) дорівнює

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_{д.н} K_{зл} K_e. \quad (3.6)$$

Інтенсивність відмов польових транзисторів і тиристорів визначають відповідно за такими формулами:

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_\phi K_e; \quad (3.7)$$

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_{д.н} K_e. \quad (3.8)$$

Значення коефіцієнтів режиму K_p визначають за таблицями довідкових даних у залежності від температури й коефіцієнта електричного навантаження $K_{ел}$.

Для діодів і діодних зборок

$$K_{ел} = \frac{I_{пр.ср.роб}}{I_{пр.ср.мах}},$$

де $I_{пр.ср.роб}$ – робочий прямий середній струм;

$I_{пр.ср.мах}$ – максимально допустимий за ТУ прямий середній струм.

Для стабілітронів

$$K_{ел} = \frac{I_{ср.роб.}}{I_{ср.мах}},$$

де $I_{ст.роб}$ і $I_{ст.мах}$ – робочий та максимально допустимий струми стабілізації

або

$$K_{ел} = \frac{P_{роб}}{P_{мах}},$$

де $P_{роб}$ і $P_{мах}$ – робоча і максимально допустима потужності розсіювання.

Для тиристорів

$$K_{эл} = \frac{I_{ср.роб.}}{I_{ср.мах}},$$

де $I_{ср.роб}$ і $I_{ср.мах}$ – робочий та максимально допустимий за ТУ середні струми.

Інтенсивності відмов випромінювальних діодів, оптронів і оптоелектронних мікросхем визначають за такою формулою:

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_e, \quad (3.9)$$

де K_p – коефіцієнт режиму, який залежить від коефіцієнта електричного навантаження K_{el} і температури;
 K_e – коефіцієнт, який залежить від умов експлуатації.

Коефіцієнт електричного навантаження визначають так, як і для діодів.

Інтенсивність відмов конденсаторів визначають за формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_c K_p K_e, \quad (3.10)$$

де K_c – коефіцієнт, який залежить від величини номінальної ємності.

Коефіцієнт режиму K_p визначають у залежності від температури і коефіцієнта навантаження K_n , який обчислюють за таким виразом:

$$K_n = \frac{U_{роб}}{U_n},$$

де $U_{роб}$ і U_n – робоча та номінальна напруги на конденсаторі.

Інтенсивність відмов резисторів визначають за такою формулою:

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_r K_m K_p K_e, \quad (3.11)$$

де K_r – коефіцієнт, який залежить від величини номінального опору;

K_m – коефіцієнт, який залежить від величини номінальної потужності для металодіелектричних резисторів (для інших $K_m = 1,0$).

Коефіцієнт режиму K_p визначають у залежності від температури й коефіцієнта електричного навантаження K_n , який обчислюють у такий спосіб:

$$K_n = \frac{P}{P_n},$$

де P і P_n – робоча й номінальна потужності резистора.

Коефіцієнт $K_m = 0,7$ при потужності резисторів 0,062 – 0,5 Вт; $K_m = 1$ при потужності 1,0 – 2,0 Вт.

Інтенсивність відмов перемикачів і тумблерів визначають за формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_p K_{kk} K_e, \quad (3.12)$$

де K_{kk} – коефіцієнт, який залежить від кількості задіяних контактів.

Коефіцієнт режиму K_p визначають у залежності від коефіцієнта електричного навантаження K_{el} , який дорівнює

$$K_{el} = \frac{I}{I_n},$$

де I та I_n – робочий та максимально допустимий струми за ТУ.

Інтенсивність відмов запобіжників визначають за формулою

$$\lambda_e = \lambda_{oi} K_t K_e \quad (3.13)$$

де K_t – коефіцієнт режиму, який залежить від температури навколишнього середовища.

Інтенсивність відмов трансформаторів і дроселів визначають за такою формулою:

$$\lambda_e = \lambda_o \frac{K_t}{K_{t.sp}} K_e, \quad (3.14)$$

де K_t і $K_{t,cp}$ – коефіцієнти режиму, які відповідають температурі навколишнього середовища і середній температурі експлуатації трансформаторів 50°C .

Показники безвідмовності та функційної безпечності елементів є основою для розрахунку відповідних показників для пристроїв та систем, які визначаються двома основними методами [7]:

- 1) за розрахунково–логічними схемами безвідмовності та функційної безпечності;
- 2) за графами станів об'єктів.

3.3.1. Розрахунковий метод визначення безвідмовності та функційної безпечності за розрахунково–логічними схемами

Метод використовується для розрахунку показників безвідмовності та функційної безпечності невідновлюваних об'єктів і базується на складанні відповідних розрахунково–логічних схем [2, 7].

Розрахунково–логічна схема безвідмовності технічного засобу (РЛСБ) – схема з'єднання зображень структурних елементів технічного засобу, що показує, яким чином відмови його складових частин впливають на безвідмовність технічного засобу в цілому.

Розрахунково–логічна схема функційної безпечності технічного засобу (РЛС ФБ) – схема з'єднання зображень структурних елементів технічного засобу, що показує, яким чином відмови його складових частин впливають на функційну безпечність технічного засобу в цілому.

Розрахунково-логічні схеми безвідмовності і функційної безпечності складають на підставі детального аналізу функціонування об'єктів за принциповими схемами та конструкторською документацією у всіх режимах роботи й можливості появи в ньому захисних і небезпечних відмов при раптових і поступових відмовах його елементів. При цьому враховують можливий вплив на безвідмовність і функційну

безпеку об'єктів технічних засобів забезпечення резервування (наприклад, розв'язувальних елементів, пристроїв перемикачів на ненавантажений резерв), автоконтролювання і сполучення з виконавчими елементами, а також зовнішніх пристроїв. Для складання переліку захисних і небезпечних відмов елементів технічного засобу враховують усі можливі відмови первинних елементів, такі, як обірвання, короткі замикання чи змінення їхніх параметрів. Можливість появи різних типів відмов елементів наведено у міжнародному документі "Пам'ятка Організації співробітництва залізниць "Каталог можливих пошкоджень і отказів елементів пристроїв СЦБ" [6], рекомендованому цією організацією для застосування на залізницях.

Розрахунково-логічні схеми безвідмовності і функційної безпеки – це з'єднані між собою графічні зображення елементів, що входять до складу технічного засобу і впливають відповідно на його безвідмовність і функційну безпеку. Такі зображення елементів позначають в РЛСБ і РЛС ФБ у вигляді прямокутників і з'єднують в них послідовно, паралельно, послідовно – паралельно чи іншим способом.

Вид РЛСБ залежить від наслідків впливу відмов елементів на безвідмовність технічного засобу у цілому. Якщо відмова елемента технічного засобу призводить до його відмови, то його зображення в РЛСБ з'єднують з іншими зображеннями елементів послідовно; якщо відмова технічного засобу настає при відмовах його декількох елементів, тоді їх зображення в РЛСБ з'єднують паралельно; якщо відмова елемента призводить до відмови тільки одного каналу резервування, то його зображення в РЛСБ з'єднують з іншими зображеннями каналів резервування паралельно або замикають на розв'язувальний елемент (наприклад, при мажоритарному резервуванні).

Вид РЛС ФБ залежить від наслідків впливу відмов елементів на функційну безпеку технічного засобу у цілому. Якщо відмова елемента технічного засобу призводить до його небезпечної відмови, то зображення такого елемента в РЛС ФБ з'єднують з іншими зображеннями елементів послідовно; якщо небезпечна відмова технічного засобу настає при відмовах його декількох елементів, тоді їх зображення в РЛС ФБ з'єднують

паралельно; якщо відмова елемента призводить до небезпечної відмови тільки одного каналу резервування, то його зображення в РЛС ФБ з'єднують з іншими зображеннями каналів резервування паралельно або замикають на розв'язувальний елемент (наприклад, при мажоритарному резервуванні). Якщо немає елементів, відмови яких призводять до небезпечного стану технічного засобу, тоді в РЛС ФБ відсутні їх зображення, тобто показники функційної безпечності ідеальні (найкращі й максимально можливі).

Долучення до РЛСБ, РЛС ФБ і вилучення з них усіх зображень елементів технічного засобу має бути належним чином обгрунтовано, аж до фізичного моделювання наслідків відмов. Особливо це важливо при прийманні рішення про вилучення елементів із РЛС ФБ, тому що при цьому зменшується реальна функційна безпечність технічного засобу.

Формули для визначення показників безвідмовності та функційної безпечності об'єктів залежать від типу їх розрахунково-логічних схем.

3.3.1.1. Розрахунок функційної безпечності при послідовному з'єднанні зображень елементів у розрахунково-логічних схемах

При послідовному з'єднанні зображень елементів у РЛС ФБ імовірність безпечної роботи та ймовірність небезпечної відмови технічного засобу визначають за такими формулами

$$P_o(t) = \prod_{i=1}^n P_{oi}(t); \quad (3.15)$$

$$Q_n(t) = 1 - P_o(t), \quad (3.16)$$

де n – кількість елементів, з'єднаних послідовно у РЛС ФБ;
 $P_{oi}(t)$ – імовірність безпечної роботи i – елемента.

Щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови технічного засобу дорівнює

$$f_{\bar{o}}(t) = -P'_{\bar{o}}(t) \quad (3.17)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови та загальну інтенсивність небезпечних відмов технічного засобу обчислюють при послідовному з'єднанні за формулами:

$$T_n = \int_0^{\infty} P_{\bar{o}}(t) dt; \quad (3.18)$$

$$\lambda_n(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_{ni}(t), \quad (3.19)$$

де n – число послідовно з'єднаних елементів у РЛС ФБ;
 λ_{ni} – інтенсивність небезпечної відмови i – елемента.

При експоненційному законі розподілу небезпечних відмов елементів технічного засобу і послідовному з'єднанні їх у РЛС ФБ імовірність безпечної роботи, щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови, інтенсивність небезпечних відмов та середній наробіток до небезпечної відмови визначають відповідно за формулами

$$P_{\bar{o}}(t) = e^{-\lambda_n t}; \quad (3.20)$$

$$f_{\bar{o}}(t) = -(e^{-\lambda_n t})' = \lambda_n e^{-\lambda_n t}; \quad (3.21)$$

$$\lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_{ni}; \quad (3.22)$$

$$T_n = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_n t} dt = \frac{1}{\lambda_n}. \quad (3.23)$$

Для високонадійних систем (при $\lambda_n t \ll 0,1$) імовірність небезпечної відмови оцінюють, з урахуванням розкладання експоненційної функції в ряд Фур'є, таким чином:

$$Q_n(t) = 1 - e^{-\lambda_n t} = 1 - \left[1 - \frac{(\lambda_n t)}{1!} + \frac{(\lambda_n t)^2}{2!} - \frac{(\lambda_n t)^3}{3!} + \dots \right] \approx \lambda_n t. \quad (3.24)$$

3.3.1.2. Розрахунок функційної безпечності при паралельному з'єднанні зображень елементів у розрахунково-логічних схемах

При паралельному з'єднанні зображень елементів імовірність небезпечної відмови та ймовірність безпечної роботи дорівнюють

$$Q_n(t) = \prod_{j=1}^m Q_{nj}(t); \quad (3.25)$$

$$P_o(t) = 1 - Q_n(t), \quad (3.26)$$

де m – число елементів, з'єднаних паралельно в РЛС ФБ;

$Q_{nj}(t)$ – імовірність небезпечної відмови j -елемента у паралельному з'єднанні.

Якщо при паралельному з'єднанні елементів у РЛС ФБ визначені ймовірності безпечної роботи j -елементів, тоді загальну ймовірність безпечної роботи визначають так:

$$P_o(t) = 1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_{oj}(t)], \quad (3.27)$$

де $P_{oj}(t)$ – імовірність безпечної роботи j -елемента.

Якщо функційна безпечність j -елементів у паралельному з'єднанні однакова, тоді загальна ймовірність небезпечної відмови дорівнює

$$Q_n(t) = Q^{m_{nj}}(t). \quad (3.28)$$

Інші показники функційної безпечності при паралельному з'єднанні визначають за формулами взаємозв'язку (3.16) – (3.18).

3.3.1.3. Розрахунок функційної безпечності при змішаному з'єднанні зображень елементів у розрахунково-логічних схемах

Розрахунково–логічна схема функційної безпечності при змішаному з'єднанні зображень елементів складається з частин, які мають послідовно й паралельно з'єднані елементи. Розрахунки ймовірності безпечної роботи та ймовірності небезпечних відмов базуються в цьому випадку на спільному застосуванні формул (3.15), (3.16) та (3.25), (3.26) у залежності від виду РЛС ФБ при її поетапному спрощенні за рахунок заміни найпростіших з'єднань (послідовних і паралельних) еквівалентними з'єднаннями з показниками функційної безпечності.

3.3.1.4 Розрахунок безвідмовності при послідовному, паралельному, змішаному з'єднанні зображень елементів у розрахунково-логічних схемах

Для розрахунку показників безвідмовності необхідно скласти розрахунково–логічну схему безвідмовності технічного засобу (РЛСБ). Методика її складання аналогічна методиці складання РЛС ФБ, тільки в неї входять зображення усіх елементів технічного засобу, які призводять до його відмови (захисної відмови). Частіше усього кількість елементів у РЛСБ більша, ніж у РЛС ФБ, але може бути й однаковою, якщо відмова кожного елемента технічного засобу призводить як до його захисної, так і небезпечної відмови.

Розрахунок виконується за формулами (3.15–3.28), тільки у відповідних формулах використовують замість показників функційної безпечності необхідні показники безвідмовності: імовірність відмови $Q(t)$; імовірність безвідмовної роботи $P(t)$;

щільність розподілу наробітку до відмови $f(t)$; інтенсивність відмов $\lambda(t)$; середній наробіток до відмови T_{cp} .

3.3.1.5. Розрахунок показників безвідмовності і функційної безпеки нерезервованих технічних засобів

Розрахунково–логічна схема безвідмовності і функційної безпеки КТЗ без резервування складається частіше усього з послідовного з'єднання зображень елементів, які можуть призвести до небезпечної відмови. Тому для розрахунку показників безпеки використовують формули (3.15) – (3.24), які використовувались для послідовного з'єднання елементів у розрахунково–логічній схемі функційної безпеки.

Якщо у склад РЛСБ або РЛСФБ входять паралельні або змішані з'єднання зображень елементів, тоді розрахунок виконують за методикою, яку наведено у п.п. 3.3.1.2 – 3.3.1.4.

3.3.2. Розрахунковий метод визначення безвідмовності та функційної безпеки за графами станів

Для визначення показників безвідмовності та функційної безпеки об'єктів складають графи їх станів, за якими визначають імовірності перебування об'єкта у кожному стані, ймовірності безвідмовної та безпечної роботи об'єкта у цілому.

Загальна методика розрахунку базується на прийнятті гіпотези про найпростіший потік відмов об'єктів, що є найбільш прийнятним для аналізу їх функціонування [4]. Використання цієї методики потребує виконання таких вимог до потоку небезпечних відмов:

- забезпечення стаціонарності, при якій імовірність небезпечної відмови на інтервалі часу залежить тільки від величини цього інтервалу і не залежить від розміщення цього інтервалу на осі часу;

- забезпечення відсутності післядії, при якій небезпечні відмови, що створюють потік, з'являються в послідовні моменти часу незалежно одна від одної;

- забезпечення ординарності, при якій небезпечні відмови відбуваються ізольовано та ймовірність виникнення більш однієї небезпечної відмови за малий проміжок часу дорівнює нулю, тобто в один момент часу поява більш однієї небезпечної відмови відбутися не може.

Для розрахунку показників безвідмовності та функційної безпечності виконують такі дії:

- складають орієнтовані графи безвідмовності та функційної безпечності об'єкта і визначають інтенсивності його переходів з одного стану в інший;

- складають систему диференціальних рівнянь, перетворюють її у систему алгебраїчних рівнянь шляхом використання прямого перетворення Лапласа;

- визначають зображення функцій ймовірностей перебувань об'єкта у кожному зі станів;

- знаходять шляхом використання оберненого перетворення Лапласа ймовірності перебування об'єкта у кожному зі станів і загальні ймовірності перебування об'єкта у безпечних і працездатних станах, які і є відповідно ймовірностями безпечної та безвідмовної роботи об'єкта.

Орієнтований граф безвідмовності об'єкта – це граф, у якому вузлами (вершинами) є стани об'єкта із позиції безвідмовності (працездатний і справний; працездатний, але несправний; непрацездатний і несправний), а ребрами – можливі інтенсивності переходів з одного стану в інші (інтенсивності відмов або інтенсивності відновлення об'єкта з несправних станів).

Орієнтований граф функційної безпечності об'єкта – це граф, у якому вузлами (вершинами) є стани об'єкта із позиції функційної безпечності (безпечний і справний; безпечний, але несправний з небезпечною відмовою окремих елементів або каналів резервування; небезпечний і несправний), а ребрами – можливі інтенсивності переходів з одного стану в інші (інтенсивності небезпечних відмов або інтенсивності відновлення об'єкта з небезпечних станів).

Для кожного з можливих станів об'єкта складають диференційне рівняння, у лівій частині якого знаходиться похідна за часом від імовірності перебування об'єкта в i - стані в момент часу t (dP_i/dt), праворуч – алгебраїчна сума добутків інтенсивності переходу з розглянутого стану або в розглянутий стан на ймовірність стану, із якого виходить ребро графа. Якщо ребро графа спрямоване в стан, для якого складається рівняння, то перед доданком ставлять знак "плюс", якщо з цього стану – то знак "мінус". Кількість доданків у правій частині диференційних рівнянь дорівнює числу ребер графа, що стикаються з розглянутим станом, для якого складається диференціальне рівняння, а кількість диференційних рівнянь дорівнює числу станів об'єкта.

Усі диференційні рівняння поєднуються в систему, розв'язання якої виконується за відомими правилами. Для спрощення розв'язання системи диференційних рівнянь треба використовувати пряме й обернене перетворення Лапласа. Після визначення невідомих функцій $P_i(t)$ обчислюють імовірність перебування об'єкта у працездатному або безпечному стані (ймовірність його безвідмовної або безпечної роботи), що дорівнює сумі ймовірностей $P_i(t)$, за винятком імовірності перебування об'єкта в останньому стані, яка є ймовірністю його перебування в непрацездатному або небезпечному стані, тобто ймовірністю захисної або небезпечної відмови об'єкта.

Після визначення ймовірності безвідмовної або безпечної роботи визначають інші показники безвідмовності або функційної безпечності об'єкта за формулами взаємозв'язку (3.16)-(3.18) і (2.14), (2.33).

Приклади розрахунку показників безвідмовності та функційної безпечності об'єкта за графами станів наведено у розділах 4, 6.

3.4. Розрахунково–експериментальний метод визначення надійності та функційної безпечності

Розрахунково-експериментальний метод базується на випробуванні окремих елементів чи блоків об'єкта, для яких

немає інформації з їх безвідмовності та безпечності функціонування. За результатами статистичного (експериментального) випробування визначають показники їх функційної безпечності й безвідмовності, після чого розраховують функційну безпечність і безвідмовність об'єкта у цілому.

4. РЕЗЕРВУВАННЯ

4.1. Основні терміни та визначення

Резервування - застосування додаткових засобів і/або можливостей для збереження працездатного чи захисного стану технічного засобу залізничної автоматики або комплексу технічних засобів керування та регулювання руху поїздів (КТЗ) у разі відмови одного чи декількох його елементів, а також для змінення показників безвідмовності і функційної безпечності КТЗ [2, 10].

В деяких джерелах інформації, наприклад, у ДСТУ 2860 термін "резервування" визначено як спосіб забезпечення надійності об'єкта за рахунок використання додаткових засобів і/або можливостей, надлишкових відносно мінімально необхідних для виконання потрібних функцій [1].

Для КТЗ на залізничному транспорті однією з найважливіших є функція забезпечення логічних умов безпечності, тому додаткові (резервні) засоби надлишковими бути не можуть внаслідок того, що вони забезпечують функцію убезпечнювання разом із основними елементами.

У загальному випадку за рахунок резервування забезпечується не надійність КТЗ, а змінюються показники окремих її властивостей, які не завжди будуть за нього кращими. У цьому разі між термінами "резервування" і "забезпечення надійності" однозначного зв'язку може й не бути, якщо у разі введення резервування окремі показники надійності не тільки не забезпечуються, але й істотно погіршуються. Так, наприклад, введення в КТЗ багатоканальної структури з варіантом "2" із "3" призводить до підвищення безвідмовності КТЗ тільки за певної тривалості його експлуатування, а середній наробіток до відмови

завжди зменшується порівняно із середнім наробітком до відмови КТЗ без резервування з експоненціальним законом розподілу відмов, а за малого значення ймовірності безвідмовної роботи кожного з каналів резервування (менш 0,5) знижується і загальна ймовірність безвідмовної роботи резервованого КТЗ [10, 11]. У цьому разі можуть і не забезпечуватися окремі показники безвідмовності, але досягається потрібна функційна безпечність. Таку структуру КТЗ з варіантом "2" із "3" все ж таки доцільно називати мажоритарне резервування. Введення інших варіантів мажоритарного резервування "n" із "m" для підвищення надійності КТЗ із експоненціальним законом розподілу відмов при всіх значеннях $n = m - 1$ також не може підвищити наробіток до його відмови, але ж це призводить до підвищення безвідмовної роботи за певний наробіток КТЗ.

Необхідно відзначити, що резервуванням доцільно вважати застосування додаткових засобів і/або можливостей з метою підвищення функційної безпечності та зберігання безпечного стану за відмов одного чи декількох елементів КТЗ. У цьому разі загальна безвідмовність КТЗ може знижуватися. Так, наприклад, введення загального навантажувального резервування з логічним елементом "i" призводить до підвищення функційної безпечності, але не призводить до зберігання працездатного стану КТЗ за відмов його елементів. У цьому випадку загальна безвідмовність КТЗ знижується, але його функційна безпечність підвищується.

Основні елементи резервованого КТЗ – елементи структури КТЗ мінімально необхідні для виконання заданих функцій без урахування вимог безвідмовності і функційної безпечності їх виконання.

Резервні елементи – елементи структури КТЗ, надлишкові відносно мінімально необхідних елементів для виконання заданих функцій без урахування вимог безвідмовності і функційної безпечності їх виконання.

Канал резервування – сукупність елементів структури основного чи резервного КТЗ.

Резерв – сукупність додаткових засобів і (або) можливостей, що використовуються для резервування.

Кратність резерву – відношення кількості резервних елементів до кількості резервованих ними елементів, виражене нескоротним дробом.

Навантажений резерв – резерв, що містить один чи декілька резервних елементів, які перебувають у режимі основного елемента.

Полегшений резерв – резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у режимі меншого навантаження порівняно з основним елементом.

Ненавантажений резерв – резерв, що складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у ненавантаженому стані до початку виконання ними функцій основного елемента.

Загальне резервування – резервування, в якому резервується КТЗ в цілому.

Загальне навантажувальне резервування – резервування, в якому резервується КТЗ в цілому, при чому резервні елементи перебувають у режимі основних елементів.

Роздільне резервування – резервування, в якому резервуються окремі елементи чи їх групи.

Ковзне резервування – резервування, в якому група основних елементів резервується одним чи декількома резервними елементами, кожний з яких може замінити будь-який з елементів цієї групи у випадку його відмови.

Змішане резервування – поєднання різних видів резервування в одному КТЗ.

Дублювання – резервування з кратністю резерву один до одного.

Виграш із імовірності безвідмовної (безпечної) роботи КТЗ від уведення резерву – відношення ймовірності безвідмовної (безпечної) роботи КТЗ із резервуванням до ймовірності безвідмовної (безпечної) роботи КТЗ без резервування.

Виграш із імовірності (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ від уведення резерву – відношення ймовірності (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ без резервування до ймовірності (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ із резервуванням.

Виграш із середнього наробітку до (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ від уведення резерву – відношення середнього наробітку до (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ із резервуванням до середнього наробітку до (відмови) (небезпечної відмови) КТЗ без резервування.

Функція виграшу з показника (безвідмовності) (функційної безпечності) – залежність у часі значень виграшу показника (безвідмовності) (функційної безпечності) від уведення резерву.

Ефективна тривалість резервування КТЗ – тривалість роботи КТЗ із резервуванням, після якої знижуються один або кілька показників його функційної безпечності чи безвідмовності в порівнянні з відповідними показниками КТЗ без резервування.

У технічних засобах із резервуванням зміна показників функційної безпечності та безвідмовності у разі підвищення строку експлуатації дуже відрізняється порівняно з такими самими показниками КТЗ без резервування. Так, наприклад, під час використання мажоритарного резервування КТЗ є періоди його експлуатації, коли не спостерігається виграш від використання резерву, а після певної тривалості експлуатації спостерігається стійке зниження показників його функційної безпечності і/або безвідмовності порівняно з аналогічними показниками КТЗ без резервування, тобто після певної тривалості його експлуатування використання резерву призводить тільки до негативного результату. Значення зазначеної тривалості називається ефективною тривалістю резервування КТЗ. Якщо термін експлуатування КТЗ може бути більший, ніж значення цієї тривалості, її значення треба зазначати у технічній документації на КТЗ.

Розв'язувальний елемент резервованого КТЗ – елемент, що приймає сигнали від каналів резервування КТЗ і виконує функції з визначання доцільності передавання сигналу на його вихід.

Зміна показників безвідмовності і функційної безпечності залежить від розв'язувального (логічного) елемента КТЗ із навантажувальним резервуванням. Під час використання логічного елемента "І" підвищується функційна безпечність КТЗ, але знижується його безвідмовність. Під час використання

логічного елемента "АБО" знижується функційна безпечність КТЗ, але в більшості випадків підвищується його безвідмовність. У випадку використання вирішального елемента "n" із "m" за фіксованого значення "m" і за підвищення значення "n" функційна безпечність КТЗ підвищується, а безвідмовність – зменшується. За фіксованого значення "n" і за підвищення значення "m" функційна безпечність КТЗ зменшується, а його безвідмовність у більшості випадків підвищується [10,11].

4.2. Розрахунок показників безвідмовності і функційної безпечності резервованих технічних засобів без відновлення

4.2.1. Розрахунок показників функційної безпечності у разі загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"

При загальному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "i" розрахунково-логічна схема функційної безпечності РЛС ФБ має вигляд паралельного з'єднання. Імовірність небезпечної відмови всієї системи дорівнює

$$Q_n(t) = \prod_{j=1}^m Q_{nj}(t), \quad (4.1)$$

де m – число каналів резервування технічного засобу;
 $Q_{nj}(t)$ – імовірність небезпечної відмови одного каналу резервування.

При однаковій функціональній безпеці каналів резервування технічного засобу загальна ймовірність їх небезпечної відмови визначається в такий спосіб:

$$Q_n(t) = Q_{nj}^m(t). \quad (4.2)$$

Імовірність небезпечної відмови $Q_n(t)$ за час t при однаковій і постійній інтенсивності небезпечних відмов каналів резервування, тобто при $\lambda_{nj}(t) = \text{const}$, дорівнює

$$Q_n(t) = (1 - e^{-\lambda_{nj} t})^m. \quad (4.3)$$

При малих значеннях $\lambda_{nj} t \ll 0,1$

$$Q_n(t) = (\lambda_{nj} t)^m. \quad (4.4)$$

Імовірність безпечної роботи технічного засобу визначається завжди як різниця між одиницею та ймовірністю небезпечної відмови (3.25).

Середній наробіток до небезпечної відмови при загальному резервуванні та однаковій функціональній безпеці каналів резервування визначається так:

$$T_{\text{ср.н}} = T_{\text{ср.н}} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m} \right), \quad (4.5)$$

де $T_{\text{ср.н}}$ – середній наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування або технічного засобу без резервування.

Загальна інтенсивність небезпечних відмов технічного засобу при загальному навантажувальному резервуванні визначається за формулою, яка також використовується для визначення інтенсивності небезпечних відмов при будь-якому способі резервування:

$$\lambda_n(t) = \frac{-P'_o(t)}{P_o(t)}, \quad (4.6)$$

де $P_o(t)$, $P'_o(t)$ – ймовірність безпечної роботи технічного засобу та її похідна за часом.

Мінімальна кількість каналів резервування технічного засобу визначається після дорівнювання виразу (4.2) допустимій ймовірності небезпечної відмови та його логарифмування:

$$m_{\min} = \frac{\lg Q_{н.дон}(t)}{\lg Q_{нj}(t)}, \quad (4.7)$$

де $Q_{н.дон}(t)$ – допустима ймовірність небезпечної відмови;
 $Q_{нj}(t)$ – ймовірність небезпечної відмови технічного засобу
одного каналу резервування.

Для виконання заданих норм функційної безпечності результат округляється до більшого значення, якщо він не є цілим числом.

Ймовірність небезпечної відмови при визначеній мінімальній кількості каналів резервування технічного засобу розраховується за формулою (4.2).

4.2.2. Розрахунок показників безвідмовності у разі загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"

При загальному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "i" розрахунково-логічна схема безвідмовності РЛСБ суттєво відрізняється від РЛС ФБ і має вигляд послідовного з'єднання РЛСБ усіх каналів резервування, при якому ймовірність безвідмовної роботи й інтенсивність відмов резервованого пристрою відповідно дорівнює

$$P(t) = \prod_{i=1}^m P_j(t); \quad (4.8)$$

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^m \lambda_i(t), \quad (4.9)$$

де $P_j(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи кожного каналу резервування;

m – кількість каналів резервування;

$\lambda_j(t)$ – інтенсивність відмов кожного каналу резервування.

Середній наробіток до відмови технічного засобу обчислюють при послідовному з'єднанні за формулою

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (4.10)$$

Щільність розподілу наробітку до відмови резервованого пристрою дорівнює

$$f_o(t) = -P'(t). \quad (4.11)$$

При експоненційному законі розподілу відмов елементів технічного засобу і послідовному з'єднанні їх у РЛСБ, тобто при $\lambda(t) = const$, імовірність безвідмовної роботи, щільність розподілу наробітку до відмови, інтенсивність відмов та середній наробіток до відмови резервованого пристрою визначають відповідно за формулами

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (4.12)$$

$$f(t) = -(e^{-\lambda t})' = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (4.13)$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_j; \quad (4.14)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.15)$$

Середній наробіток до відмови технічних засобів, в яких інтенсивності відмов елементів не залежать від часу, при використанні загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i" в m -разів менше, ніж в одноканальній структурі.

Таким чином, при використанні такого способу резервування усі показники безвідмовності технічних засобів суттєво погіршуються (при безумовному покращенні показників їх функційної безпечності).

4.2.3. Розрахунок показників функційної безпечності у разі роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"

При роздільному резервуванні ймовірність безпечної роботи з розв'язувальним елементом "i" визначають за формулою

$$P_{\text{б.рр}}(t) = \prod_{i=1}^n [1 - Q_{ii}^{m_i}(t)], \quad (4.16)$$

де n – число груп елементів у послідовному з'єднанні;
 m_i – число елементів у кожному i - паралельному з'єднанні.

При неоптимальному роздільному навантажувальному резервуванні кількість резервних елементів або груп елементів однакова для кожного основного елемента або групи, тому структура пристрою не мінімізована і функційна безпечність заданого пристрою може бути значно завищена.

При оптимальному роздільному навантажувальному резервуванні кількість резервних елементів або груп елементів не є однаковою для кожного основного елемента або групи, а визначається відповідно до їх функційної безпечності. При більших значеннях інтенсивностей або ймовірностей небезпечних відмов основних елементів для них використовують більшу кількість резервних елементів і навпаки. Тому кількість резервних елементів структури можна значно скорочувати при забезпеченні мінімально необхідних вимог із функційної безпечності заданого пристрою (без суттєвого перевищення заданих або допустимих норм), а такий спосіб резервування вважати оптимальним.

Необхідну кількість каналів резервування визначають в залежності від допустимих нормативів функційної безпечності, наприклад, допустимої ймовірності небезпечної роботи пристрою, яка пропорційно розподіляється між основними елементами структури, яка резервується.

Мінімальна кількість каналів резервування для i -резервованого елемента або i -резервованої групи елементів визначається за формулою

$$m_{\min,i} = \frac{\lg Q_{н.дон,i}(t)}{\lg Q_{ni}(t)}, \quad (4.17)$$

де $Q_{н.дон,i}(t)$ – допустима ймовірність небезпечної відмови кожного резервованого елемента або резервованої групи елементів, яка дорівнює $Q_{н.дон,i}(t) = 1 - P_{б.дон,i}(t)$;

$Q_{ni}(t)$ – ймовірність небезпечної відмови i -резервованого елемента або i -резервованої групи елементів.

Допустиму ймовірність безпечної роботи для i -резервованого елемента або i -резервованої групи елементів визначають таким чином:

$$P_{б.дон,i}(t) = \sqrt[n]{P_{б.дон}(t)}, \quad (4.18)$$

де $P_{б.дон}(t)$ – допустима (задана) ймовірність безпечної роботи технічного засобу, $P_{б.дон}(t) = 1 - Q_{н.дон}(t)$.

У нормативних документах України [2] регламентується ймовірність небезпечної роботи за кожен час експлуатації $Q_{н.дон}(t)/t = A$, тому для визначення $Q_{н.дон}(t)$ необхідно норматив функційної безпечності A помножити на час роботи заданого пристрою, тобто $Q_{н.дон}(t) = A t$.

4.2.4. Розрахунок показників безвідмовності у разі роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "i"

При роздільному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "i" розрахунково-логічна схема безвідмовності РЛСБ має вигляд послідовного з'єднання зображень елементів або груп елементів структури, тому РЛСБ і результати розрахунку показників безвідмовності будуть такими, як і при загальному навантажувальному резервуванні з такою ж кількістю каналів резервування та розв'язувальним елементом "i" (див. п.п. 4.2.2).

4.2.5. Розрахунок показників безвідмовності у разі загального і роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "АБО"

При використанні m -кратного загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "АБО" функційна безпечність резервованого пристрою зменшується, але підвищується його безвідмовність. Такий варіант резервування майже не використовується, тому що у більшості випадків необхідно підвищувати функційну безпечність.

Імовірність небезпечної відмови і середній наробіток до небезпечної відмови при загальному і роздільному навантажувальному резервуванні при однаковій кількості каналів резервування з розв'язувальним елементом "АБО" визначають за такими формулами:

$$Q_n(t) = 1 - e^{-m\lambda_{nj} t}; \quad (4.19)$$

$$T_{ср.н} = 1 / m\lambda_{nj}, \quad (4.20)$$

де λ_{nj} – інтенсивність небезпечної відмови кожного з m – каналів резервування.

Середній наробіток до відмови при загальному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "АБО" підвищується при збільшенні кількості каналів резервування і його визначають за формулою:

$$T_{cp} = T_{cpj} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m}\right), \quad (4.21)$$

де T_{cpj} – середній наробіток до відмови одного каналу резервування або технічного засобу без резервування.

Середній наробіток до відмови при роздільному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "АБО" визначають за формулою:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (4.22)$$

де $P(t)$ – функція безвідмовності (імовірності безвідмовної роботи) резервованого пристрою, яка визначається методом послідовного згортання найпростіших паралельних і послідовних з'єднань зображень елементів структури.

4.2.6. Розрахунок показників функційної безпеки і безвідмовності при мажоритарному резервуванні

Загальну ймовірність безпечної роботи технічного засобу при мажоритарному резервуванні "n" із "m" (при однаковій функціональній безпеці каналів резервування) визначають за формулою

$$P_{\sigma.n/m}(t) = \sum_{j=0}^{n-1} C_m^j [1 - P_{\sigma_j}(t)]^j P_{\sigma_j}^{m-j}(t) P_{\sigma.pe}(t), \quad (4.23)$$

де $P_{\delta j}(t)$ – імовірність безпечної роботи кожного каналу резервування;
 $P_{\delta,pe}(t)$ – імовірність безпечної роботи розв’язувального елемента;
 C_m^j – число сполучень "j" із "m".

Число сполучень "j" із "m" визначається в такий спосіб:

$$C_m^j = \frac{m!}{j!(m-j)!}, \quad (4.24)$$

де $m!$, $j!$ – факторіали чисел.

Загальна ймовірність безвідмовної роботи технічного засобу при мажоритарному резервуванні типу "n" із "m" дорівнює

$$P_{n/m}(t) = \sum_{j=0}^{m-n} C_m^j [1 - P_j(t)]^j P_j^{m-j}(t) P_{p.e}(t), \quad (4.25)$$

де $P_j(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи кожного каналу резервування;
 $P_{p.e}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи розв’язувального елемента.

Для максимального варіанта мажоритарного резервування з функційної безпечності (при $n = m - 1$) можна використовувати спрощену формулу для визначення ймовірності безвідмовної роботи технічного засобу:

$$P_{n/m}(t) = mP^n_j(t) - nP^m_j(t). \quad (4.26)$$

При експоненційному законі розподілу небезпечних відмов функція безвідмовності технічного засобу при мажоритарному резервуванні "n" із "m" буде мати вигляд

$$P_{n/m}(t) = me^{-n\lambda_j t} - ne^{-m\lambda_j t}, \quad (4.27)$$

де λ_j – інтенсивність відмов кожного з каналів резервування.

Середній наробіток до відмови технічного засобу при мажоритарному резервуванні "n" із "m" (при $n = m - 1$) дорівнює

$$T_{cp\ n/m} = \int_0^{\infty} P_{n/m}(t) dt = \int_0^{\infty} m e^{-n_j t} dt - \int_0^{\infty} n e^{-m \lambda_j t} dt = \frac{m}{n \lambda_j} - \frac{n}{m \lambda_j} = \frac{m^2 - n^2}{mn \lambda_j}, \quad (4.28)$$

або, з урахуванням співвідношень $T_{cpj} = 1/\lambda_j$, $n = m - 1$, його можна визначити (при $n = m - 1$) так :

$$T_{cp\ n/m} = \frac{m^2 - n^2}{mn} T_{cpj}; \quad (4.29)$$

$$T_{cp\ n/m} = \frac{m^2 - (m-1)^2}{m(m-1)} T_{cpj} = \frac{2m-1}{m(m-1)} T_{cpj}; \quad (4.30)$$

$$T_{cp\ n/m} = \frac{2m-1}{m(m-1)} T_{cpj} = \frac{m+(m-1)}{mn} T_{cpj} = \frac{m+n}{mn} T_{cpj}, \quad (4.31)$$

де T_{cpj} – середній наробіток до відмови одного каналу резервування технічного засобу (нерезервованого технічного засобу).

Формула (4.30) дозволяє знайти мінімальну кількість каналів резервування при визначеному значенні середнього наробітку до відмови одного каналу резервування і його допустимому значенні для всієї резервованої системи.

Формула (4.31) є найбільш важливою і показує, що середній наробіток до відмови резервованої системи при $n = m - 1$ завжди є меншим, ніж без використання резервування. У даному випадку дріб $(m+n)/mn$ є значення програшу за критерієм середнього наробітку до відмови резервованої системи у порівнянні з одноканальним варіантом структури.

Аналіз формул (4.23) і (4.25) показує, що при однаковій кількості каналів резервування ($m=const$) із збільшенням числа "n" підвищується функційна безпечність технічного засобу, але знижується його безвідмовність. При $n=const$ із збільшенням числа "m" підвищується безвідмовність, але знижується функційна безпечність технічного засобу.

Тільки для деяких варіантів мажоритарного резервування, наприклад, для варіанта "2" із "3", розрахункові формули мають подібний вигляд, але істотно відрізняються за значеннями ймовірностей безпечної й безвідмовної роботи, які в них входять, тому що найчастіше $P_{\delta_j}(t) \neq P_j(t)$.

Для мінімально можливого і найбільш поширеного варіанта мажоритарного резервування типу "2" із "3" загальна ймовірність безпечної роботи дорівнює

$$P_{\delta.2/3}(t) = [3P_{\delta_j}^2(t) - 2P_{\delta_j}^3(t)]P_{\delta.pe}. \quad (4.32)$$

При безпечному розв'язувальному елементі загальна ймовірність безпечної роботи технічного засобу з мажоритарним резервуванням типу "2" із "3" дорівнює

$$P_{\delta.2/3}(t) = 3P_{\delta_j}^2(t) - 2P_{\delta_j}^3(t). \quad (4.33)$$

При експоненційному законі розподілу небезпечних відмов функція безпечності технічного засобу при мажоритарному резервуванні "2" із "3" буде мати вигляд

$$P_{\delta.2/3}(t) = 3e^{-2\lambda_{nj}t} - 2e^{-3\lambda_{nj}t}, \quad (4.34)$$

де λ_{nj} – інтенсивність небезпечних відмов кожного з каналів резервування.

Середній наробіток до небезпечної відмови технічного засобу при мажоритарному резервуванні "2" із "3" дорівнює

$$T_{cp.n.2/3} = \int_0^{\infty} P_{\delta,2/3}(t) dt = \int_0^{\infty} 3e^{-2\lambda_{nj}t} dt - \int_0^{\infty} 2e^{-3\lambda_{nj}t} dt = \frac{3}{2\lambda_{nj}} - \frac{2}{3\lambda_{nj}} = \frac{5}{6\lambda_{nj}}, \quad (4.35)$$

або, з урахуванням співвідношення $T_{nj}=1/\lambda_{nj}$, визначається так:

$$T_{n.2/3} = \frac{5}{6} T_{nj}, \quad (4.36)$$

де $T_{cp.nj}$ – середній наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування технічного засобу (нерезервованого технічного засобу).

Для мажоритарного резервування типу "2" із "3" загальна ймовірність безвідмовної роботи дорівнює

$$P_{2/3}(t) = [3P_j^2(t) - 2P_j^3(t)]P_{p.e.} \quad (4.37)$$

При ідеальному розв'язувальному елементі загальна ймовірність безвідмовної роботи технічного засобу з мажоритарним резервуванням типу "2" із "3" дорівнює

$$P_{2/3}(t) = 3P_j^2(t) - 2P_j^3(t). \quad (4.38)$$

При експоненційному законі розподілу відмов функція безвідмовності при мажоритарному резервуванні "2" із "3" буде мати вигляд

$$P_{2/3}(t) = 3e^{-2\lambda_j t} - 2e^{-3\lambda_j t}, \quad (4.39)$$

де λ_j – інтенсивність відмов кожного з каналів резервування.

Середній наробіток до відмови технічного засобу при мажоритарному резервуванні "2" із "3" дорівнює

$$T_{cp2/3} = \int_0^{\infty} P_{2/3}(t) dt = \int_0^{\infty} 3e^{-2\lambda_j t} dt - \int_0^{\infty} 2e^{-3\lambda_j t} dt = \frac{3}{2\lambda_j} - \frac{2}{3\lambda_j} = \frac{5}{6\lambda_{nj}}, \quad (4.40)$$

або, з урахуванням співвідношення $T_{cpj} = 1/\lambda_j$, визначається так:

$$T_{cp2/3} = \frac{5}{6} T_{cpj}, \quad (4.41)$$

де T_{cpj} – середній наробіток до відмови одного каналу резервування технічного засобу (нерезервованого технічного засобу).

Для визначення ймовірностей безпечної і безвідмовної роботи резервованої структури при мажоритарному резервуванні “3” із “4” необхідно у формули (2.22) і (2.23) підставити значення $n=3$ $m=4$ та значення ймовірностей безпечної й безвідмовної роботи каналів резервування. Тоді, при експоненційному законі розподілу відмов, ці ймовірності визначають за формулами

$$P_{\bar{0}.3/4}(t) = 3e^{-4\lambda_{nj} t} - 8e^{-3\lambda_{nj} t} + 6e^{-2\lambda_{nj} t}; \quad (4.42)$$

$$P_{3/4}(t) = 4e^{-3\lambda_j t} - 3e^{-4\lambda_j t}. \quad (4.43)$$

При мажоритарному резервуванні “3” із “4” (у порівнянні з одноканальною структурою) його середній наробіток до небезпечної відмови збільшується, а середній наробіток до відмови зменшується:

$$T_{cp.n} = 13/12 T_{cp.nj}; \quad (4.44)$$

$$T_{cp} = 7/12 T_{cp.j}, \quad (4.45)$$

де $T_{cp.nj}$, $T_{cp.j}$ – середній наробіток до небезпечної відмови та середній наробіток до відмови одноканальної структури технічного засобу, $T_{cp.nj} = 1/\lambda_{nj}$; $T_{cp.j} = 1/\lambda_j$.

Для варіанта “3” з “4” функції виграшів із підвищення ймовірності безпечної та безвідмовної роботи КТЗ визначаються відповідно в такий спосіб:

$$\alpha_{\sigma}(t) = \frac{P_{\sigma,3/4}(t)}{P_{\sigma}(t)} = 3P^3_{\sigma j}(t) - 8P^2_{\sigma j}(t) + 6P_{\sigma j}(t); \quad (4.46)$$

$$\alpha(t) = \frac{P_{3/4}(t)}{P(t)} = 4P^2_j(t) - 3P^3_j(t). \quad (4.47)$$

Виграш з підвищення функційної безпечності є тільки при значеннях імовірності безпечної роботи одного каналу резервування $P_{\sigma j}(t) > 0,24$; виграш із безвідмовності – тільки при значеннях імовірності безвідмовної роботи одного каналу $P_j(t) > 0,77$.

Періоди експлуатації $(0 - t_{xH})$ і $(0 - t_x)$ об'єкта з варіантом резервування “3” із “4”, у яких є виграші з функційної безпечності та безвідмовності, не перевищують відповідно таких значень:

$$t_{xH} < \frac{-\ln 0,24}{\lambda_{nj}} = \frac{1,4}{\lambda_{nj}} = 1,4T_{cp,nj}; \quad (4.48)$$

$$t_x < \frac{-\ln 0,77}{\lambda_j} = \frac{0,26}{\lambda_j} = 0,26T_{cp,j}. \quad (4.49)$$

4.2.7. Розрахунок показників функційної безпечності у разі використання ненавантажувального загального, роздільного і ковзного резервування

Використання ненавантажувального резервування для підвищення функційної безпечності технічного засобу можливе тільки в тому випадку, якщо забезпечується його безпечне функціонування з моменту початку формування небезпечної відмови резервованого технічного засобу до закінчення його

переключення на резерв. Для цього потрібно гарантовано або з допустимими значеннями ймовірностей забезпечити:

- контроль визначення початку формування небезпечної відмови (до закінчення її прояву);
- мінімальний час переключення на резерв, за який технічний засіб не зможе перейти у небезпечний стан;
- переключення на резерв.

У більшості випадків це вирішується дуже складно, тому ненавантажувальне резервування для підвищення функційної надійності майже не застосовується, хоча у порівнянні з навантажувальним резервуванням цей спосіб теоретично є найкращим.

При загальному ненавантажувальному резервуванні ймовірність безпечної роботи всієї системи дорівнює

$$P_0(t) = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(\lambda_{nj}t)^i}{i!} e^{-\lambda_{nj}t}, \quad (4.50)$$

де $(m-1)$ – число резервних елементів;

λ_{nj} – інтенсивність небезпечних відмов технічного засобу без резервування.

При виконанні розрахункової роботи кількість каналів резервування має дорівнювати мінімальній кількості каналів резервування технічного засобу у разі використання загального навантажувального резервування.

Якщо задаються норми функційної безпечності, тоді розрахунок виконують методом послідовного наближення ймовірності безпечної роботи технічного засобу до необхідних вимог при зміні кількості каналів резервування.

Середній наробіток до небезпечної відмови визначають за такими формулами:

$$T_{ср.н} = \frac{m}{\lambda_{nj}}. \quad (4.51)$$

$$T_{cp.n} = mT_{nj}, \quad (4.52)$$

Таким чином, середній наробіток до небезпечної відмови при ненавантажувальному резервуванні в m -разів більше, ніж в одноканальній структурі.

Щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови дорівнює

$$f_o(t) = \frac{\lambda_{nj}^m t^{m-1}}{(m-1)!} e^{-\lambda_{nj} t}. \quad (4.53)$$

Інші показники функційної безпечності визначаються за формулами (2.27), (2.33).

При роздільному резервуванні спочатку виконується розрахунок імовірностей небезпечної відмови за формулою (4.1) для кожного паралельного з'єднання елементів технічного засобу, а потім визначається загальна ймовірність безпечної роботи послідовного з'єднання за формулою (3.15). Після цього визначаються інші показники функційної безпечності за формулами взаємозв'язку (2.27), (2.33) і (2.35).

При неоптимальному роздільному ненавантажувальному резервуванні кількість резервних елементів або груп елементів однакова для кожного основного елемента або групи, тому структура пристрою не мінімізована і функційна безпечність заданого пристрою може бути значно завищена. При виконанні розрахункової роботи для такого варіанта структури кількість каналів резервування для кожного елемента або групи елементів має дорівнювати мінімальній кількості каналів резервування технічного засобу у разі використання загального навантажувального резервування.

При оптимальному роздільному ненавантажувальному резервуванні кількість резервних елементів або груп елементів не є однаковою для кожного основного елемента або групи. Вона визначається відповідно до їх функційної безпечності й вимог до безпечності кожного резервованого елемента, які визначають за формулою (4.17). Розрахунок кількості необхідних резервних

елементів виконують методом послідовного наближення ймовірності безпечної роботи резервованих елементів або груп елементів до необхідних вимог на кожний елемент або кожну групу елементів. Кількість резервних елементів структури у цьому разі можна значно скоротити при забезпеченні мінімально необхідних вимог із функційної безпечності заданого пристрою (без суттєвого перевищення заданих або допустимих норм).

При використанні в технічних засобах ковзного ненавантажувального резервування ймовірність безпечної роботи та середній наробіток до небезпечної відмови резервованої частини технічного засобу визначають відповідно:

$$P_{\sigma_k}(t) = \sum_{k=0}^m \frac{(n\lambda_{ij}t)^k}{k!} e^{-n\lambda_{ij}t}; \quad (4.54)$$

$$T_n = \frac{m+1}{n\lambda_{ij}}, \quad (4.55)$$

де n – число елементів, які резервуються;
 m – число резервних елементів.

Загальна ймовірність безпечної роботи всієї структури технічного засобу з урахуванням її частини, яка не може бути зарезервована (не містить взаємозамінних елементів) дорівнює

$$P_{\sigma}(t) = P_{\sigma_k}(t)P_{\sigma_c}(t), \quad (4.56)$$

де P_{σ_c} – ймовірність безпечної роботи її частини, яка не може бути зарезервована.

Інші показники функційної безпечності визначаються за формулами взаємозв'язку (2.27), (2.33) і (2.35).

4.2.8. Розрахунок показників безвідмовності у разі використання ненавантажувального загального, роздільного і ковного резервування

Використання ненавантажувального резервування для підвищення безвідмовності технічного засобу можливе тільки в тому випадку, якщо забезпечується його працездатний стан із моменту початку формування відмови резервованого технічного засобу до закінчення його переключення на резерв. Якщо ця вимога не забезпечується, тоді резервні елементи набувають статусу запасних і не впливають на показники безвідмовності (можуть змінювати тільки показники готовності при їх використанні).

При загальному ненавантажувальному резервуванні ймовірність безвідмовної роботи всієї системи дорівнює

$$P(t) = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{(\lambda_j t)^i}{i!} e^{-\lambda_j t}, \quad (4.57)$$

де $(m-1)$ – число резервних елементів;

λ_j – інтенсивність відмов технічного засобу без резервування.

Середній наробіток до відмови визначається за такою формулою:

$$T_{cp} = \frac{m}{\lambda_j}. \quad (4.58)$$

Щільність розподілу часу безвідмовної роботи дорівнює

$$f(t) = \frac{\lambda_j^m t^{m-1}}{(m-1)!} e^{-\lambda_j t}. \quad (4.59)$$

Інші показники безвідмовності визначаються за формулами (2.5), (2.14).

При роздільному резервуванні спочатку виконується розрахунок імовірностей безвідмовної роботи за формулою (4.57) для кожного паралельного з'єднання елементів технічного засобу, а потім визначається загальна ймовірність безвідмовної роботи послідовного з'єднання за формулою (3.15). Після цього визначаються інші показники безвідмовності за формулами взаємозв'язку (2.5), (2.14) і (2.18).

Виграш зі зменшення ймовірності небезпечної відмови при роздільному резервуванні, в порівнянні з одноканальною структурою КТЗ, також залежить від часу його експлуатації та визначається таким чином:

$$\beta_{62}(t) = \frac{Q_n(t)}{Q_{n.pp}(t)}, \quad (4.60)$$

де $Q_{n.pp}(t)$ – імовірність небезпечної відмови КТЗ при роздільному резервуванні.

Виграш зі зменшення ймовірності небезпечної відмови при роздільному резервуванні, в порівнянні з загальним резервуванням, складає

$$\beta_{63}(t) = \frac{Q_{n.zp}(t)}{Q_{n.pp}(t)}, \quad (4.61)$$

де $Q_{n.zp}(t)$ – імовірність небезпечної відмови КТЗ при загальному резервуванні.

При використанні в технічних засобах ковзного ненавантажувального резервування ймовірність безвідмовної роботи та середній наробіток до відмови визначаються відповідно:

$$P(t) = \sum_{k=0}^m \frac{(n\lambda_j t)^k}{k!} e^{-n\lambda_j t}; \quad (4.62)$$

$$T_{cp} = \frac{m+1}{n\lambda_j}, \quad (4.63)$$

де n – число елементів, які резервуються;
 m – число резервних елементів.

Інші показники безвідмовності визначаються за формулами взаємозв'язку (2.5), (2.12) і (2.14).

Виграш з підвищення ймовірності безпечної роботи при введенні ненавантажувального резервування є завжди, причому він підвищується зі збільшенням інтенсивності небезпечних відмов, числа резервних об'єктів і часу експлуатації.

4.2.9. Розрахунок показників функційної безпечності і безвідмовності у разі використання змішаного резервування

Для розрахунку показників функційної безпечності й безвідмовності при змішаному резервуванні складають РЛС ФБ і РЛСБ, за якими визначають найпростіші з'єднання (послідовні чи паралельні). Після цього методом згортання поетапно скорочують число елементів у РЛС ФБ і РЛСБ (до одного) і на кожному етапі виконують розрахунки одного з показників функційної безпечності і/чи безвідмовності частин технічного засобу за формулами для послідовного з'єднання елементів (3.15) - (3.24) або для паралельного з'єднання елементів (3.25) - (3.28). Далі визначають імовірність безпечної (безвідмовної) роботи або ймовірність небезпечної відмови (відмови) для всього змішаного резервування, після чого обчислюють, при необхідності, інші показники функційної безпечності й безвідмовності технічного засобу за формулами взаємозв'язку відповідно (2.27), (2.33), (2.35) і (2.5), (2.12), (2.14).

4.3. Розрахунок показників функційної безпеки невідновлюваних резервованих технічних засобів за графами станів

4.3.1. Розрахунок функційної безпеки невідновлюваних технічних засобів із навантажувальним дублюванням

Розрахунково–логічна схема й граф безпеки невідновного технічного засобу з навантажувальним дублюванням і вирішальним елементом "і" наведені на рис. 4.1.

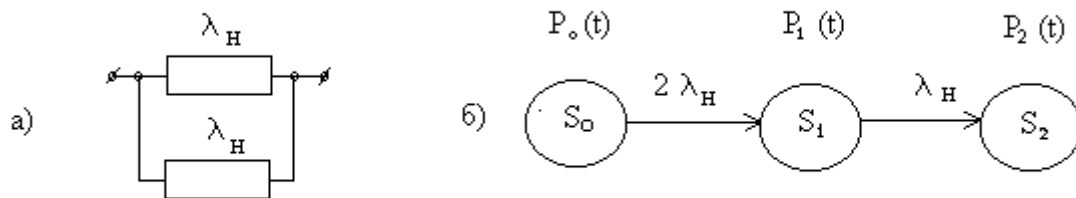


Рис. 4.1. Розрахунково–логічна схема й граф безпеки невідновного технічного засобу з навантажувальним дублюванням

Загальну ймовірність безпечної роботи КТЗ визначають шляхом підсумовування ймовірностей його перебування в безпечних станах S_0 і S_1 :

$$P_0(t) = P_0(t) + P_1(t) \quad (4.64)$$

Для визначення значень $P_0(t)$ і $P_1(t)$ складають систему диференціальних рівнянь Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dP_o(t)}{dt} = -2\lambda_n P_o(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = 2\lambda_n P_o(t) - \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_n P_1(t). \end{cases} \quad (4.65)$$

Для одержання системи алгебраїчних рівнянь використовують пряме перетворення Лапласа

$$\begin{cases} S \cdot P_o(S) - 1 = -2\lambda_n P_o(S); \\ S \cdot P_1(S) = 2\lambda_n P_o(S) - \lambda_n P_1(S); \\ S \cdot P_2(S) = \lambda_n P_1(S). \end{cases} \quad (4.66)$$

З першого рівняння системи отримують

$$P_o(S) = \frac{1}{S + 2\lambda_n} \quad (4.67)$$

Підставляючи вираз (4.67) у друге рівняння системи (4.66), одержують

$$\begin{aligned} S \cdot P_1(S) &= 2\lambda_n \frac{1}{S + 2\lambda_n} - \lambda_n P_1(S), \\ P_1(S) &= \frac{2\lambda_n}{(S + 2\lambda_n)(S + \lambda_n)}. \end{aligned} \quad (4.68)$$

Для одержання оригіналів функцій (4.67 і (4.68) використовують обернене перетворення Лапласа

$$P_o(t) = e^{-2\lambda_n t}; \quad (4.69)$$

$$P_1(t) = 2(e^{-\lambda_n t} - e^{-2\lambda_n t}). \quad (4.70)$$

Для визначення ймовірності безпечної роботи КТЗ підставляють вирази (4.69) і (4.70) у формулу (4.64) і після перетворень одержують

$$P_o(t) = 2e^{-\lambda_n t} - e^{-2\lambda_n t}. \quad (4.71)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови дорівнює

$$\begin{aligned} T_{cp.n} &= \int_0^{\infty} P_o(t) dt = P_o(S)|_{S=0} + P_1(S)|_{S=0} = \frac{1}{S + 2\lambda_n} \Big|_{S=0} + \frac{2\lambda_n}{(S + 2\lambda_n)(S + \lambda_n)} \Big|_{S=0} = \\ &= \frac{1}{2\lambda_n} + \frac{1}{\lambda_n} = \frac{3}{2\lambda_n} = 1,5T_{cp.n1}. \end{aligned} \quad (4.72)$$

4.3.2 Розрахунок показників функційної безпечності невідновного технічного засобу з ненавантажувальним дублюванням

Розрахунково-логічна схема й граф безпечності невідновного технічного засобу з ненавантажувальним дублюванням наведені на рис. 4.2.

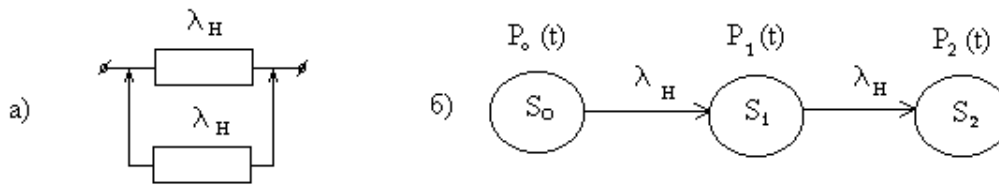


Рис.4.2. Розрахунково-логічна схема й граф безпечності невідновного технічного засобу з ненавантажувальним дублюванням

Система диференціальних рівнянь Колмогорова має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_n P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_n P_0(t) - \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_n P_1(t). \end{cases} \quad (4.73)$$

Використовуючи пряме перетворення Лапласа, одержують

$$\begin{cases} S \cdot P_0(S) - 1 = -\lambda_n P_0(S); \\ S \cdot P_1(S) = \lambda_n P_0(S) - \lambda_n P_1(S); \\ S \cdot P_2(S) = \lambda_n P_1(S). \end{cases} \quad (4.74)$$

З першого рівняння отримують

$$P_0(S) = \frac{1}{S + \lambda_n}. \quad (4.75)$$

Підставляючи вираз (4.75) у друге рівняння системи (4.74), одержують

$$S \cdot P_1(S) = \lambda_n \frac{1}{S + \lambda_n} - \lambda_n P_1(S);$$

$$P_1(S) = \frac{\lambda_n}{(S + \lambda_n)^2}. \quad (4.76)$$

Використовуючи обернене перетворення Лапласа для зображень функцій (4.75), (4.76), визначають ймовірності перебування КТЗ у безпечних станах:

$$P_o(t) = e^{-\lambda_n t}; \quad (4.77)$$

$$P_1(t) = \lambda_n t e^{-\lambda_n t} \quad (4.78)$$

Загальну ймовірність безпечної роботи та ймовірність небезпечної відмови резервованого КТЗ знаходять відповідно таким чином:

$$P_o(t) = P_o(t) + P_1(t) = e^{-\lambda_n t} (1 + \lambda_n t); \quad (4.79)$$

$$Q_n(t) = 1 - e^{-\lambda_n t} (1 + \lambda_n t). \quad (4.80)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови визначається шляхом інтегрування функції безпеки з урахуванням виразів (4.75) і (4.76):

$$\begin{aligned} T_{cp,n} &= \int_0^{\infty} P_o(t) dt = \int_0^{\infty} P_o(t) dt + \int_0^{\infty} P_1(t) dt = \frac{1}{S + \lambda_n} \Big|_{S=0} + \frac{\lambda_n}{(S + \lambda_n)^2} \Big|_{S=0} = \\ &= \frac{1}{\lambda_n} + \frac{1}{\lambda_n} = \frac{2}{\lambda_n} = 2T_{cp,n1}. \end{aligned} \quad (4.81)$$

4.3.3. Розрахунок показників функційної безпечності невідновлюваної триканальної системи з мажоритарним резервуванням

Розрахунково-логічна схема і граф безпечності невідновлюваної системи з мажоритарним резервуванням “2” із “3” подані на рис. 4.3, на якому позначено: λ_n – інтенсивність відмов кожного каналу резервування; МЕ – мажоритарний елемент.

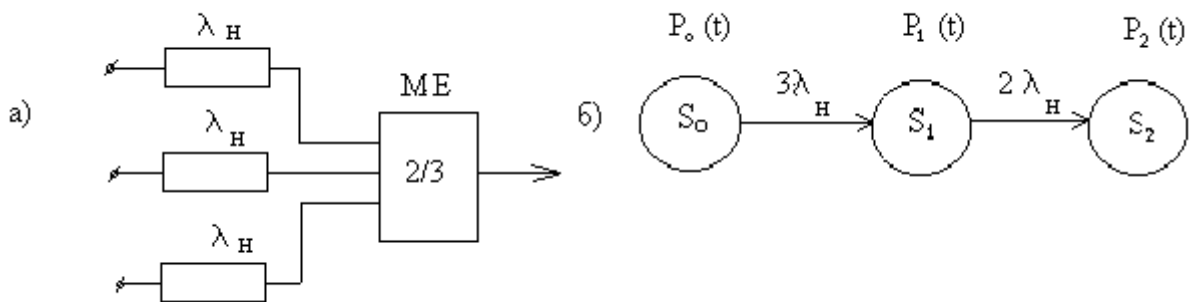


Рис. 4.3. Розрахунково-логічна схема і граф безпечності невідновлюваної системи з мажоритарним резервуванням “2” із “3”

Система диференційних рівнянь Колмогорова має такий вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -3\lambda_n P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = 3\lambda_n P_0(t) - 2\lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = 2\lambda_n P_1(t). \end{cases} \quad (4.82)$$

Пряме перетворення Лапласа дає систему алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} S \cdot P_0(S) - 1 = -3\lambda_n P_0(S), \\ S \cdot P_1(S) = 3\lambda_n P_0(S) - 2\lambda_n P_1(S), \\ S \cdot P_2(S) = 2\lambda_n P_1(S). \end{cases} \quad (4.83)$$

З першого рівняння системи одержують

$$P_0(S) = \frac{1}{S + 3\lambda_n}. \quad (4.84)$$

Підставляючи отриманий вираз у друге рівняння системи (4.83), отримують такі рівняння:

$$S \cdot P_1(S) = 3\lambda_n \frac{1}{S + 3\lambda_n} - 2\lambda_n P_1(S); \quad (4.85)$$

$$P_1(S) = \frac{3\lambda_n}{(S + 3\lambda_n)(S + 2\lambda_n)}. \quad (4.86)$$

Для знаходження оригіналів функцій (4.84) і (4.86) використовують обернене перетворення Фур'є

$$P_0(t) = e^{-3\lambda_n t}; \quad (4.87)$$

$$P_1(t) = \frac{3\lambda_n}{3\lambda_n - 2\lambda_n} (e^{-2\lambda_n t} - e^{-3\lambda_n t}) = 3e^{-2\lambda_n t} - 3e^{-3\lambda_n t}. \quad (4.88)$$

З урахуванням отриманих виразів загальну ймовірність безпечної роботи і середній наробіток до небезпечної відмови відповідно визначають так:

$$P_0(t) = 3e^{-2\lambda_n t} - 2e^{-3\lambda_n t}; \quad (4.89)$$

$$\begin{aligned} T_{cp.n} &= \int_0^{\infty} P_0(t) dt = \frac{1}{S + 3\lambda_n} \Big|_{S=0} + \frac{3\lambda_n}{(S + 3\lambda_n)(S + 2\lambda_n)} \Big|_{S=0} = \\ &= \frac{1}{3\lambda_n} + \frac{1}{2\lambda_n} = \frac{5}{6\lambda_n} = \frac{5}{6} T_{cp.n1}. \end{aligned} \quad (4.90)$$

Інші показники функційної безпечності визначають за формулами взаємозв'язку (2.27), (2.29) і (2.33).

5. ВПЛИВ ПЕРІОДИЧНОГО КОНТРОЛЮ СПРАВНОСТІ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХ ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ

5.1. Загальні положення

Використання періодичного контролю справності елементів об'єкта і гарантована їх заміна змінює показники його надійності та функційної безпечності:

- в одноканальних структурах функційна безпечність об'єкта не змінюється, підвищується тільки його готовність.
- у резервованих об'єктах підвищується як функційна безпечність, так і готовність.

Розрахунок виконують за умови:

- до кінця періоду контролювання всі несправні елементи, які можуть призвести до відмови об'єкта, замінюються новими або об'єкт гарантовано вимикається з роботи (у разі розрахунку функційної безпечності);
- закон розподілу відмов у каналах резервування – експоненціальний;
- потік відмов об'єкта - найпростіший.

Використання ненавантажувального резервування для підвищення функційної безпечності об'єкта вимагає організації достовірного контролю і гарантованого перемикання його елементів на резерв, що в багатьох випадках важко здійснити. Тому, як правило, для підвищення функційної безпечності об'єкта використовують різні способи навантажувального резервування з періодичним контролем справності їх елементів.

5.2. Вплив періодичного контролю справності елементів на безвідмовність та функційну безпечність технічних засобів без резервування

При введенні періодичного контролю справності елементів об'єкта показники його безвідмовності та функційної безпечності не змінюються, а тільки підвищуються коефіцієнти готовності та коефіцієнти готовності об'єкта до безпечної роботи за рахунок зменшення тривалості відновлення об'єкта внаслідок скорочення часу сповіщення ремонтного персоналу про відмови і прискорення визначення елементів, що відмовили. Методику визначення цих показників наведено у п.п. 6.1, 6.2.

5.3. Розрахунок функційної безпечності технічних засобів у разі використання загального навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "І" та періодичного контролю справності елементів

При загальному навантажувальному резервуванні ймовірність небезпечної відмови всієї системи дорівнює

$$Q_n(t_k) = \prod_{i=1}^m Q_{nj}(t_k), \quad (5.1)$$

де m - число каналів резервування об'єкта;

$Q_{nj}(t_k)$ - ймовірність небезпечної відмови одного каналу резервування за час періодичного контролю t_k .

Для будь-яких законів розподілу відмов інші показники функційної безпечності визначають за формулами (2.27) - (2.33) і (2.35).

При експоненціальному законі розподілу небезпечних відмов у каналах резервування показники функційної безпечності визначають через інтенсивність небезпечних відмов резервованого об'єкта, що обчислюють за формулою (5.30), з урахуванням значення загальної ймовірності безпечної роботи

об'єкта (при однаковій функціональній безпеці каналів резервування) та її похідної за часом

$$\lambda_n(t) = \frac{m\lambda_{nj}e^{-\lambda_{nj}t}(1 - e^{-\lambda_{nj}t})^{m-1}}{1 - (1 - e^{-\lambda_{nj}t})^m} \quad (5.2)$$

При $\lambda_{nj} t \ll 1$, з урахуванням розкладання експоненціальної функції в ряд Фур'є й виконання заміни $e^{-\lambda_{nj}t} \approx 1 - \lambda_{nj}t$, одержують

$$\lambda_n(t) = \frac{m\lambda_{nj}(1 - \lambda_{nj}t)(\lambda_{nj}t)^{m-1}}{1 - (\lambda_{nj}t)^m}. \quad (5.3)$$

В цьому виразі добутки $\lambda_{nj}t$, $(\lambda_{nj}t)^m$ мають малі значення в порівнянні з одиницею (при $\lambda_{nj}t \ll 1$), тому ними нехтують.

Таким чином, функція інтенсивності небезпечних відмов об'єкта під час періоду контролю дорівнює

$$\lambda_n(t_k) \approx m\lambda_{nj}^m t_k^{m-1}, \quad (5.4)$$

де t_k - період контролю функціонування системи.

При навантажувальному дублюванні функція інтенсивності небезпечних відмов об'єкта під час періоду контролю дорівнює

$$\lambda_n(t_k) \approx 2\lambda_{nj}^2 t_k. \quad (5.5)$$

При загальному навантажувальному резервуванні для розрахунку показників безпеки за будь-який час експлуатації використовують не максимальне значення інтенсивності небезпечних відмов, що відповідає кінцю інтервалу часу періодичного контролю, а його середнє значення ($\lambda_{nj. cp} = \text{const}$), що обчислюють у такий спосіб:

$$\lambda_{nj.cp} = \frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} m \lambda_{nj}^m t_k^{m-1} dt = \lambda_{nj}^m t_k^{m-1}. \quad (5.6)$$

Якщо $\lambda_{nj.cp} = const$, тоді для розрахунку показників функційної безпечності резервованого об'єкта використовують формули взаємозв'язку, застосовувані для експоненціального розподілу небезпечних відмов. Тоді ймовірність безпечної роботи та ймовірність небезпечної відмови при використанні періодичного контролю обчислюють за формулами

$$P_0(t) = e^{-(\lambda_{nj}^m t_k^{m-1})t}; \quad (5.7)$$

$$Q_n(t) = 1 - e^{-(\lambda_{nj}^m t_k^{m-1})t}. \quad (5.8)$$

При $\lambda_{nj} t_k \ll 0,1$, з урахуванням розкладання експоненціальної функції у ряд Фур'є, ймовірність небезпечної відмови визначають так:

$$Q_n(t) = (\lambda_{nj}^m t_k^{m-1})t. \quad (5.9)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови визначають з урахуванням співвідношення (5.67)

$$T_{cp.n} \approx \frac{1}{\lambda_{nj}^m t_k^{m-1}}. \quad (5.10)$$

5.4. Розрахунок функційної безпечності технічних засобів у разі використання роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "і" та періодичного контролю справності елементів

При використанні роздільного навантажувального резервування визначають інтенсивності небезпечних відмов та ймовірності безпечної роботи для кожного з паралельних з'єднань об'єкта за формулами (5.6), (5.7). Після цього визначають інші показники функційної безпечності так, як і при послідовному з'єднанні елементів у РЛС ФБ, тобто за формулами (3.15) - (3.24).

Для найбільш розповсюдженого випадку, коли $\lambda_n t_k \ll 0,1$ загальна інтенсивність небезпечних відмов при роздільному резервуванні об'єкта дорівнює

$$\lambda_n(t) \approx \sum_{i=1}^n m_i \lambda_{in_j}^{m_i} t_k^{m_i-1}, \quad (5.11)$$

де m_i - число елементів у кожному i - паралельному з'єднанні;

λ_{in_j} - інтенсивність небезпечних відмов j -елементів в i -паралельних з'єднаннях;

t_k - період контролю функціонування об'єкта.

Формули для обчислення інших показників функційної безпечності визначають за формулами (3.20) - (3.23) або за методикою одержання формул (5.6) - (5.10).

5.5. Вплив періодичного контролю справності елементів на показники безвідмовності технічних засобів у разі загального та роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "і"

У разі загального та роздільного навантажувального резервування з розв'язувальним елементом "і" РЛСБ має вигляд послідовного з'єднання зображень елементів структури, тому використання періодичного контролю не змінює показники безвідмовності технічного засобу (відмова кожного елемента призводить до його загальної відмови і на її ймовірність впливає тільки інтенсивність відмов елементів і час експлуатації).

5.6. Розрахунок функційної безпечності і безвідмовності технічних засобів із мажоритарним резервуванням і періодичним контролем

Для визначення показників функційної безпечності і безвідмовності об'єкта у разі використання мажоритарного резервування спочатку розраховують інтенсивність небезпечних відмов за формулою (2.33), або інтенсивність відмов за формулою (2.14), а потім за формулами взаємозв'язку – інші необхідні показники.

Для найбільш поширеного варіанта мажоритарного резервування "2" із "3" інтенсивність небезпечних відмов об'єкта, з урахуванням формули (2.33), дорівнює

$$\lambda_{n.2/3}(t) = 3\lambda_{nj} \frac{1 - e^{-\lambda_{nj}t}}{1 - e^{-\lambda_{nj}t} + 0,5}. \quad (5.12)$$

Для більшості практичних випадків застосування об'єкта виконуються умови: $\lambda_{nj} t \ll 0,1$; $e^{-\lambda_{nj} t} \approx 1 - \lambda_{nj} t$; $\lambda_{nj} t \ll 0,5$, тому інтенсивність небезпечних відмов об'єкта визначають за спрощеною формулою

$$\lambda_{n.2/3}(t) \approx 6\lambda_{nj}^2 t_k. \quad (5.13)$$

Тоді середнє значення інтенсивності небезпечних відмов дорівнює

$$\lambda_{н.ср} = \frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} 3\lambda_{нj}^2 t_k dt = 3\lambda_{нj}^2 t_k . \quad (5.14)$$

Ймовірність безпечної роботи та ймовірність небезпечної відмови об'єкта, з урахуванням співвідношення (5.13) та незалежності інтенсивності небезпечних відмов у часі ($\lambda_{н.ср} = const$), визначають за формулами:

$$P_{\bar{0}}(t) = e^{-3(\lambda_{нj}^2 t_k)t}; \quad (5.15)$$

$$Q_n(t) = 1 - e^{-3(\lambda_{нj}^2 t_k)t}. \quad (5.16)$$

Ймовірність небезпечної відмови і середній наробіток до небезпечної відмови при найбільш поширеному випадку (при $\lambda_{нj} t_k \ll 0,1$), з урахуванням розкладання експоненціальної функції у ряд Фур'є, обчислюють за формулами:

$$Q_n(t) = 3(\lambda_{нj}^2 t_k)t; \quad (5.17)$$

$$T_{ср.н} \approx \frac{1}{3\lambda_{нj}^2 t_k}. \quad (5.18)$$

Інтенсивність та ймовірність небезпечних відмов при мажоритарному резервуванні з періодичним контролем в 3 рази більше, ніж при загальному навантажувальному дублюванні, а середній наробіток до небезпечної відмови відповідно в 3 рази менше (при $\lambda_{нj} t_k \ll 0,1$). Для порівняння цих показників функційної безпечності при загальному навантажувальному дублюванні та мажоритарному резервуванні необхідно в об'єкті з мажоритарним резервуванням забезпечити в 3 рази частіше контролювання справності їх елементів (безперечно, з їх гарантованою заміною або вимкненням усього технічного засобу при пошкодженні).

З урахуванням того, що функції безвідмовності й безпечності подібні при мажоритарному резервуванні "2" із "3" (для більшості випадків вони суттєво відрізняються), показники безвідмовності об'єкта розраховують за формулами (5.14) – (5.18), тільки в них замість показників функційної безпечності використовують показники безвідмовності.

6. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА ЇХ ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА БЕЗВІДМОВНІСТЬ

6.1. Вплив параметрів відновлення нерезервованих об'єктів на їх функційну безпечність

Для визначення показників функційної безпечності використовують методику згідно з п. 2.3.2 та складають граф безпечності (рис. 6.1).

Для порівняння параметрів відновлення і відмов об'єкта вводять додатковий показник – індекс відновлення безпечної роботи об'єкта $N_{вб} = \mu / \lambda_n$, який показує, в скільки разів інтенсивність відновлення більше, ніж інтенсивність небезпечних відмов об'єкта. Тоді інтенсивність відновлення дорівнює $\mu = N_{вб} \lambda_n$.

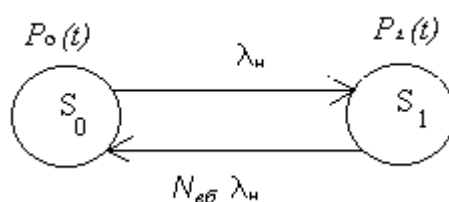


Рис. 6.1. Граф безпечності нерезервованого об'єкта

На рис. 6.1 позначено:

$P_0(t)$, $P_1(t)$ – відповідно ймовірності перебування об'єкта у станах S_0 і S_1 ;

λ_n , $\mu = N_{вб} \lambda_n$ – інтенсивності небезпечних відмов об'єкта і його відновлення.

При функціонуванні об'єкт може бути у таких станах:

S_0 – технічний засіб знаходиться у працездатному та безпечному стані з імовірністю $P_0(t)$;

S_1 – технічний засіб знаходиться у непрацездатному та небезпечному стані з імовірністю $P_1(t)$.

Імовірність безпечної роботи не залежить від показників відновлення, а залежить тільки від інтенсивності небезпечних відмов і тривалості експлуатації

$$P_0(t) = e^{-\lambda_n t}. \quad (6.1)$$

Імовірність та інтенсивність небезпечних відмов, середній наробіток до небезпечної відмови та щільність розподілу наробітку до небезпечної роботи визначають за формулами взаємозв'язку (5.12) - (5.14) і (5.30) і вони також не залежать від показників відновлення.

Імовірність безпечної роботи об'єкта не дорівнює ймовірності перебування його в небезпечному стані S_0 , яка є функцією готовності до безпечної роботи $K_0(t)$ і залежить як від інтенсивності небезпечних відмов і тривалості експлуатації об'єкта, так і від показників його відновлення. Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта дорівнює

$$K_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} K_0(t). \quad (6.2)$$

Для визначення функції $K_0(t)$ складають диференціальні рівняння Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_n P_0(t) + N_{00} \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -N_{00} \lambda_n P_1(t) + \lambda_n P_0(t) \end{cases} \quad (6.3)$$

Після заміни $P_I(t)=1 - P_O(t)$ у першому рівнянні воно має вигляд

$$\frac{dP_0(t)}{dt} + \lambda_n P_0(t) + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n P_0(t) = N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n. \quad (6.4)$$

Використовуючи пряме перетворення Лапласа з урахуванням нульових початкових умов $P(t=0)=1$; $P_I(t=0)=0$, послідовно одержують

$$S \cdot P_0(S) - 1 + \lambda_n P_0(S) + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n P_0(S) = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n}{S};$$

$$P_0(S)[S + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n] = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n}{S} + 1;$$

$$P_0(S) = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n}{S \cdot (S + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n)} + \frac{1}{S + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n} \quad (6.5)$$

Рівняння (6.4) подають у вигляді суми ($a = 0$; $b = \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n$):

$$P_0(s) = \frac{1}{(S + a)(S + b)^2} + \frac{1}{S + b}. \quad (6.6)$$

Використовуючи обернене перетворення Лапласа для цієї функції, одержують її оригінал

$$P_0(t) = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n}{N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n + \lambda_n} [1 - e^{-(\lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n)t}] + e^{-(\lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}} \lambda_n)t} \quad (6.7)$$

Після введення останнього доданка в дужки й множення його на дріб $\frac{1 + N_{\sigma\bar{\sigma}}}{N_{\sigma\bar{\sigma}}}$ оригінал функції готовності до безпечної роботи об'єкта буде мати вигляд

$$K_{\sigma}(t) = P_0(t) = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}}{1 + N_{\sigma\bar{\sigma}}} \left[1 + \frac{1}{N_{\sigma\bar{\sigma}}} e^{-(1 + N_{\sigma\bar{\sigma}}) \lambda_n t} \right]. \quad (6.8)$$

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта дорівнює

$$K_{\delta} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{\delta}(t) = \frac{N_{\delta\delta}}{1 + N_{\delta\delta}}. \quad (6.9)$$

При експоненціальних законах розподілу небезпечних відмов і тривалості відновлення об'єкта (при $\lambda_n = \frac{1}{T_{срн}}$; $\mu = \frac{1}{T_{\epsilon}}$)

$$K_{\delta} = \frac{T_{ср.н}}{T_{ср.н} + T_{\epsilon}}, \quad (6.10)$$

де $T_{ср.н}$ – середній наробіток об'єкта до небезпечної відмови;
 T_{ϵ} – середня тривалість відновлення об'єкта після виникнення небезпечної відмови.

Функція готовності, коефіцієнт готовності до безпечної роботи та ймовірність безпечної роботи об'єкта подані на рис.6.2.

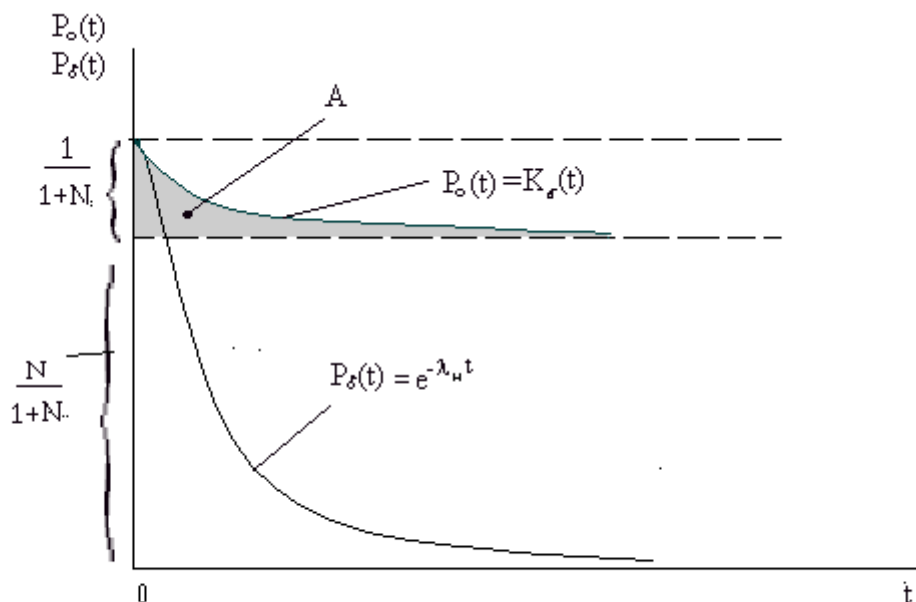


Рис. 6.2. Графіки функцій готовності та ймовірності безпечної роботи об'єкта

$$\text{Мінімальне значення } P_0(t) = \frac{N_{\text{об}}}{1 + N_{\text{об}}} = K_{\text{б}}$$

При великих значеннях $N_{\text{об}}$ можна приблизно вважати $K_{\text{б}}(t) = K_{\text{б}}$. Відносний час перебування системи в безпечному та небезпечному станах:

$$P(S_0) = K_{\text{б}} = \frac{N_{\text{об}}}{1 + N_{\text{об}}}, \quad (6.11)$$

$$P(S_1) = 1 - K_{\text{б}} = 1 - \frac{N_{\text{об}}}{1 + N_{\text{об}}} = \frac{1}{1 + N_{\text{об}}}. \quad (6.12)$$

Графік залежності $K_{\text{б}} = f(N_{\text{об}})$ наведений на рис. 6.3.

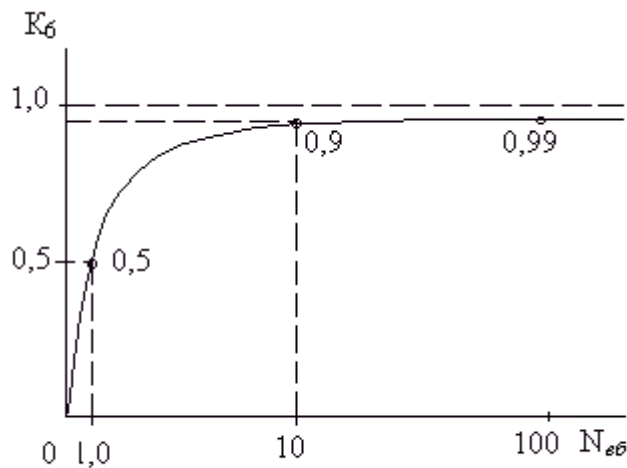


Рис.6.3. Графік залежності коефіцієнта безпеки від індексу відновлення об'єкта

Відношення ймовірностей перебування системи в безпечному й небезпечному станах дорівнює індексу відновлення

$$\alpha = \frac{P(S_0)}{P(S_1)} = N_{\text{об}}. \quad (6.13)$$

У технічних засобах без резервування прискорення відновлення призводить тільки до збільшення їхньої готовності до безпечної роботи. Зміна параметрів відновлення не змінює основні показники функційної безпечності таких об'єктів.

6.2 Вплив параметрів відновлення нерезервованих об'єктів на їх безвідмовність

При функціонуванні об'єкт може бути у таких станах:

S_0 – технічний засіб знаходиться у працездатному стані з імовірністю $P_0(t)$;

S_1 – технічний засіб знаходиться у непрацездатному стані з імовірністю $P_1(t)$.

Граф безвідмовності схожий на граф безпечності, має дві вершини та дві інтенсивності переходу (інтенсивність відмов і інтенсивність відновлення з працездатного стану). Тому результати розрахунку будуть схожими, тільки в них замість показників функційної безпечності будуть показники безвідмовності (відповідні індекси при показниках безвідмовності).

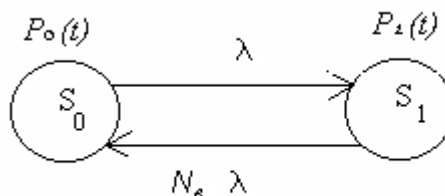


Рис. 6.4. Граф безвідмовності відновного об'єкта без резервування

Імовірність безвідмовної роботи об'єкта не залежить від показників відновлення, а залежить тільки від інтенсивності відмов і тривалості експлуатації

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (6.14)$$

Імовірність та інтенсивність відмов, середній наробіток до відмови та щільність розподілу наробітку до відмови визначають за формулами взаємозв'язку (2.5), (2.14) і (2.18) і вони також не залежать від показників відновлення.

Імовірність безвідмовної роботи об'єкта не дорівнює ймовірності перебування його в непрацездатному стані S_0 , яка є функцією готовності $K_2(t)$ і залежить як від інтенсивності відмов і тривалості експлуатації об'єкта, так і від показників його відновлення.

Після складання диференціальних рівнянь та їх розв'язання (подібно до визначення коефіцієнта безпечності) коефіцієнт готовності об'єкта дорівнює

$$K_2 = \lim_{t \rightarrow \infty} K_2(t) = \frac{N_e}{1 + N_e}, \quad (6.15)$$

де N_e – індекс відновлення, який показує, в скільки разів інтенсивність відновлення більше, ніж інтенсивність відмов об'єкта. $N_e = \mu/\lambda$, Тоді інтенсивність відновлення дорівнює $\mu = N_e \lambda$.

При експоненціальних законах розподілу небезпечних відмов і тривалості відновлення об'єкта (при $\lambda = \frac{1}{T_{cp}}; \mu = \frac{1}{T_e}$)

$$K_2 = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_e}, \quad (6.16)$$

де T_{cp} – середній наробіток об'єкта до відмови;

T_e – середня тривалість відновлення об'єкта після виникнення відмови.

У технічних засобах без резервування прискорення відновлення призводить тільки до збільшення їхньої готовності (що призводить, наприклад, до підвищення пропускної спроможності поїздів). Зміна параметрів відновлення не змінює показники безвідмовності таких об'єктів.

6.3. Розрахунок функційної безпечності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального і ненавантажувального дублювання

До мінімально можливих резервованих структур технічних засобів належать, у першу чергу, структури з навантажувальним і ненавантажувальним дублюванням (двоканальні структури). При використанні ненавантажувального дублювання необхідно враховувати зауваження, які наведено у п.п. 2.6, 2.7.

6.3.1. Розрахунок функційної безпечності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "і"

Розрахунково–логічна схема й граф безпечності для експоненціального закону розподілу небезпечних відмов ($\lambda_n = \text{const}$) наведені відповідно на рис 6.4, а, б.

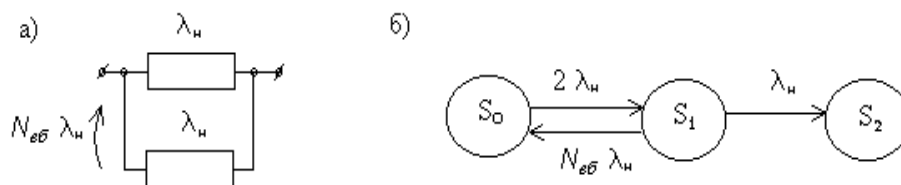


Рис. 6.5. Розрахунково–логічна схема й граф безпечності відновного об'єкта при навантажувальному дублюванні

Небезпечна відмова системи настає тоді, коли відбудеться небезпечна відмова кожного з каналів резервування.

Імовірність небезпечної відмови дорівнює ймовірності перебування об'єкта у стані S_2 :

$$Q_H(t) = P_2(t).$$

Імовірність безпечної роботи дорівнює сумі ймовірностей перебування об'єкта у станах S_0 і S_1 :

$$P_{\bar{0}}(t) = P_0(t) + P_1(t).$$

Для визначення ймовірностей $P_0(t)$, $P_1(t)$ і $P_2(t)$ складають систему диференціальних рівнянь Колмогорова, яка з урахуванням співвідношення $N_{\bar{0}} = \mu/\lambda_H$ має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -2\lambda_H P_0(t) + N_{\bar{0}}\lambda_H P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = 2\lambda_H P_0(t) - \lambda_H P_1(t) - N_{\bar{0}}\lambda_H P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_H P_1(t). \end{cases} \quad (6.17)$$

Після прямого перетворення Лапласа, з урахуванням нульових початкових умов: $P_0(t=0)=1$, $P_1(t=0)=P_2(t=0)=0$, одержують

$$\begin{cases} s \cdot P_0(s) - 1 = -2\lambda_H P_0(s) + N_{\bar{0}}\lambda_H P_1(s); \\ s \cdot P_1(s) = 2\lambda_H P_0(s) - \lambda_H P_1(s) - N_{\bar{0}}\lambda_H P_1(s); \\ s \cdot P_2(s) = \lambda_H P_1(s). \end{cases} \quad (6.18)$$

Спочатку виконують перетворення першого рівняння системи (6.18)

$$P_0(s)[s+2\lambda_n] = N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n P_1(s) + 1;$$

$$P_0(s) = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + 2\lambda_n}. \quad (6.19)$$

Підставляючи отриманий вираз у друге рівняння системи (6.18), одержують

$$s \cdot P_1(s) = 2\lambda_n \left[\frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + 2\lambda_n} \right] - (\lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n) \cdot P_1(s).$$

Звідси

$$(s + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n) \cdot P_1(s) = 2\lambda_n \left[\frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + 2\lambda_n} \right];$$

$$[(s + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n) \cdot (s + 2\lambda_n) - 2\lambda_n N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n] \cdot P_1(s) = 2\lambda_n;$$

$$P_1(s) = \frac{2\lambda_n}{[(s + \lambda_n + N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n) \cdot (s + 2\lambda_n) - 2\lambda_n N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n]}. \quad (6.20)$$

Після заміни в третьому рівнянні системи (6.15) зображення $P_1(s)$ на вираз (6.17) воно матиме вигляд

$$P_2(s) = \frac{\lambda_n}{s} \cdot \frac{\lambda_n}{s^2 + (N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + 2\lambda_n^2} = \frac{\lambda_n^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + 2\lambda_n^2]}. \quad (6.21)$$

Далі позначають через S_1, S_2 корені квадратного рівняння знаменника $P_2(s)$, які визначають у такий спосіб:

$$S_{1,2} = -\frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n + 3\lambda_n}{2} \pm \sqrt{\frac{(N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n)^2 + 6\lambda_n^2 N_{\sigma\bar{\sigma}} + \lambda_n^2}{4}}$$

або

$$S_1 = -\left(\frac{(N_{\sigma\bar{\sigma}} + 3) + \sqrt{N_{\sigma\bar{\sigma}}^2 + 6N_{\sigma\bar{\sigma}} + 1}}{2} \right) \lambda_n;$$

$$s_2 = - \left(\frac{(N_{\text{сб}} + 3) - \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2} \right) \lambda_n.$$

З урахуванням уведених позначень вираз (6.18) буде мати вигляд

$$P_2(s) = \frac{2\lambda_n^2}{s \cdot (s - s_1) \cdot (s - s_2)}.$$

Після використання оберненого перетворення Лапласа для рівняння $P_2(s)$ одержують формулу для визначення ймовірності небезпечної відмови об'єкта

$$Q_n(t) = 1 - \frac{(N_{\text{сб}} + 3) + \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2\sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}} e^{-\frac{(N_{\text{сб}}+3) - \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2} \lambda_n t} - \frac{(N_{\text{сб}} + 3) - \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2\sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}} e^{-\frac{(N_{\text{сб}}+3) + \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2} \lambda_n t}. \quad (6.22)$$

Звідси одержують імовірність безпечної роботи об'єкта:

$$P_o(t) = 1 - Q_n(t) = \frac{(N_{\text{сб}} + 3) + \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2\sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}} e^{-\frac{(N_{\text{сб}}+3) - \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2} \lambda_n t} - \frac{(N_{\text{сб}} + 3) - \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2\sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}} e^{-\frac{(N_{\text{сб}}+3) + \sqrt{N_{\text{сб}}^2 + 6N_{\text{сб}} + 1}}{2} \lambda_n t}$$

Після перетворення першого показника ступеня (при $\lambda_n t$) шляхом помноження та ділення на однаковий сполучений доданок отримаємо

$$P_{\bar{o}}(t) = \frac{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 3) + \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}}{2\sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}} e^{-\frac{4}{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 3) + \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}} \lambda_n t} - \frac{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 3) - \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}}{2\sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}} e^{-\frac{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 3) + \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1}}{2} \lambda_n t}. \quad (6.23)$$

Для більшості практичних випадків (при $N_{\bar{o}\bar{o}} > 100$), коли

$$(N_{\bar{o}\bar{o}} + 3) \approx \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 6N_{\bar{o}\bar{o}} + 1},$$

імовірність безпечної роботи дорівнює

$$P_{\bar{o}}(t) = e^{-\frac{2\lambda_n}{N_{\bar{o}\bar{o}} + 3} t}. \quad (6.24)$$

Для визначення середнього наробітку до небезпечної відмови використовують рівняння ймовірності безпечної роботи

$$P_{\bar{o}}(t) = 1 - P_2(t). \quad (6.25)$$

Після прямого перетворення Лапласа рівняння (6.25) одержують

$$P_{\bar{o}}(s) = \frac{1}{s} - P_2(s) = \frac{1}{s} - \frac{2\lambda_n^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + 2\lambda_n^2]}. \quad (6.26)$$

З урахуванням приведення виразу (6.23) до загального знаменника зображення функції безпеки буде мати вигляд

$$P_{\bar{o}}(s) = \frac{s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + \lambda_n^2 - \lambda_n^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + 2\lambda_n^2]} = \frac{3\lambda_n + N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_n + s}{s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_n + 3\lambda_n) \cdot s + 2\lambda_n^2}. \quad (6.27)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови визначають з урахуванням формули (2.35)

$$T_{cp.n} = \int_0^{\infty} P_o(t) dt = P_o(s)|_{s=0}. \quad (6.28)$$

Після заміни в рівнянні (6.28) зображення ймовірності безпечної роботи на вираз (6.27) і проведення відповідних перетворень, отримують спрощену формулу для визначення середнього наробітку до небезпечної відмови:

$$T_{cp.n} = \frac{N_{вб} \lambda_n + 3 \lambda_n}{2 \lambda_n^2} = \frac{N_{вб} + 3}{2 \lambda_n} \quad (6.29)$$

або, з урахуванням уведення індексу відновлення безпечної роботи об'єкта $N_{вб} = \mu / \lambda_n = T_{cp.n} / T_{вб}$, одержують

$$T_{cp.n} = (0,5 N_{вб} + 1,5) T_{cp.nj}, \quad (6.30)$$

де - $T_{cp.nj}$ - середній наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування.

При великих значеннях індексу $N_{вб}$ ($N_{вб} > 200$) збільшення середнього наробітку до небезпечної відмови при введенні навантажувального дублювання залежить практично тільки від співвідношення інтенсивності відновлення та інтенсивності небезпечних відмов каналів резервування (індексу відновлення $N_{вб}$)

$$T_{cp.n} = 0,5 N_{вб} T_{cp.nj}. \quad (6.31)$$

Для цього випадку використовують також рівноцінну формулу

$$T_{cp.n} \approx \frac{0,5 T_{cp.nj}^2}{T_v}. \quad (6.32)$$

Для визначення коефіцієнта безпеки K_{σ} використовують граф стану об'єкта (рис. 6.4), у якому додається ребро графа S_2-S_1 . При відсутності відновлення, у випадку перебування системи в стані S_2 , коефіцієнт безпеки $K_{\sigma} = 0$. Це обумовлено тим, що коли є навіть мінімальна ймовірність переходу системи в стан небезпечної відмови, час перебування системи в цьому стані без відновлення буде дорівнювати нескінченності.

Коефіцієнт готовності об'єкта до безпечної роботи визначається в сталому режимі його роботи, тому систему диференціальних рівнянь перетворюють у систему алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} 0 = -2\lambda_n P_0 + N_{\sigma} \lambda_n P_1; \\ 0 = 2\lambda_n P_0 - (\lambda_n + N_{\sigma} \lambda_n) P_1 + N_{\sigma} \lambda_n P_2; \\ 0 = \lambda_n P_1 - N_{\sigma} \lambda_n P_2. \end{cases} \quad (6.33)$$

Розв'язання системи (6.33) виконують з урахуванням додаткової умови

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1. \quad (6.34)$$

З першого та третього рівнянь системи (6.30) отримаємо:

$$P_0 = \frac{N_{\sigma} \lambda_n}{2\lambda_n} P_1 = \frac{N_{\sigma} P_1}{2}; \quad (6.35)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_n}{N_{\sigma} \lambda_n} P_1 = \frac{1}{N_{\sigma}} P_1; \quad (6.36)$$

$$P_1 = N_{\sigma} P_2. \quad (6.37)$$

Підставляючи вирази (6.35)–(6.37) у рівняння (6.34) і, розв'язуючи його, одержують

$$P_1 = \frac{2N_{\text{вб}}}{N_{\text{вб}}^2 + 2N_{\text{вб}} + 2}. \quad (6.38)$$

З урахуванням виразів (6.35) і (6.36)

$$P_0 = \frac{N_{\text{вб}}^2}{N_{\text{вб}}^2 + 2N_{\text{вб}} + 2}; \quad (6.39)$$

$$P_2 = \frac{2}{N_{\text{вб}}^2 + 2N_{\text{вб}} + 2}. \quad (6.40)$$

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта визначається сумою ймовірностей перебування системи в безпечних станах (S_0, S_1)

$$K_6 = P_0 + P_1 = \frac{N_{\text{вб}}^2 + 2N_{\text{вб}}}{N_{\text{вб}}^2 + 2N_{\text{вб}} + 2}. \quad (6.41)$$

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта з навантажувальним дублюванням залежить тільки від індексу відновлення каналів резервування і підвищується при його збільшенні.

6.3.2. Розрахунок безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "і"

Граф безвідмовності у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "і" для експоненціального закону розподілу відмов ($\lambda = \text{const}$) наведено на рис. 6.6.

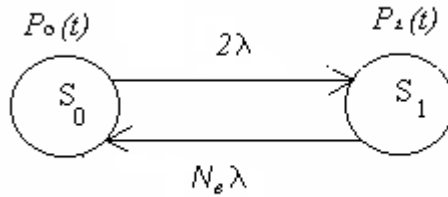


Рис. 6.6. Граф безвідмовності у разі використання навантажувального дублювання з розв'язувальним елементом "і"

Захисна відмова системи настає тоді, коли відбудеться відмова будь-якого з двох каналів резервування, тому усі показники її безвідмовності зменшуються у порівнянні з одноканальною структурою.

Імовірність безвідмовної роботи системи дорівнює

$$P(t) = e^{-2\lambda t}. \quad (6.42)$$

Середній наробіток до відмови зменшується в 2 рази у порівнянні з одноканальною структурою.

У разі використання такої структури прискорення відновлення:

- не змінює показники безвідмовності таких об'єктів;
- призводить до збільшення готовності об'єктів, але у порівнянні з одноканальною структурою готовність зменшується з підвищенням індексу відновлення (при великих значеннях N_e у 2 рази).

Підвищення кількості каналів резервування об'єктів у разі прискорення (як і зменшення) тривалості відновлення не змінює показники безвідмовності, але у разі однакової тривалості відновлення зменшує готовність їх до працездатного стану.

6.3.3 Розрахунок функційної безпеки відновлюваних технічних засобів у разі використання ненавантажувального дублювання

Розрахунково–логічна схема і граф безпеки об'єкта з ненавантажувальним резервуванням наведені відповідно на рис. 6.7, а,б.

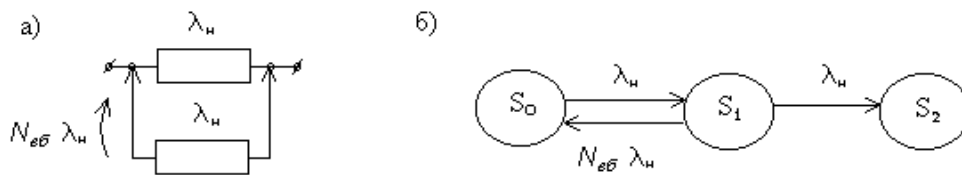


Рис. 6.7. Розрахунково–логічна схема й граф безпеки об'єкта при ненавантажувальному дублюванні

Небезпечна відмова системи настає тоді, коли в процесі формування небезпечної відмови основного об'єкта виникне переключення його на резерв і після цього він небезпечно відмовить. Для визначення показників функційної безпеки складають систему диференціальних рівнянь Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_n P_0(t) + N_{об} \lambda_n P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_n P_0(t) - N_{об} \lambda_n P_1(t) - \lambda_n P_2(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_n P_1(t). \end{cases} \quad (6.43)$$

Після прямого перетворення Лапласа, з урахуванням нульових початкових умов $P_0(0)=1$, $P_1(0)=P_2(0)=0$, одержують

$$\begin{cases} s \cdot P_0(s) - 1 = -\lambda_n P_0(s) + N_{\sigma} \lambda_n P_1(s); \\ s \cdot P_1(s) = \lambda_n P_0(s) - \lambda_n P_1(s) - N_{\sigma} \lambda_n P_1(s); \\ s \cdot P_2(s) = \lambda_n P_1(s). \end{cases} \quad (6.44)$$

Розв'язання першого рівняння системи (6.44) призводить до такого результату:

$$P_0(s) = \frac{N_{\sigma} \lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + \lambda_n}. \quad (6.45)$$

Підставляючи отриманий вираз у друге рівняння системи (6.44), послідовно одержують

$$\begin{aligned} s \cdot P_1(s) &= \lambda_n \left[\frac{N_{\sigma} \lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + \lambda_n} \right] - (\lambda_n + N_{\sigma} \lambda_n) \cdot P_1(s); \\ (s + \lambda_n + N_{\sigma} \lambda_n) \cdot P_1(s) &= \lambda_n \left[\frac{N_{\sigma} \lambda_n \cdot P_1(s) + 1}{s + \lambda_n} \right]; \\ [(s + \lambda_n + N_{\sigma} \lambda_n) \cdot (s + \lambda_n) - \lambda_n N_{\sigma} \lambda_n] \cdot P_1(s) &= \lambda_n; \\ P_1(s) &= \frac{\lambda_n}{[(s + \lambda_n + N_{\sigma} \lambda_n) \cdot (s + \lambda_n) - \lambda_n N_{\sigma} \lambda_n]}. \end{aligned} \quad (6.46)$$

Після перетворення третього рівняння системи (6.44) та заміни в ньому рівняння (6.46) одержують

$$P_2(s) = \frac{\lambda_n}{s} \cdot P_1(s); \quad (6.47)$$

$$P_2(s) = \frac{\lambda_n}{s} \cdot \frac{\lambda_n}{s^2 + (N_{\sigma} \lambda_n + 2\lambda_n) \cdot s + \lambda_n^2} = \frac{\lambda_n^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\sigma} \lambda_n + 2\lambda_n) \cdot s + \lambda_n^2]}. \quad (6.48)$$

Для знаходження оригіналу функції (6.44) через S_1 , S_2 позначають корені квадратного рівняння її знаменника, які визначають у такий спосіб:

$$s_{1,2} = -\frac{\lambda_n (N_{\text{об}} + 2)}{2} \pm \frac{\lambda_n \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2}, \quad (6.49)$$

або

$$s_1 = -\left(\frac{(N_{\text{об}} + 2) + \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \right) \lambda_n;$$

$$s_2 = -\left(\frac{(N_{\text{об}} + 2) - \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \right) \lambda_n.$$

Тоді

$$P_2(s) = \frac{\lambda_n^2}{s \cdot (s - s_1) \cdot (s - s_2)}. \quad (6.50)$$

Використання оберненого перетворення Лапласа дозволяє визначити оригінал функції (6.50) і відповідно ймовірність небезпечної відмови об'єкта з ненавантажувальним дублюванням

$$Q_n(t) = P_2(t) = 1 - \frac{(N_{\text{об}} + 2) + \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2\sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}} e^{-\frac{(N_{\text{об}} + 2) - \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \lambda t} -$$

$$- \frac{(N_{\text{об}} + 2) - \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2\sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}} e^{-\frac{(N_{\text{об}} + 2) + \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \lambda t}. \quad (6.51)$$

Загальну ймовірність безпечної роботи об'єкта визначають за формулою

$$P_{\text{об}}(t) = 1 - Q_n(t) = \frac{(N_{\text{об}} + 2) + \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2\sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}} e^{-\frac{(N_{\text{об}} + 2) - \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \lambda t} -$$

$$- \frac{(N_{\text{об}} + 2) - \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2\sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}} e^{-\frac{(N_{\text{об}} + 2) + \sqrt{N_{\text{об}}^2 + 4N_{\text{об}}}}{2} \lambda t}. \quad (6.52)$$

Після перетворення першого показника ступеня (при λt) шляхом помноження та ділення на однаковий сполучений доданок отримаємо

$$P_{\bar{o}}(t) = \frac{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 2) + \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}}{2\sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}} e^{-\frac{(N_{\bar{o}\bar{o}}+2) + \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}}{2} \lambda_H t} - \frac{(N_{\bar{o}\bar{o}} + 2) - \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}}{2\sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}} e^{-\frac{(N_{\bar{o}\bar{o}}+2) - \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}}}{2} \lambda_H t}. \quad (6.53)$$

Для більшості практичних випадків (при $N_{\bar{o}\bar{o}} > 100$), коли

$$(N_{\bar{o}\bar{o}} + 2) \approx \sqrt{N_{\bar{o}\bar{o}}^2 + 4N_{\bar{o}\bar{o}}},$$

імовірність безпечної роботи дорівнює

$$P_{\bar{o}}(t) = e^{-\frac{\lambda_H}{N_{\bar{o}\bar{o}}+2} t}. \quad (6.54)$$

Для визначення середнього наробітку до небезпечної відмови використовують таке співвідношення:

$$P_{\bar{o}}(t) = 1 - P_2(t).$$

Використовуючи пряме перетворення Лапласа, послідовно одержують

$$P_{\bar{o}}(s) = \frac{1}{s} - P_2(s) = \frac{1}{s} - \frac{\lambda_H^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_H + 2\lambda_H) \cdot s + \lambda_H^2]};$$

$$P_{\bar{o}}(s) = \frac{s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_H + 2\lambda_H) \cdot s + \lambda_H^2 - \lambda_H^2}{s \cdot [s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_H + 2\lambda_H) \cdot s + \lambda_H^2]} = \frac{2\lambda_H + N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_H + s}{s^2 + (N_{\bar{o}\bar{o}}\lambda_H + 2\lambda_H) \cdot s + \lambda_H^2}. \quad (6.55)$$

Середній наробіток до небезпечної відмови визначають з урахуванням формули (2.35)

$$T_{cp.n} = \int_0^{\infty} P_{\sigma}(t) dt = P_{\sigma}(s)|_{s=0}. \quad (6.56)$$

Після перетворень одержують

$$T_{cp.n} = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}}\lambda_n + 2\lambda_n}{\lambda_n^2} = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} + 2}{\lambda_n} \quad (6.57)$$

З урахуванням співвідношення $T_{cp.n1} = 1/\lambda_n$

$$T_{cp.n} = (N_{\sigma\bar{\sigma}} + 2)T_{n1}. \quad (6.58)$$

При великих значеннях N_{σ} ($N_{\sigma} > 100$) уведення ненавантажувального резервування прямо пропорційне індексу відновлення $N_{\sigma\bar{\sigma}}$

$$T_{cp.n} = N_{\sigma\bar{\sigma}}T_{cp.n1}. \quad (6.59)$$

Для розрахунку використовують рівноцінну формулу

$$T_{cp.n} \approx \frac{T_{cp.n1}^2}{T_{\sigma\bar{\sigma}}}. \quad (6.60)$$

Збільшення середнього наробітку до небезпечної відмови об'єкта при використанні ненавантажувального дублювання, у порівнянні з навантажувальним дублюванням, визначають таким чином:

$$\gamma_n(t) = \frac{T_{cp.n..нд}}{T_{cp.n.нд}} = \frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} + 2}{\frac{N_{\sigma\bar{\sigma}} + 3}{2}} = \frac{2N_{\sigma} + 4}{N_{\sigma} + 3}. \quad (6.61)$$

Значення функції $\gamma_n(t)$ змінюються в діапазоні від $\gamma_n(t)=1,33$ (при $N_{\sigma} \rightarrow 0$) до 2 (при $N_{\sigma\bar{\sigma}} \rightarrow \infty$).

При великих значеннях $N_{\text{вб}}$ ($N_{\text{вб}} > 50$) підвищення середнього наробітку до небезпечної відмови при ненавантажувальному дублюванні практично у два рази більше, ніж при навантажувальному дублюванні.

Для визначення коефіцієнта готовності до безпечної роботи об'єкта використовують граф стану системи (рис. 6.6), у який додається ребро графа $S_2 - S_1$.

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта визначається в сталому режимі його роботи, тому систему диференціальних рівнянь перетворюють у систему алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} 0 = -\lambda_n P_0 + N_{\text{вб}} \lambda_n P_1; \\ 0 = \lambda_n P_0 - (\lambda_n + N_{\text{вб}} \lambda_n) P_1 + N_{\text{вб}} \lambda_n P_2; \\ 0 = \lambda_n P_1 - N_{\text{вб}} \lambda_n P_2. \end{cases} \quad (6.62)$$

Додаткове рівняння

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1. \quad (6.63)$$

З першого та третього рівнянь системи (6.58) одержують

$$P_0 = \frac{N_{\text{вб}} \lambda_n}{\lambda_n} P_1 = N_{\text{вб}} P_1; \quad (6.64)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_n}{N_{\text{вб}} \lambda_n} P_1 = \frac{1}{N_{\text{вб}}} P_1. \quad (6.65)$$

Після підстановки виразів (6.64) і (6.65) у рівняння (6.63) одержують

$$N_{\text{вб}} P_1 + P_1 + \frac{1}{N_{\text{вб}}} P_1 = 1.$$

Звідси одержують імовірність перебування об'єкта у стані S_1 (безпечному та непрацездатному стані):

$$P_1 = \frac{N_{\text{об}}}{N_{\text{об}}^2 + N_{\text{об}} + 1}. \quad (6.66)$$

З урахуванням виразів (6.64) і (6.65) імовірності перебування об'єкта у станах S_0 (безпечному та працездатному стані) та S_2 (небезпечному стані) у сталому режимі дорівнюють

$$P_0 = \frac{N_{\text{об}}^2}{N_{\text{об}}^2 + N_{\text{об}} + 1}; \quad (6.67)$$

$$P_2 = \frac{1}{N_{\text{об}}^2 + N_{\text{об}} + 1}. \quad (6.68)$$

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта визначають шляхом додавання ймовірностей перебування системи в безпечних станах (S_0, S_1):

$$K_{\text{об}} = P_0 + P_1 = \frac{N_{\text{об}}^2 + N_{\text{об}}}{N_{\text{об}}^2 + N_{\text{об}} + 1}. \quad (6.69)$$

Коефіцієнт готовності до безпечної роботи об'єкта також залежить тільки від індексу відновлення та підвищується з його збільшенням.

У разі використання ненавантажувального дублювання об'єктів і прискорення їх відновлення суттєво підвищується як їх функційна безпечність, так і їх готовність до безпечної роботи. Підвищення кількості каналів резервування ще більше покращує ці показники.

6.3.4. Розрахунок безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання ненавантажувального дублювання

Граф безвідмовності має вигляд, що подібний графу безпечності об'єкта з ненавантажувальним дублюванням, тільки в ньому замість інтенсивності небезпечних відмов треба використовувати інтенсивність відмов, а замість індексу відновлення з небезпечного стану – індекс відновлення з працездатного стану об'єкта.

Показники безвідмовності для такої структури розраховуються за формулами п. 6.3.3, тільки в них замість показників функційної безпечності використовують відповідні показники безвідмовності.

У разі використання ненавантажувального дублювання об'єктів і прискорення їх відновлення суттєво підвищується як їх безвідмовність, так і їх готовність. Підвищення кількості каналів резервування ще покращує ці показники.

6.3.5 Розрахунок показників функційної безпечності і безвідмовності відновлюваних технічних засобів у разі використання дублювання

Імовірність небезпечної відмови для відновлюваного технічного засобу у разі використання навантажувального та ненавантажувального дублювання можна визначити з виразу (6.53) і розраховувати за такою формулою

$$Q_n(t) = 1 - \frac{a+b}{2a} \cdot e^{-\frac{1}{2}(b-a)t} + \frac{b-a}{2a} \cdot e^{-\frac{1}{2}(a+b)t}, \quad (6.70)$$

де $b = \mu + 3\lambda_{nj}$; $a = \sqrt{\mu^2 + 6\lambda_{nj}\mu + \lambda_{nj}^2}$ (для навантажувального резервування);

$b = \mu + 2\lambda_{nj}$; $a = \sqrt{\mu^2 + 4\lambda_{nj}\mu}$ (для ненавантажувального резервування);

- λ_{nj} – інтенсивність небезпечних відмов одноканальної структури;
- μ – інтенсивність відновлення заданого пристрою, яка визначається таким чином: $\mu=1/T_{\epsilon}$, де T_{ϵ} – середній час відновлення.

Розрахунок мінімального значення інтенсивності відновлення об'єкта виконують методом послідовного наближення, підставляючи у вираз (6.70) різні значення інтенсивності відновлення до того, поки не буде одержано значення допустимої ймовірності небезпечної відмови.

Згідно з ДСТУ 4178, для технічних засобів керування й регулювання руху поїздів регламентується ймовірність небезпечної роботи за кожен час експлуатації $Q_{н.дон}(t)/(t) = A$, тому для визначення $Q_{н.дон}(t)$ необхідно норматив функційної безпечності A помножити на час роботи заданого пристрою, тобто $Q_{н.дон}(t) = A t$.

При загальному та роздільному навантажувальному резервуванні з розв'язувальним елементом "і" РЛСБ має вигляд послідовного з'єднання зображень елементів структури, тому зміна тривалості їх відновлення не змінює показники безвідмовності технічного засобу (відмова кожного елемента призводить до його загальної відмови і на ймовірність її виникнення впливає тільки інтенсивність відмов елементів і час експлуатації).

У разі використання ненавантажувального дублювання відновлюваних технічних засобів характеристики відновлення суттєво впливають на безвідмовність, а розрахунок їх показників виконують за формулою (6.70), у якій замість інтенсивності небезпечних відмов одноканальної структури підставляють її інтенсивність відмов. Потім визначають інші необхідні показники безвідмовності технічного засобу за формулами взаємозв'язку (2.5, (2.14) і (2.18). Так, середній наробіток до відмови для відновлюваної системи при ненавантажувальному дублюванні дорівнює:

$$T_{cp} = \frac{\mu + 2\lambda}{\lambda^2}, \quad (6.71)$$

де λ – інтенсивність відмов одноканальної структури.

Або, з урахуванням співвідношень $\mu = 1/T_e$, $\lambda = 1/T_{cpj}$,

$$T_{cp} = \frac{T_{cpj}^2}{T_e} + 2T_{cpj}, \quad (6.72)$$

де T_{cpj} – середній наробіток до відмови одноканальної структури;

T_e – середній час відновлення.

У більшості випадків $T_{cpj} \gg T_e$. Тоді середній наробіток до відмови відновлюваної системи при ненавантажувальному дублюванні дорівнює

$$T_{cp} = \frac{T_{cpj}^2}{T_e}. \quad (6.73)$$

Зменшення часу відновлення технічних засобів при навантажувальному загальному та роздільному резервуванні значно підвищує тільки функційну безпечність і не змінює безвідмовність; при ненавантажувальному резервуванні значно підвищує як їх функційну безпечність, так і безвідмовність.

6.4. Розрахунок безвідмовності та функційної безпечності відновлюваних резервованих технічних засобів із періодичним контролем справності їх елементів

При використанні періодичного контролю справності елементів у технічних засобах із резервуванням і відновленням показники його безвідмовності та функційної безпечності визначаються згідно з 6.2 – 6.3, з урахуванням змінення

середнього часу відновлення об'єкта, що зменшується на величину скорочення часу сповіщення ремонтного персоналу про відмови та визначення елементів, що відмовили. Зменшення середнього часу відновлення призводить до підвищення інтенсивності та індексу відновлення і відповідно усіх показників безвідмовності та функційної безпечності тільки для об'єктів, які мають відповідні графи з кількістю вершин більше двох. Для інших об'єктів у цьому випадку змінюється тільки їх готовність до безвідмовної та безпечної роботи.

7. НОРМУВАННЯ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ І НАДІЙНОСТІ

7.1. Основні терміни та визначення

Нормування функційної безпечності – встановлення у нормативній та (чи) конструкторській (проектній) документації кількісних і якісних вимог до функційної безпечності.

Нормований показник функційної безпечності – показник функційної безпечності, значення якого регламентовано нормативною та (або) конструкторською (проектною) документацією на об'єкта.

Концепція функційної безпечності – сукупність положень, відповідно до яких створюють об'єкт із заданими вимогами функційної безпечності.

Рівень функційної безпечності – сукупність певних граничних значень показників функційної безпечності, яких можна чи треба дотримуватися.

Програма досягнення функційної безпечності – документ, що встановлює комплекс взаємозалежних організаційно–технічних вимог і заходів, що підлягають проведенню на стадіях життєвого циклу об'єкта і спрямованих на досягання заданих показників функційної безпечності

Нормування надійності – установлення у нормативній та (чи) конструкторській (проектній) документації кількісних і якісних вимог до надійності.

Програма забезпечення надійності – документ, що встановлює комплекс взаємозалежних організаційно–технічних вимог і заходів, які належить проводити на певних етапах життєвого циклу об’єкта і спрямованих на забезпечення заданих вимог до надійності та (або) на підвищення надійності.

7.2. Загальні вимоги до технічних засобів, що виконують функції безпеки

Технічні засоби повинні відповідати вимогам національних стандартів ДСТУ 4151, ДСТУ 4178, технічного завдання (ТЗ) і/або технічних умов на виготовлення (ТУ), а також документації, зазначеної в ТУ.

Залежно від призначеності КТЗ (комплекс технічних засобів), їх конструктивних особливостей, складу комплектувальних елементів, технології виготовлення та інших особливостей до них встановлюють вимоги з такого ряду, які треба наводити в ТЗ на розроблення і/або ТУ на виготовлення КТЗ:

- вимоги до функційної безпечності КТЗ за відсутності його пошкоджень і дії дестабілізуючих чинників;
- вимоги до функційної безпечності КТЗ за наявності відмов елементів і пристроїв його структури та інших пристроїв, які можуть впливати на безпечний стан КТЗ;
- вимоги до функційної безпечності КТЗ за його реконфігурації та змін структури, за помилкових дій оператора та персоналу, що виконує дії з обслуговування та ремонту КТЗ;
- вимоги до функційної безпечності КТЗ під час впливу електромагнітних завад, кліматичних, механічних та інших чинників;
- вимоги до надійності.

Технічні засоби за відсутності в них пошкоджень і дії дестабілізуючих чинників не повинні мати небезпечного стану: у визначених режимах функціонування і технологічних ситуаціях; а також у разі змінення допустимих режимів роботи пристроїв, що не входять до складу КТЗ, але впливають на їхню роботу.

Перелік визначених режимів функціонування КТЗ, технологічних ситуацій і режимів роботи пристроїв, що не входять до складу КТЗ, вказують в методиках випробовувань на безпечність КТЗ конкретного призначення. Технічні засоби не повинні мати небезпечних станів за допустимих змін параметрів вхідних сигналів, а також за допустимих відхилів технологічних параметрів і метрологічних допусків.

Технологічні ситуації визначаються: місцем розташування поїздів, їхньою кількістю, видом і швидкістю руху; станом об'єктів контролювання та керування, зокрема справністю чи несправністю рейкових кіл, світлофорних ламп та інших елементів контролювання; діями оперативного персоналу.

До складу показників призначення КТЗ треба долучати кількісні і якісні вимоги з функційної безпечності. У Технічному завданні (ТЗ) на розроблення КТЗ їх фіксують у підрозділі “Номенклатура і значення показників функційної безпечності”, а в ТУ – у розділі “Технічні вимоги”. На початку розроблення КТЗ складають документ “Концепція і програма досягнення функційної безпечності й надійності”, в якому враховують вимоги ДСТУ 2863.

Значення показників функційної безпечності встановлюють для режимів і умов експлуатації, зазначених у ТУ (стандартах) на виготовлення КТЗ конкретних видів.

Встановлюючи показники функційної безпечності в ТУ на КТЗ конкретних видів, указують критерії їхніх граничних станів і небезпечних відмов, що можуть призвести до порушення умов безпеки руху поїздів, небезпечного впливу на людей та довкілля, значного матеріального чи іншого збитку.

У стандартах і/або ТУ на КТЗ конкретних видів зазначають, чи КТЗ відновлюється чи не відновлюється, має резервування чи ні. У них треба встановлювати показники функційної безпечності для:

- КТЗ в цілому, зокрема з урахуванням варіантів структур резервованих КТЗ, що допускають під час його експлуатації, наприклад, після реконфігурації КТЗ через відмови;

- окремих функцій КТЗ, якщо для них визначено різні вимоги функційної безпечності.

У технічному завданні і/або ТУ на резервовані КТЗ конкретного призначення треба зазначати максимально допустимий строк, протягом якого дозволено експлуатувати КТЗ за наявності відмов каналів резервування, а також зі зміненою його структурою.

Показники функційної безпечності КТЗ повинні бути підтверджені до їх серійного виготовлення.

Обґрунтуванням того, що на кожному етапі життєвого циклу "розроблення – експлуатування" КТЗ розробником і виробником виконано вимоги функційної безпечності, є документ – "Доказ функційної безпечності технічних засобів", в якому мають бути такі розділи:

- вступ;
- нормативні та інші документи, що використовуювані для доказу функційної безпечності;
- характеристика об'єкта;
- підтвердження функційної безпечності за відсутності пошкоджень КТЗ і дії дестабілізуючих чинників;
- наслідки відмов і збоїв;
- функційна безпечність за помилок оперативного й обслуговувального персоналу;
- функційна безпечність у разі дії зовнішніх чинників;
- дотримання умов застосування, що впливають на функційну безпечність;
- випробовування на функційну безпечність і безвідмовність в експлуатаційних умовах.

Інформацію, яка має бути в документі "Доказ функційної безпечності технічних засобів", наведено в п. 9.3.

Після кожного етапу розроблення, виготовлення та введення в експлуатацію КТЗ Замовник розробки забезпечує виконання робіт з експертування його функційної безпечності, результати якого фіксують у документі "Висновок щодо функційної безпечності технічного засобу". Цей документ після експертування КТЗ видає випробувальна лабораторія, акредитована на проведення випробування КТЗ на функційну безпечність, або юридична особа, яка має кваліфікованих

фахівців і досвід розроблення КТЗ (надалі організація–експерт). Вибір організації–експерта (за потреби – організацій–експертів) визначає Замовник розробки. Експертувати і оформлювати документ "Висновок щодо функційної безпечності технічних засобів" треба для кожного з таких етапів життєвого циклу КТЗ:

- 1) розроблення технічного завдання;
- 2) розроблення принципів побудови КТЗ, концепції та програми досягання його функційної безпечності і надійності;
- 3) розроблення технічної документації;
- 4) виготовлення дослідного зразка та проведення стендових випробовувань;
- 5) експлуатаційні випробовування дослідного зразка;
- 6) виготовлення дослідної партії КТЗ та її експлуатаційні випробовування.

Для окремих КТЗ, за узгодженням із Замовником розробки, дозволено об'єднувати етапи 3, 4 у один етап – “Розроблення технічної документації та виготовлення дослідного зразка”; етапів 5, 6 – в етап “Експлуатаційні випробовування”.

Без позитивного висновку щодо функційної безпечності КТЗ для кожного етапу його життєвого циклу приймання Замовником наступного етапу розроблення КТЗ недопустимо. Це зумовлено тим, що після кожного етапу життєвого циклу КТЗ кількість ступенів свободи щодо вибору рекомендацій для підвищення його функційної безпечності зменшується, а вартість їхньої реалізації – підвищується. Тому найефективніше своєчасно використовувати рекомендації із забезпечення КТЗ на ранніх стадіях розроблення КТЗ.

За ініціативного розроблення дозволено подавати загальний висновок щодо функційної безпечності КТЗ після закінчення розроблення.

Подаючи КТЗ на експертизу чи сертифікаційні випробовування, організація–розробник має надати достатній обсяг документації, необхідний для оцінювання функційної безпечності і надійності КТЗ, зокрема: затверджене ТЗ (для систем і комплексів технічних засобів керування та регулювання рухом поїздів); концепцію і програму досягнення функційної

безпеки і надійності; ТУ чи проект ТУ (для виробів); технічну та конструкторську документацію (за вимогою організації–експерта); перелік небезпечних відмов і збоїв та їхні критерії; доказ функційної безпеки технічних засобів із розрахунками кількісних показників функційної безпеки і безвідмовності.

У розрахунках функційної безпеки й безвідмовності КТЗ має бути надано:

1) розрахунково-логічні схеми функційної безпеки й безвідмовності КТЗ, зокрема з урахуванням відмов апаратури періодичного контролювання, відновлення та виконання допоміжних функцій;

2) джерела одержання вихідних даних для розраховування;

3) отримані розрахункові значення показників функційної безпеки й безвідмовності;

4) висновки про відповідність розрахункових показників заданим нормам функційної безпеки й безвідмовності.

Якщо є номер версії технічної документації, його потрібно в ній зазначити.

У технічній документації програмовних КТЗ треба надати алгоритми функціонування і тексти програм.

Технічні засоби підлягають таким видам випробовувань на функційну безпеку і надійність:

- приймально–здавальним;
- періодичним;
- експлуатаційним;
- приймальним;
- сертифікаційним.

Під час приймально–здавальних випробовувань треба перевіряти відповідності КТЗ вимогам функційної безпеки і надійності, які зазначено в методиках приймально-здавального випробовування КТЗ конкретного призначення. Приймально-здавальним випробовуванням на функційну безпеку підпадає кожен виготовлений і повністю укомплектований КТЗ, який витримав операційне контролювання.

Періодичні випробовування треба проводити для КТЗ установчої серії для запровадження у виробництво чи поновлення виготовлення після перерви більше року. Для сталого серійного чи масового виробництва періодичним випробовуванням необхідно піддавати не рідше одного разу в 2 роки довільно обрані КТЗ із складу готової продукції, які витримали приймально–здавальні випробовування. Кількість зразків для періодичного випробовування, їхній склад, методику їх проведення треба вказувати в ТУ на виготовлення КТЗ конкретної призначеності.

Експлуатаційні та статистичні випробовування на надійність і функційну безпечність елементів і складових частин КТЗ, а також КТЗ, що їх виготовляють великою серією, треба проводити згідно з ДСТУ 3004 (під час випробовування на функційну безпечність фіксують тільки небезпечні відмови). Для великих комплексів (систем) і КТЗ дрібносерійного виробництва збирати статистичні дані необхідно за результатами підконтрольної експлуатації і/або методом збирання й оброблення інформації, яку одержують від підприємств–споживачів. У разі високої вартості проведення статистичних і експлуатаційних випробовувань КТЗ на функційну безпечність у повному обсязі дозволено проводити ці випробовування в скороченому обсязі. У цьому випадку позитивні результати цих випробовувань (без урахування попередніх етапів доказу безпеки) не можуть бути єдиною підставою для прийняття позитивного рішення щодо виконання вимог функційної безпечності КТЗ. У технічних умовах на виготовлення КТЗ і/або методиках їхніх випробовувань має бути зазначено: метод статистичного випробовування на функційну безпечність та їх вид (стендові, полігонні, експлуатаційні), метод збирання й оброблення статистичної інформації, кількість об'єктів для випробовування, тривалість випробовування і/або кількість умовних вимірів. Такими умовними вимірами можуть бути, наприклад, кількість циклів або спрацьовувань реле, допустима кількість небезпечних відмов (якщо не зазначено інше, вона має дорівнювати нулю).

Для приймального випробування треба надати, крім документів, які наведено в ГСТУ 32.0.08.001 [37], погоджені документи: "Доказ функційної безпечності технічних засобів"; "Висновок (висновки) із функційної безпечності технічних засобів".

Правила приймання КТЗ мають бути регламентовані галузевими нормативними документами [7,41].

На етапі сертифікаційного випробовування КТЗ треба виконувати:

- випробовування на безпечність виконання КТЗ вимог призначення за відсутності його пошкоджень і впливу дестабілізуючих чинників;

- випробовування на відповідність конструкційним вимогам із функційної безпечності;

- випробовування на функційну безпечність у разі пошкоджень і відмовах елементів КТЗ, зокрема у разі пошкоджень і відмов інших пристроїв, функційно пов'язаних із КТЗ, який піддають випробовуванням;

- випробовування на функційну безпечність у разі реконфігурації і змінення структури КТЗ, у разі помилок оперативного персоналу та працівників, які виконують дії з обслуговування та ремонту КТЗ;

- випробовування на функційну безпечність у разі дії електромагнітних завад; кліматичних і механічних чинників;

- статистичні випробовування на функційну безпечність і/або визначання показників безпечності КТЗ;

- випробовування на функційну безпечність у разі дії специфічних дестабілізуючих чинників, зазначених у методиках сертифікаційних випробовувань КТЗ, ТУ або ТЗ.

Сертифікат відповідності КТЗ вимогам функційної безпечності надають тільки на КТЗ, що витримали випробовування в акредитованій лабораторії (випробувальному центрі), мають необхідну документацію, а також за умови позитивного результату їхніх випробовувань в умовах експлуатації.

Для типових проектних рішень КТЗ має бути виконано експертування їх функційної безпечності за заявкою Замовника їх розробки або за заявкою організації-розробника цих рішень. Експертування виконує організація-експерт, яку визначає Замовник розробки типових проектних рішень.

Для КТЗ із використанням різного програмного забезпечення треба для кожного випадку застосування проводити доказ і експертизу його функційної безпечності. Крім цього, такі КТЗ треба випробовувати на функційну безпечність у разі дії електромагнітних завад, методику випробовування яких треба погодити з організацією-експертом і/або лабораторією, акредитованою для випробовувань на електромагнітну сумісність і функційну безпечність.

7.3. Кількісні вимоги функційної безпечності

7.3.1. Номенклатура показників функційної безпечності

Необхідність уведення показників функційної безпечності КТЗ зумовлена неможливістю досягнення в них абсолютної безпечності, у першу чергу, через обмежену надійність комплектувальних елементів, внаслідок впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників, причин виробничого й експлуатаційного характеру.

Показники функційної безпечності КТЗ треба вибирати з такого переліку:

- ймовірність небезпечної відмови $Q_n(t)$ (за період експлуатації t);
- ймовірність небезпечної відмови за кожну годину експлуатації $Q_n(t)/t$;
- ймовірність безпечної роботи $P_b(t)$;
- інтенсивність небезпечних відмов $\lambda_n(t)$;
- середній наробіток до небезпечної відмови $T_{cp.n}$;
- середній наробіток на небезпечну відмову T_n ;
- параметр потоку небезпечних відмов $\omega_n(t)$;
- коефіцієнт і функція готовності до безпечної роботи K_b і $K_b(t)$.

Для виробів, функційна безпечність яких залежить від їхньої інтенсивності роботи, можна застосовувати показники безпеки, віднесені не до одиниць часу, а до умовної кількості (спрацьовувань, циклів, повідомлень тощо).

Дозволено застосування модифікацій зазначених показників, наприклад, таких як: імовірність помилки під час оброблення й передавання даних, імовірність втрати інформації чи небезпечного спотворення відповідальної команди в каналі зв'язку, імовірність безпечного та небезпечного впливу електромагнітних завад, імовірність небезпечного збою та середній наробіток до небезпечного збою, що призводить до небезпечного порушення алгоритму функціонування КТЗ.

Номенклатуру показників безпечності конкретних КТЗ вибирають згідно з 6.1.2 залежно від виду КТЗ (відновлюваний чи ні), з урахуванням специфіки призначення та конструктивного виконання КТЗ.

7.3.2. Нормативні кількісні вимоги функційної безпечності

Значення показників функційної безпечності (норм) треба встановлювати для КТЗ з урахуванням їхньої призначеності, можливого небезпечного функціонування й наслідків відмов, технічної й економічної доцільності. Їх визначають для кожного конкретного застосування КТЗ і узгоджують між замовником (споживачем) і розробником (виробником).

Нормування показників функційної безпечності КТЗ треба виконувати для двох варіантів їхнього застосування:

1) для допуску КТЗ на експлуатаційні випробовування чи в постійну експлуатацію, коли на них покладається виконання відповідальних функцій;

2) для аналізування експлуатаційної функційної безпечності чинними КТЗ, прийняття рішення про можливість їхнього подальшого експлуатування, якщо під час експлуатування з'явилися небезпечні відмови, а також для розроблення рекомендацій з підвищення функційної безпечності.

Для цих варіантів вводять відповідно проектно–конструкторські та експлуатаційні нормативи функційної безпечності. Введення проектно–конструкторських нормативів зумовлене тим, що кількість відмов КТЗ, які мають

експлуатаційні причини їх виникнення, становить відносно великий рівень, тому, якщо прийняти експлуатаційні нормативи безпечності для приймання нових КТЗ, то вони, з урахуванням впливу експлуатаційних чинників, реально будуть мати недостатню функційну безпечність. Тому експлуатаційні нормативи треба використовувати тільки у разі достатнього обґрунтування відсутності впливу експлуатаційних чинників на функційну безпечність КТЗ, або після позитивного результату тривалих експлуатаційних випробовувань великого обсягу КТЗ, долучених паралельно чи послідовно з діючими КТЗ, згідно з ДСТУ 3942 і/або ГОСТ 27.410. Використовування експлуатаційних нормативів функційної безпечності для приймання нових КТЗ треба погоджувати з лабораторією (центром), акредитованою для проведення випробовувань КТЗ на функційну безпечність, і Замовником.

Кількісні вимоги функційної безпечності КТЗ, згідно з ДСТУ 4178, наведено в табл. 7.1, у якій коефіцієнт K означає співвідношення між базовим та іншими рівнями безпечності [2].

Для визначання розрахункової ймовірності небезпечної відмови КТЗ за кожну годину визначають ймовірність небезпечної відмови за заданий час його функціонування і ділять на цей час. При цьому час роботи технічного засобу визначають у годинах.

Таблиця 7.1

Кількісні вимоги функційної безпечності КТЗ на одну відповідальну функцію

Рівні вимог функційної безпечності	Ймовірність небезпечної відмови за кожну годину на одну відповідальну функцію безпечності, 1/год	
	Проектно-конструкторські нормативи	Експлуатаційні нормативи
1 – найменший ($K=100$)	$(0,14 - 0,7) \cdot 10^{-8}$	$(0,81 - 8,1) \cdot 10^{-8}$
2 – середній ($K=10$)	$(0,14 - 0,7) \cdot 10^{-9}$	$(0,81 - 8,1) \cdot 10^{-9}$
3 – високий (базовий)	$(0,14 - 0,7) \cdot 10^{-10}$	$(1,6 - 8,1) \cdot 10^{-10}$
4 – найвищий ($K=1/5$)	Менш, ніж $0,14 \cdot 10^{-10}$	Менш, ніж $1,6 \cdot 10^{-10}$

7.3.3. Класифікація технічних засобів за рівнями вимог функційної безпеки

Рівні вимог щодо функційної безпеки КТЗ треба вибирати залежно від таких чинників:

- призначеності КТЗ і його впливу на безпеку руху поїздів;
- наслідків небезпечного функціонування КТЗ: можливого матеріального чи іншого збитку, негативного впливу на людей та довкілля;
- швидкості та інтенсивності руху поїздів на ділянках, де експлуатують КТЗ.

Класифікацію технічних засобів за рівнями вимог функційної безпеки наведено нижче (згідно з рекомендаціями ДСТУ 4178).

Рівень вимог 1

Технічні засоби, що не впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів, але можуть побічно знижувати її за рахунок:

- виникнення в них відмов, що вимагають переходу на допоміжні засоби зв'язку та керування, створюють аварійні режими регулювання рухом поїздів, наприклад, призводять до необхідності прийняття поїзда на станцію за запрошувальним або заборонним сигналом без перевіряння логічних умов безпеки, до помилкового увімкнення екстреного гальмування рухомого складу тощо;
- помилкових дій оперативного та обслуговувального персоналу в умовах відсутності необхідної інформації, причиною якої є порушення працездатності КТЗ, можливості створення небезпечних ситуацій, що у штатних умовах не допускають справні пристрої.

Технічні засоби, відмови яких призводять до таких наслідків:

- тривалої затримки поїздів;
- значного пошкодження, зниження безвідмовності та строку служби КТЗ, підвищення витрат палива й електроенергії,

зникнення або спотворення важливої інформації, іншого істотного матеріального збитку.

До технічних засобів, що мають відповідати вимогам 1–го рівня функційної безпечності, можна віднести пристрої залізничної автоматики, захисні відмови яких побічно знижують безпеку руху поїздів. До таких пристроїв можна віднести: технічні засоби систем диспетчерського контролювання руху поїздів і стану пристроїв залізничної автоматики; пристрої радіозв'язку; комп'ютерні інформаційні системи; пристрої захисту мікроелектронних КТЗ від грозових і комутаційних перенапруг тощо.

Рівень вимог 2

Технічні засоби, що впливають безпосередньо на безпеку руху і які використовують для керування та регулювання руху поїздів на ділянках із неінтенсивним рухом поїздів, де відсутні пасажирські перевезення, у маневрових районах станцій і на сортувальних гірках. Інтенсивний рух поїздів визначений Правилами технічної експлуатації залізниць України [8]. За станом на 31.12.2003р. інтенсивний рух поїздів відповідає розмірам руху пасажирських і вантажних поїздів (у сумі) на двоколієних ділянках більше 50 пар і одноколієних – більше 24 пар за добу.

Технічні засоби, відмови яких призводять до великого матеріального збитку, негативного впливу на здоров'я людини та довкілля.

До технічних засобів, що мають відповідати вимогам 2–го рівня функційної безпечності, можна віднести: пристрої сигналізації, централізації та блокування, які використовують на ділянках із неінтенсивним рухом поїздів за відсутності пасажирських перевезень; пристрої механізації й автоматизації сортувальних гірок; технічні засоби керування стрілками та сигналами маневрових районів станцій тощо.

Рівень вимог 3

Технічні засоби, що впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів і які використовують для керування та регулювання руху пасажирських і вантажних поїздів за інтенсивного руху зі швидкістю до 140 км/год.

Технічні засоби, відмови яких призводять до дуже великого матеріального збитку, недопустимого впливу на здоров'я людини і довкілля.

До технічних засобів, що мають відповідати вимогам 3-го рівня функційної безпечності, можна віднести пристрої сигналізації, централізації та блокування, що впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів і які використовують на ділянках із рухом будь-яких поїздів зі швидкістю до 140 км/год.

Рівень вимог 4

Технічні засоби, що впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів і які використовують для керування та регулювання руху поїздів на ділянках зі швидкістю руху поїздів більше 140 км/год, зокрема на ділянках зі швидкісним і високошвидкісним рухом.

Технічні засоби, відмови яких приводять до надзвичайно великого матеріального збитку, недопустимого впливу на здоров'я великих груп людей і непоправних втрат у довкіллі.

До технічних засобів, що мають відповідати вимогам 4-го рівня функційної безпечності, можна віднести: пристрої сигналізації, централізації та блокування, що впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів і які використовують на ділянках з рухом будь-яких поїздів зі швидкістю більш ніж 140 км/год.

Примітка 1. До технічних засобів, що впливають безпосередньо на безпеку руху поїздів, наприклад, належать: системи колійного автоматичного й напівавтоматичного блокування; системи електричної централізації стрілок і сигналів; системи диспетчерської централізації з передаванням відповідальних команд; системи автоматичної локомотивної сигналізації та автостопа; системи ключової залежності стрілок і сигналів; системи станційного блокування; системи автоматичної

переїзної сигналізації, а також пристрої, які належать до складу вищеперелічених систем, якщо їхнє функціонування може призводити до небезпечних станів КТЗ, наприклад, пристрої керування стрілочними електроприводами та світлофорами, пристрої контролювання вільності колійних ділянок, електронні швидкостеміри тощо.

Примітка 2. Визначання можливого матеріального збитку, що може бути завданий КТЗ за небезпечного його функціонування (істотний, великий, дуже великий, надзвичайно великий), а також віднесення КТЗ до певного рівня функційної безпечності фіксують в ТЗ на їхнє розроблення і/або в ТУ.

7.4. Кількісні вимоги надійності

Для КТЗ треба задавати вимоги до кількісних і якісних характеристик надійності.

Показники надійності КТЗ треба вибирати з такого переліку:

- показники безвідмовності: імовірність безвідмовної роботи - $P(t)$; імовірність відмови - $Q(t)$; середній наробіток до відмови - T_{cp} ; інтенсивність відмов - $\lambda(t)$; параметр потоку відмов - $\omega(t)$; середній наробіток на відмову - T_o ;

- показники ремонтпридатності: імовірність відновлення - $P_e(t)$; середня тривалість відновлення - T_e ; інтенсивність відновлення - $\mu(t)$;

- показники довговічності: середній ресурс - T_p ; гамма-відсотковий ресурс - $T_p \gamma$; середній строк служби - T_{cl} ; гамма-відсотковий строк служби - $T_{cl} \gamma$;

- показники збережності: середній строк збережності - T_z ; гамма-відсотковий строк збережності - $T_z \gamma$.

Імовірність безвідмовної роботи чи імовірність відмови за час t треба використовувати для невідновлюваних і відновлюваних КТЗ, у яких значення часу t можна попередньо визначити з урахуванням регламенту використання КТЗ під час експлуатування.

Середній наробіток до відмови треба використовувати для невідновлюваних КТЗ із будь-яким законом розподілу відмов, а також для відновлюваних резервованих КТЗ.

Середній наробіток на відмову необхідно використовувати для відновлюваних КТЗ із будь-яким законом розподілу часу наробітку між відмовами.

Інтенсивність відмов треба використовувати для невідновлюваних КТЗ з експоненційним законом розподілу відмов.

Параметр потоку відмов необхідно використовувати для відновлюваних КТЗ із експоненційним законом розподілу між відмовами.

Показники безвідмовності та ремонтпридатності треба встановлювати для КТЗ в цілому; для КТЗ зі зміненою структурою внаслідок його реконфігурації у разі відмов (для резервованих КТЗ); для окремих функцій (у багатофункційних КТЗ), перелік яких має бути наведено в ТУ, ТЗ чи стандартах на КТЗ конкретних видів. Показники довговічності та збережності треба встановлювати для КТЗ в цілому.

Для КТЗ, які мають програмне забезпечення, показники безвідмовності й ремонтпридатності треба встановлювати окремо для відмов, усувані перезапусканням чи перезавантаженням програмного забезпечення.

Кількісні значення показників надійності, вибрані згідно з 7.2, треба встановлювати для КТЗ конкретної призначеності в ТЗ і/або ТУ. Можна не нормувати показник довговічності, якщо критерієм граничного стану є моральне старіння КТЗ.

Під час встановлення нормованих значень показників надійності КТЗ мають бути визначені та погоджені із Замовником:

- критерії відмов, стосовно яких встановлено вимоги безвідмовності та збережності;
- критерії граничних станів, стосовно яких встановлено вимоги довговічності.

Критерії відмов повинні забезпечувати простоту виявлення відмови, унеможливлувати прийняття помилкового рішення про

працездатний чи непрацездатний стан КТЗ. Як критерії відмови треба вибирати такі ознаки, що забезпечують безпосередній зв'язок із основними споживчими властивостями КТЗ (показниками призначення), зазначеними в ТЗ чи ТУ. Для КТЗ, що мають метрологічні характеристики, критерієм відмови треба встановлювати установлене вийдення похибки за визначені межі.

Критеріями граничного стану КТЗ мають бути:

- недопустиме погіршення показників безвідмовності та безпечності внаслідок природних процесів старіння і зношення;
- неприпустиме зростання витрат на технічне обслуговування і/або відновлення, або неможливість відновлення працездатного стану КТЗ після чергової відмови;
- недопустиме зниження ефективності, спричинене моральним старінням КТЗ.

Одержують дані про очікувані чи фактичні значення показників надійності (визначання надійності) на стадіях розроблення, запровадження у виробництво, серійного випуску і застосовування (експлуатації) КТЗ.

Перевіряють відповідність показників надійності заданим нормативам, встановленим у стандартах, ТЗ, або ТУ (контролювання надійності), на стадіях розроблення, запровадження у виробництво і серійного випуску виробів.

На стадії розроблення показники очікуваної безвідмовності та функційної безпечності виробу треба одержувати розрахунковими методами, а очікувані показники ремонтпридатності, збережності та довговічності – за допомогою експертного оцінювання. Рішення про відповідність чи невідповідність вимогам надійності, встановленим у ТУ чи ТЗ, приймають на підставі критеріїв згідно з ДСТУ 3004.

На стадії запровадження у виробництво визначати безвідмовність і функційну безпечність складових частин виробів треба експериментальними або розрахунковими методами, виробу в цілому – розрахунковим методом. За вимогами Замовника (споживача) контроль надійності на стадії запровадження КТЗ у виробництво необхідно здійснювати на КТЗ установчої серії чи першої промислової партії згідно з

ГОСТ 27.410, ДСТУ 3942 або ГОСТ 27402 (залежно від моделей відмов). Випробовування не проводять, якщо кількість зразків, необхідних для цього, перевищує кількість виготовлених виробів установчої серії, зазначених у технічному завданні на розроблення КТЗ.

На стадії серійного випуску виробник контролює надійність експериментальними методами (контрольними випробовуваннями згідно з ГОСТ 27.410, ДСТУ 3942 або ГОСТ 27402). За неможливості чи техніко–економічної недоцільності застосування експериментальних методів (для високонадійних, зокрема резервованих КТЗ, виробів одиничного виробництва чи випускання малими серіями, унікальних виробів чи КТЗ, які мають дуже велику вартість тощо) визначати і контролювати безвідмовність на стадії серійного випуску треба розрахунково–експериментальними методами.

Можна прискорено випробовувати КТЗ на безвідмовність у форсованих режимах за методиками, погодженими із Замовником.

У технічно обґрунтованих випадках можна не проводити випробування на збережність (довговічність), якщо відповідність КТЗ заданим вимогам гарантує виробник на підставі практичного досвіду транспортування, збережності і експлуатування виробів–аналогів, схожих за конструкцією, елементною базою, умовами застосовування, видом пакування та транспортної тари, технологією консервування тощо.

На стадії застосування КТЗ показники безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності треба визначати:

- експериментальними методами (випробовуваннями, які проводить споживач у лабораторних або експлуатаційних умовах);
- за даними підконтрольної експлуатації.

Контрольні випробовування на надійність треба проводити підприємству–виробнику не рідше одного разу в три роки, а також у разі змінення схеми, конструкції, технології, заміни комплектувальних елементів та в інших випадках, що можуть призвести до зміни значень показників надійності виробів.

Можна не проводити чергові випробовування, якщо кількість зразків, необхідних для випробовування, становить більше 10% загального обсягу випуску виробів даного виду в поточному році. У цьому випадку за узгодженістю із Замовником (споживачем) контролювати показники надійності можна відразу для групи однотипних виробів (близьких за призначеністю, конструктивною реалізацією, схемотехнічними рішеннями, елементною базою та технологією виготовлення) за результатами контрольних випробовувань, що проводять на зразках виробів одного (кожного) виду, що належать до групи.

Підконтрольне експлуатування повинно передбачати організування збирання й оброблення даних про надійність (безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність і збережність) КТЗ в реальних умовах експлуатування. Збирати й обробляти дані треба в процесі авторського нагляду за надійністю техніки, що її розробляють або випускають, а також головною організацією галузі зі збирання та оброблення інформації про надійність, проектувальниками, експлуатаційними організаціями, випробувальними лабораторіями і центрами сертифікації продукції.

Організація робіт зі збирання й оброблення інформації про надійність КТЗ повинна бути регламентована галузевими нормативними документами.

7.5. Якісні вимоги функційної безпечності і надійності

До якісних вимог функційної безпечності і надійності відносяться конструкційні, виробничо-технічні й експлуатаційні способи досягання надійності та функційної безпечності КТЗ.

У вимогах до конструкційних способів досягання функційної безпечності і надійності КТЗ треба встановлювати:

– вимоги, що регламентують функційну безпечність за відсутності відмов їхніх елементів, за допустимих змін структури та напруги в мережі електроживлення, помилок оперативного й обслуговувального персоналу;

- вимоги функційної безпечності КТЗ у разі відмов і пошкоджень елементів їхньої структури та інших пристроїв;
- вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії електромагнітних завад;
- вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії кліматичних, механічних та інших чинників;
- вимоги, що забезпечують необхідний запас стійкості та міцності КТЗ до зовнішніх дестабілізуючих чинників;
- вимоги до матеріалів і застосовуваних комплектувальних виробів;
- вимоги, що регламентують резервування, періодичне контролювання і відновлювання;
- вимоги до способів технічної діагностики;
- вимоги, що забезпечують незалежність відмов у резервованих елементах структури;
- вимоги до структури і складу ЗП;
- вимоги до конструкційного виконання КТЗ і їхніх складових частин, зокрема вимоги до взаємозамінності, неможливості помилкового з'єднання елементів, модулів, проводів;
- вимоги до засобів досягання збережності.

У вимогах до виробничо-технологічних способів досягання функційної безпечності і надійності КТЗ треба встановлювати:

- вимоги до вхідного контролювання, електро і/або термотренування купованих комплектувальних виробів;
- вимоги до технологічного устаткування;
- вимоги до настроювання та регулювання;
- вимоги до необхідності, тривалості та режимів технологічного прогону виробів і їхніх складових частин;
- вимоги до обсягу перевірок при приймально-здавальних випробовуваннях;
- вимоги до консервування та упакування виробів;
- вимоги до частоти періодичного випробовування, обсягу перевірок, кількості виробів для випробовувань тощо.

У вимогах до експлуатаційних способів досягання функційної безпечності і надійності КТЗ необхідно встановлювати:

- вимоги до умов транспортування, зберігання, експлуатування;
- вимоги до монтажу та під'єднування виробів;
- вимоги до технічного обслуговування (періодичність, обсяг виконуваних робіт, кваліфікація персоналу);
- вимоги до контролювання технічного стану;
- вимоги до порядку використання і поповнення ЗПП.

Для програмовних КТЗ необхідно встановлювати вимоги до способів досягання функційної безпечності і надійності програм.

У вимогах функційної безпечності і надійності математичного і програмного забезпечення КТЗ треба встановлювати:

- вимоги до структури програмовного КТЗ;
- вимоги до складу і структури програмного забезпечення;
- вимоги до контролепридатності програмного забезпечення;
- вимоги щодо використання в каналах резервування програмного забезпечення з різним рівнем взаємозв'язку;
- вимоги до програм технічного діагностування програмовних КТЗ;
- вимоги до програмної документації;
- вимоги щодо досягнення функційної безпечності й надійності під час експлуатування програмного забезпечення.

Контролювати якісні вимоги функційної безпечності і надійності, передбачені у ТЗ і/або ТУ, треба на стадіях розробляння, запровадження у виробництво, серійного випуску, у процесі експлуатації та під час сертифікації КТЗ методом експертного оцінювання конструкторської, технологічної, нормативної та іншої документації. Для програмовних КТЗ треба додатково випробовувати програмне забезпечення, за яким визначають відповідність КТЗ заданим

функційним вимогам при всіх передбачених в методиках випробовування наборах входних змінних, перевіряють всі незалежні складові частини (програмні модулі), а також перевіряють взаємодії модулів у процесі виконання програми.

На якісні властивості функційної безпечності впливають також помилки, що виникають на етапах життєвого циклу "розроблення – експлуатування" КТЗ. Це помилки людини, що виникають під час поставлення задачі і розроблення алгоритмів функціонування; помилки під час виготовлення, проектування, монтування й експлуатування; прорахунки доказу безпечності КТЗ через недосконалість методик випробовувань; відмови КТЗ, спричинені впливами зовнішніх дестабілізуючих чинників, що їх не прогнозували до введення КТЗ в експлуатацію; недоліки комплектувальних елементів. Усі види помилок перелічити неможливо через різні причини та наслідки, тому кількісна оцінка для аналізування таких помилок неможлива. Унаслідок цього потрібно розробити спеціальну систему з організації досягнення функційної безпечності, що охоплює заходи щодо зменшення ймовірності появи помилок під час будування структури КТЗ, вибору й використання елементів КТЗ, розроблення апаратних і програмних засобів, проектування, випробовування, сертифікування, застосування, експлуатування, технічного обслуговування і ремонту. Ці заходи треба зафіксувати в спеціальному документі – "Звіт про організацію системи досягнення функційної безпечності технічних засобів".

Якісні вимоги до функційної безпечності і надійності повинні бути зазначені у ТЗ і/або ТУ на КТЗ.

7.5.1. Вимоги функційної безпечності технічних засобів за відсутності відмов їхніх елементів, за допустимих змін структури та напруги в мережі електроживлення, помилок оперативного й обслуговуючого персоналу

У технічних засобах треба забезпечити відсутність небезпечних станів за відсутності відмов їхніх елементів і за допустимих змін їхньої структури, наприклад, у разі реконфігурації КТЗ (за наявності в них резервування) або

вилучення модулів під час технічного обслуговування, а також за допустимих змін напруги в мережі електроживлення, вимкненнях та увімкненнях електроживлення як основних, так і резервних пристроїв КТЗ.

Технічні засоби мають бути захищені від появи небезпечних станів через помилки оперативного персоналу у штатному (неаварійному) режимі.

У технічних засобах треба забезпечити відсутність небезпечних станів КТЗ за можливого неправильного під'єднання рознімачів і модулів під час технічного обслуговування й ремонту, перелік яких треба наводити в ТУ та експлуатаційній документації на КТЗ конкретних видів.

7.5.2. Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі відмов і пошкоджень елементів їхньої структури та інших пристроїв

У технічних засобах треба забезпечувати відсутність небезпечних станів:

- у разі разових відмов їхніх елементів (обірвання, короткі замикання, параметричні відмови), а також у разі багаторазових відмов і пошкоджень, перелік, кратність і характер яких треба визначити в методиках випробовування КТЗ конкретної призначеності;

- у разі відмов елементів і пристроїв, що не належать до складу КТЗ, але впливають на їхню роботу. Перелік, кратність і характер таких відмов також визначають в методиках випробовувань КТЗ конкретної призначеності.

Кратність відмов, які можуть з'являтися одночасно, треба визначати розрахунковими методами залежно від вимог функційної безпечності КТЗ, їхнього способу і кратності резервування, безвідмовності й ремонтпридатності каналів резервування, частоти та вірогідності періодичного контролювання.

У резервованих КТЗ треба забезпечити необхідний рівень функційної безпечності у разі відмов апаратури періодичного контролювання і при можливих разових і багаторазових відмовах КТЗ.

Перелік можливих небезпечних відмов частин КТЗ треба зазначити у документі "Доказ функційної безпечності технічних засобів".

Під час розрахунково–експериментального та розрахункового методів визначання дії відмов елементів на функційну безпечність КТЗ треба надати: вихідні дані для розраховування; обґрунтування використовуваних законів розподілу відмов; розрахунково–логічні схеми безвідмовності і функційної безпечності (структурні схеми надійності стосовно усіх відмов і небезпечних відмов) з урахуванням апаратури періодичного контролювання, пристроїв сполучення та розв’язувальних елементів КТЗ, а також елементів, які виконують функції вимкнення пристроїв, що відмовили, та увімкнення пристроїв, що перебувають у резерві.

7.5.3. Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії електромагнітних завад

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних відмов і збоїв під час і після дії на них (під час стендового випробовування) електромагнітних завад, ступені жорсткості та нормативні параметри яких наведено в ДСТУ 4151:

- наносекундних імпульсних завад – не нижче третього ступеня жорсткості для кіл силового електроживлення (2 кВ) і не нижче четвертого ступеня жорсткості для кіл керування та пересилання інформації (2 кВ);

- мікросекундних імпульсних завад – для кіл силового електроживлення, керування та передавання інформації: не нижче третього ступеня жорсткості (2 кВ) за схемою “провід – земля” і не нижче другого ступеня жорсткості (1 кВ) за схемою “провід – провід”;

- електростатичних розрядів – не нижче третього ступеня жорсткості (6 кВ у випадку контактного розряду і 8 кВ у випадку повітряного розряду);
- для усіх ступенів жорсткості динамічних змін напруги електроживлення;
- радіочастотних електромагнітних полів у діапазоні 26 – 1000 МГц – не нижче третього ступеня жорсткості (10 В/м);
- електромагнітних завад від цифрових радіотелефонів на частотах (900 ± 5) МГц і $1,89$ ГГц ± 10 МГц із тактовою частотою 200 Гц $\pm 1\%$ і робочим циклом 50% (2,5 мс вмикання та 2,5 мс вимикання) – не нижче третього ступеня жорсткості (10 В/м);
- гармонік напруги електроживлення, частота яких кратна основній частоті електроживлення – при коефіцієнті запасу стійкості – не нижче 1,5;
- комутаційних імпульсних завад малої енергії, що імітують процеси комутації електротехнічних об'єктів залізничного транспорту, через кола електроживлення, введення/виведення інформації та заземлення, а також через електромагнітне поле – не нижче другого ступеня жорсткості (1,0 кВ).

Можна використовувати інші ступені жорсткості випробовування та нормованих параметрів певних видів електромагнітних завад (навіть до їх вилучення зі списку необхідних видів завад під час випробовування КТЗ), якщо є достатнє обґрунтування того, що протягом всього експлуатування КТЗ вищезазначених рівнів цих електромагнітних завад не може бути в місцях їхнього розташування, або вони не можуть впливати на функційну безпечність КТЗ. Це обґрунтування треба погодити із Замовником та лабораторією, акредитованою для випробовування на електромагнітну сумісність і функційну безпечність.

Ступені жорсткості випробовування для кожного виду електромагнітних завад, тривалість контролювання безпечного функціонування КТЗ після їх введення (можливості післядії завад) треба визначати залежно від призначеності КТЗ і умов їх експлуатування та встановлювати у стандартах, ТЗ і/або ТУ на

КТЗ. Рекомендації з вибору ступенів жорсткості – згідно з ДСТУ 4151.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних відмов і збоїв під час і після дії на них (під час стендового випробовування) електромагнітних завад із нормованими параметрами за номінальної напруги живлення та її допустимих відхилів.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних відмов і збоїв під час і після дії на них (під час стендового випробовування) електромагнітних завад із параметрами, які відповідають усім ступеням жорсткості, які є нижчі від обраного ступеня жорсткості.

Під час випробовування КТЗ на функційну безпечність у разі дії завад допускаються захисні збої або відмови.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних відмов і збоїв під час і після дії на них електромагнітних завад у поєднанні з разовими та багаторазовими відмовами завадозахисних засобів, а також у разі змінення їхніх параметрів. Перелік відмов цих засобів та змін їхніх параметрів треба встановлювати в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретного виду.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних станів під час і після дії на них електромагнітних завад одночасно з відмовами КТЗ і/або з відмовами поєднаних з ними пристроїв, наприклад, у разі короткого замикання ізолюючих стиків у рейкових лініях. Перелік таких відмов треба встановлювати у ТУ і/або методиках випробовувань КТЗ конкретної призначеності.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних станів під час і після дії на них електромагнітних завад за різних конфігурацій структур КТЗ, у разі вилучення субблоків КТЗ, а також вимиканні електроживлення складових частин КТЗ і окремих модулів під час імітації електромагнітних завад. Перелік відповідних станів і конфігурацій структури КТЗ треба встановлювати в ТУ і/або методиках випробовувань КТЗ конкретного виду.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних станів під час і після дії на них електромагнітних завад у разі зміни активного й індуктивного опору в колі заземлення КТЗ, допустимі значення яких треба встановлювати в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретного виду, а також у разі пошкодження кола заземлення.

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних станів під час і після дії на них електромагнітних завад у поєднанні з кліматичними впливами, параметри яких має бути встановлено в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретного виду.

В умовах випробовування КТЗ на функційну безпечність у разі дії електромагнітних завад треба зазначити умови випробовування на завадозахищеність, наведені у ДСТУ 4151.

7.5.4. Вимоги функційної безпечності технічних засобів у разі дії кліматичних, механічних та інших чинників

У технічних засобах має бути забезпечено стійкість до виникнення небезпечних станів під час і після дії на них (під час стендового випробовування) кліматичних, механічних та інших дестабілізуючих чинників, номенклатура й нормативи яких зазначено в ТЗ і/або ТУ для КТЗ конкретної призначеності.

Тривалість контролювання безпечного функціонування КТЗ після дії на нього кліматичних, механічних та інших чинників (тривалість перевіряння можливості їх післядії) треба визначати залежно від їх призначеності та умов експлуатації і встановлювати в методиках випробовування КТЗ на функційну безпечність.

Технічні засоби мають бути убезпечені від несанкціонованого доступу до КТЗ (несанкціонованого керування технологічним процесом руху поїздів, світлофорами, стрілочними електроприводами тощо), який може призвести до його небезпечного стану, зокрема навмисного доступу неуповноваженим персоналом і ненавмисного доступу уповноваженим персоналом.

7.5.5. Технічні вимоги в частині стійкості технічних засобів до електромагнітних завад

7.5.5.1. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до наносекундних імпульсних завад

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії наносекундних імпульсних завад, уведених у кола електроживлення, керування та пересилання інформації. Амплітуди випробувальних імпульсів напруги наведено в табл. 7.2 для різних ступенів жорсткості (умов експлуатації) КТЗ.

Амплітуда наносекундних імпульсів, застосовуваних для випробовування КТЗ конкретного типу, залежить від ступеня жорсткості електромагнітної обстановки на об'єктах експлуатації цих КТЗ. Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості випробовування, згідно з ДСТУ 4151, наведено в п.п. 7.5.5.9.

Вимоги до випробувальної апаратури та параметрів наносекундних завад – згідно з ГОСТ 29156.

Таблиця 7.2

Нормативні значення амплітуд наносекундних імпульсів для різних ступенів жорсткості КТЗ

Ступені жорсткості	Амплітуда імпульсів напруги ненавантаженого випробувального генератора, кВ	
	Кола електроживлення	Кола керування та пересилання інформації
1	1,0	0,5
2	2,0	1,0
3	2,0	2,0
4	4,0	2,0
5	За узгодженням між споживачем та виробником	

7.5.5.2. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до мікросекундних імпульсних завад великої енергії

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії мікросекундних імпульсних завад великої енергії, що їх вводять у кола електроживлення, керування та пересилання інформації. Ці завади імітують перехідні процеси від розрядів блискавок, коротких замикань у електротяговій мережі та різного роду комутацій у електричних колах великої потужності.

Для КТЗ установлюють ступені жорсткості випробовування, які зазначено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Нормативні значення амплітуд мікросекундних імпульсів для різних ступенів жорсткості КТЗ

Ступені жорсткості	Амплітуда імпульсів напруги ненавантаженого випробувального генератора, кВ	
	Коло "провід"– "земля"	Коло "провід"– "провід"–
1	0,5	0,5
2	1,0	0,5
3	2,0	1,0
4	4,0	2,0
5	За узгодженням між споживачем та виробником	

Амплітуда мікросекундних імпульсів для випробовування залежить від жорсткості електромагнітної обстановки на об'єктах експлуатації КТЗ. Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості випробовування, згідно з ДСТУ 4151, наведено в п.п. 7.5.5.9.

До випробувального устаткування належить:

- генератор мікросекундних імпульсів завад;
- пристрої зв'язку–розв'язки для подавання випробувальних імпульсів у кола електроживлення, керування та пересилання інформації, а також усунування впливу випробувального генератора на інші КТЗ.

Вимоги до випробувальної апаратури та параметрів мікросекундних завад – згідно з ГОСТ 30374.

7.5.5.3. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до імпульсних розрядів статичної електрики

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії на них імпульсних розрядів статичної електрики (електростатичних розрядів), які виникають, коли оперативний і обслуговувальний персонал торкається струмопровідних частин КТЗ та інших пристроїв, розташованих поблизу них, а також між об'єктами, розташованими поблизу КТЗ, або між об'єктами та КТЗ.

Значення амплітуди випробувальних імпульсів, які імітують електростатичні розряди для КТЗ, залежно від їхніх умов експлуатації, наведено в табл. 7.4.

Вимоги до випробувального генератора електростатичних розрядів, параметрів модельованих імпульсів завад, рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості випробовування і місць прикладання модельованих розрядів – згідно з ГОСТ 29191.

Таблиця 7.4

Нормативні значення випробувальної напруги статичної електрики

Ступені жорсткості випробовування	Випробувальна напруга, кВ	
	Контактний розряд	Повітряний розряд
1	2,0	2,0
2	4,0	4,0
3	6,0	8,0
4	8,0	15,0
5	За узгодженням між споживачем та виробником	

7.5.5.4. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до динамічних змін напруги мережі електроживлення

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії динамічних змін напруги їхнього електроживлення (провалів, переривань, викидів і коливань напруги) з унормованими параметрами, які наведено в табл. 7.5.

Швидкість поступового змінювання напруги живлення повинна бути постійна, але напруга може змінюватися східчасто, рівні яких не повинні перевищувати 10 % U_n .

Випробовуючи КТЗ, електроживлення якого відбувається від однофазної електричної мережі, динамічні зміни напруги здійснюють при переході напруги живлення через нуль.

При випробуванні КТЗ, електроживлення якого відбувається від трифазної електричної мережі, динамічні зміни напруги здійснюють окремо в кожній фазі, коли напруга живлення переходить в ній через нуль.

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії коливань напруги електроживлення з нормованими параметрами з провалів і викидів напруги, які наведено в табл. 7.5, з періодом повторювання 1–10 с.

Ступені жорсткості випробовування, період повторювання динамічних змін напруги електроживлення, тривалість випробовування для кожного їхнього виду, а також необхідність впливу змінами напруги в двох чи в трьох фазах КТЗ визначають залежно від його призначеності та встановлюють в стандартах, ТЗ, ТУ або методиках випробовування КТЗ конкретного типу.

Вимоги до генератора динамічних змін напруги електроживлення – згідно з ГОСТ 30376. Крім цього, він повинен забезпечувати переривання напруги електроживлення до 1,3 с (згідно з вимогами Правил технічної експлуатації залізниць України [35] на допустиму тривалість перемикання фідерів електроживлення систем автоматичного та напівавтоматичного блокування), а також глибину провалів напруги щодо номінальної напруги електроживлення КТЗ до 60%.

Таблиця 7.5

Нормативні значення динамічних змін напруги електроживлення
і тривалості їхнього впливу

Вид динамічних змін напруги електроживлення	Ступені жорсткості випробовування	Характеристика динамічних змін напруги електроживлення		
		Випробувальна напруга, % $U_n^{1)}$, $\pm 5\%$	Амплітуда змін напруги в процентах від U_n	Тривалість витримки встановленої зміни напруги (періодів / мс)
Провал напруги	1	70	30	25/500
	2 ²⁾	70	30	50/1000
	3 ²⁾	40	60	50/1000
	4 ²⁾	40	60	100/2000
	5	За узгодженням між споживачем та виробником		
Переривання напруги	1	0	100	5/100
	2 ²⁾	0	100	10/200
	3 ²⁾	0	100	25/500
	4 ²⁾	0	100	65/1300
	5	За узгодженням між споживачем та виробником		
Викид напруги	1	120	20	10/20
	2	120	20	25/500
	3	120	20	50/1000
	4	120	20	100/2000
	5	За узгодженням між споживачем та виробником		

Примітки.

1. U_n – номінальна напруга електроживлення. Значення випробувальних напруг живлення вказано за відсутності навантаження на виході випробувального генератора.

2. Для ступенів жорсткості 2–4 додатково проводять випробовування КТЗ на стійкість до провалів та переривань напруги живлення при поступовому зниженні напруги живлення тривалістю 2 с ($\pm 20\%$), тривалістю витримки 1 с ($\pm 20\%$) на встановленому рівні та поступовому підвищенні напруги живлення тривалістю 2 с ($\pm 20\%$) до номінального його значення.

За узгодженням між споживачем та виробником можуть бути встановлені додатково інші параметри поступових змін напруги живлення.

7.5.5.5. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до впливу радіочастотного електромагнітного поля

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії радіочастотного електромагнітного поля з нормованими параметрами, що імітує роботу переносних і стаціонарних радіо - і телевізійних передавачів. Випробовувальне електромагнітне поле створюють з використанням синусоїдного коливання з частотою, що змінюється в діапазоні 26 – 1000 МГц, яке модулюють за амплітудою сигналу частотою 1кГц глибиною модуляції 80%.

Значення напруженості електромагнітного поля для КТЗ конкретних типів залежно від їхніх умов експлуатації наведено в табл.7.6.

Таблиця 7.6

Нормативні значення напруженості електромагнітного поля для різних ступенів жорсткості КТЗ

Ступені жорсткості випробовування	Напруженість електромагнітного поля, В/м
1	1
2	3
3	10
4	30
5	За узгодженням між споживачем та виробником

Вибирають ступені жорсткості випробовування з урахуванням рекомендацій, наведених у п.п. 7.5.5.10.

Вимоги до випробувального устаткування – згідно з ГОСТ 30375.

7.5.5.6. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до впливу високочастотних електромагнітних полів від цифрових радіотелефонів

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час і після дії високочастотного електромагнітного поля з нормованими параметрами, що імітує роботу цифрових радіотелефонів. Значення напруженості електромагнітного поля для КТЗ конкретного типу залежно від їхніх умов експлуатації наведено в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Нормативні значення напруженості електромагнітного поля для різних ступенів жорсткості КТЗ

Ступені жорсткості випробовування	Напруженість електромагнітного поля, В/м
1	1
2	3
3	10
4	30
5	За узгодженням між споживачем та виробником

Випробувальний сигнал є сигнал частоти–носія (900 ± 5) МГц і (чи) $1,89$ ГГц ± 10 МГц із тактовою частотою 200 Гц $\pm 1\%$ і робочим циклом 50% ($2,5$ мс вмикання та $2,5$ мс вимикання).

Ступінь жорсткості випробовування вибирають залежно від призначення КТЗ, з урахуванням рекомендацій п.п. 7.5.5.10, і встановлюють в стандартах, ТЗ і (чи) ТУ на КТЗ конкретного типу.

Вимоги до випробувального устаткування – згідно з ГОСТ 30375. Випробувальний генератор додатково повинен створювати сигнал частотою (900 ± 5) МГц і $1,89$ ГГц ± 10 МГц із тактовою частотою 200 Гц $\pm 1\%$ і робочим циклом 50% ($2,5$ мс вмикання та $2,5$ мс вимикання), а також забезпечувати необхідні рівні напруженості електромагнітного поля, які наведено в

табл. 7.7. Вимірювач напруженості поля повинен забезпечувати на модельованих частотах похибку виміру не більшу ніж ± 3 дБ. Антена, яка випромінює електромагнітне поле, – логоперіодична або інша лінійно–споляризована антенна система, яка забезпечує випромінювання модельованих частот сигналу. Конструкція антени повинна уможливлувати горизонтальне та вертикальне її розміщення.

7.5.5.7. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до гармонік напруги електроживлення

Технічні засоби повинні зберігати задану якість функціонування під час дії гармонік напруги електроживлення.

Випробувальна напруга складається з одного чи декількох синусоїдних сигналів із частотами, кратними основній частоті, яка накладається на напругу мережі живлення. Ступені жорсткості випробовування засновані на рівнях сумісності для гармонік напруги, помножених на коефіцієнт запасу стійкості, які встановлюють для КТЗ конкретних видів. Рівні сумісності для гармонік напруги електроживлення наведено в табл. 7.8.

Таблиця 7.8

Нормовані значення гармонік напруги електроживлення

Непарні гармоніки, некратні 3		Непарні гармоніки, кратні 3		Парні гармоніки	
Порядок, n	Рівень, %	Порядок, n	Рівень, %	Порядок, n	Рівень, %
5	6,5	3	5	2	1...2
7	5,0	9	1,5	4	0,5...1,0
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3,0	21	0,2	8	0,5
17	2,0	Більше 21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			Більше12	0,2
25	1,5				
Більше 25	$0,2+0,5 \times 25/n$				

Вимоги до випробувального генератора завад – згідно з ГОСТ 29280.

Випробовування КТЗ на стійкість до впливу гармонік напруги електроживлення проводяться, у разі необхідності, за узгодженням між споживачем і виробником.

7.5.5.8. Вимоги в частині стійкості технічних засобів до комутаційних завад малої енергії

Технічні засоби повинні безпечно функціонувати при дії на них пачок імпульсів комутаційних завад позитивної і негативної полярності з нормованими параметрами: амплітуда пачки імпульсів завад – 0,5 – 2,0 кВ \pm 10%; тривалість пачки імпульсів – не менш 1,0 мс; тривалість імпульсів (на рівні 0,5 U_{max}) на початку пачки – не більш 0,5 мкс; тривалість заднього фронту імпульсів – не більш 100 нс. Структурну схему генератора комутаційних завад і вимоги до нього наведено у п.п. 8.6.4.

Нормативні значення амплітуд імпульсів завад для різних умов експлуатації (ступенів жорсткості) КТЗ наведено в табл. 7.9.

Таблиця 7.9

Нормативні значення амплітуди імпульсів пачки завад при різних ступенях жорсткості впливу завад на технічні засоби

Ступені жорсткості	Амплітуда пачки імпульсів завад, кВ	
	Кола електроживлення	Кола введення–виведення інформації та заземлення
1	1,0	0,5
2	1,0	1,0
3	1,5	1,5
4	2,0	2,0
5	За узгодженням між споживачем та виробником	

7.5.5.9. Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості для випробовування технічних засобів на стійкість до імпульсних завад

Вибір ступенів жорсткості випробовування для КТЗ конкретного типу залежить, крім інших чинників, від умов експлуатації.

Рівень імпульсних завад залежить від наявності та потужності джерел завад на місці експлуатації КТЗ, а також від таких умов установлення КТЗ на місці експлуатації, як екранування, заземлення, розміщення електричних кіл.

Ступінь жорсткості 1

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- у комутованих колах використовують засоби послаблення імпульсних завад, справність яких перебуває під контролем, кола електроживлення змінного та постійного струму відділені від кіл керування та пересилання інформації;
- кабелі силового електроживлення мають екрани, заземлені на обох кінцях; виконано фільтрування завад системи силового електроживлення.

Прикладом умов, що відповідають ступеню жорсткості 1, може бути електромагнітна обстановка у спеціальних залах для розміщення КТЗ, наприклад, обчислювальних центрах.

Ступінь жорсткості 2

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- у колах керування комутованих тільки за допомогою реле (не контакторами), застосовано частково засоби послаблення імпульсних завад, контроль справності елементів захисту від завад відсутній;
- кола КТЗ відділено від інших кіл, зв'язаних з жорсткішими умовами електромагнітної обстановки;

- кабелі електроживлення, які не мають екранів, відділено від кабелів керування та пересилання інформації.

Прикладом умов, що відповідають ступеню жорсткості 2, може бути електромагнітна обстановка в місцях розташування апаратури центральних постів мікропроцесорних систем диспетчерської централізації та диспетчерського контролю.

Ступінь жорсткості 3

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- у колах керування, комутованих тільки за допомогою реле (не контакторами), відсутні елементи послаблення імпульсних завад, контроль справності яких відсутній;

- кола КТЗ недостатньо відділені від інших кіл, зв'язаних з жорсткішими умовами електромагнітної обстановки;

- електроживлення КТЗ подається від повітряних чи кабельних ліній, які зазнають впливу розрядів блискавок (при наявності засобів захисту від перенапруг);

- кабелі електроживлення, керування, пересилання інформації недостатньо розділені;

- система заземлення КТЗ використовує провідники, з'єднані із системою заземлення іншого електроустаткування чи захисного заземлення), у системі заземлення мають місце замкнуті контури.

Прикладом умов, що відповідають ступеню жорсткості 3, може бути: електромагнітна обстановка в релейних приміщеннях постів електричної та гіркової автоматичної централізації; в релейних шафах автоблокування та переїзної сигналізації; у кабіні машиніста, якщо кола керування та пересилання інформації КТЗ не розташовуються в безпосередній близькості з колами керування тяговими агрегатами та не мають з ними спільного електроживлення.

Ступінь жорсткості 4

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- у колах керування, комутованих за допомогою реле і контакторів, відсутні засоби послаблення імпульсних завад;
- кола електроживлення, керування та пересилання інформації не розділені;
- електроживлення КТЗ подається від повітряних чи кабельних ліній електроживлення, які піддаються впливу розрядів блискавок;
- кола керування та пересилання інформації мають зв'язок з повітряними чи кабельними лініями зв'язку, які піддаються впливу розрядів блискавок і комутаційним перенапругам в електротяговій мережі, а також з колами керування тяговими агрегатами.

Прикладом умов, що відповідають ступеню жорсткості 4, може бути електромагнітна обстановка на електровозах, якщо зовнішні кола КТЗ розташовано поблизу кіл керування тяговими двигунами.

7.5.5.10. Рекомендації щодо вибору ступенів жорсткості для випробовування технічних засобів на стійкість до високочастотних полів

Ступінь жорсткості випробовування вибирають залежно від очікуваного електромагнітного поля в місці експлуатації КТЗ і потужності джерел високочастотних завад.

Ступінь жорсткості 1

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується низьким рівнем напруженості електромагнітного поля і розташуванням джерел високочастотних завад на значній відстані від КТЗ:

- радіо і телевізійних станцій на відстані більше, ніж 1 км;
- цифрових радіотелефонів на відстані більше, ніж 10 м.

Ступінь жорсткості 2

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується середнім рівнем напруженості електромагнітного поля, яке створюється малопотужними переносними передавачами з випромінюваною потужністю менше, ніж 1 Вт.

Ступінь жорсткості 3

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- високим рівнем напруженості електромагнітного поля, яке створюється переносними передавачами (мобільними телефонами) з випромінюваною потужністю 2 Вт і більше, що їх можна використовувати на відстані не менше ніж 1 м від КТЗ;
- наявністю радіопередавачів, промислових високочастотних установок, розташованих поблизу КТЗ.

Ступінь жорсткості 4

Установлюють для електромагнітної обстановки, що характеризується такими ознаками:

- дуже високим рівнем напруженості електромагнітного поля, яке створюється переносними передавачами (мобільними телефонами) з випромінюваною потужністю 2 Вт і більше, які можуть використовуватися на відстані менше, ніж 1 м від КТЗ;
- наявністю радіопередавачів великої потужності, які розташовані поблизу КТЗ;
- КТЗ, розташовані в одному приміщенні з промисловими високочастотними установками великої потужності.

8. ВИПРОБОВУВАННЯ НА ФУНКЦІЙНУ БЕЗПЕЧНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ

8.1. Загальні положення

Випробування – експериментальне визначення кількісних і/чи якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результату дії на нього при його функціонуванні, при моделюванні об'єкта і/чи дій.

Випробування включає в себе оцінювання та контроль.

Умови випробування – сукупність діючих чинників і/чи режимів функціонування об'єкта при випробуваннях.

Випробування на надійність – випробування, які виконують для визначення чи контролю показників надійності в заданих умовах

Випробування на функційну безпечність – випробування, які виконують для визначення чи контролю показників функційної безпечності в заданих умов

Основні випробування на функційну безпечність треба проводити у нормальних кліматичних умовах: температура навколишнього повітря від 15 до 30 °С, відносна вологість повітря від 25 % до 75% і атмосферний тиск 84–106,7 КПа (630 – 800 мм рт.ст.), якщо інші вимоги не встановлено в стандартах чи методиках випробування КТЗ конкретного виду.

Засоби вимірювання, на які поширюється державний метрологічний нагляд, треба вивіряти згідно з ДСТУ 2708, а засоби вимірювання, на які не поширюється державний метрологічний нагляд – вивіряти згідно з ДСТУ 3215. Заборонено використовувати засоби вимірювання, термін вивірення яких минув. Усі засоби вимірювання повинні мати документи із записом величин наробіток, періодичності й дати перевірення, висновків про проведені ремонти й справність.

Всі випробування та вимірювання треба проводити на спеціально обладнаних робочих місцях (стендах), зібраних і змонтованих згідно зі схемами, які наведено в стандартах, ТУ і/або методиках випробування на КТЗ конкретного виду з використанням стандартизованих і/або нестандартизованих засобів вимірювання, випробування і допоміжних пристроїв

(елементів). Можна замінювати стандартні вимірювальні прилади і випробувальне обладнання на аналогічні пристрої, що забезпечують необхідну точність вимірювання і випробовування.

В процесі випробовування заборонено підстроювати й регулювати КТЗ і його складові частини, за винятком випадків, передбачених їхніми нормативними та конструкторськими документами.

Випробовування програмно–технічних комплексів на функційну безпечність, що містять мікропроцесори та інші інтегральні схеми великої складності, додатково треба проводити на імітаційних машинних моделях.

Під час випробовування можна замінювати комплектувальні вироби і складові частини КТЗ відповідно до їх нормативних і конструкторських документів.

8.2. Методи випробовування технічних засобів на відповідність конструкційним вимогам функційної безпечності

Перевіряють відповідність лінійних розмірів, форми КТЗ і його складових частин, що впливають на функційну безпечність, конструкторським і нормативним документам зовнішнім огляданням, звірянням із кресленнями й вимірюванням за допомогою інструмента, що забезпечує необхідну точність (рулеткою, лінійкою, штангенциркулем тощо).

Випробовування на функційну безпечність КТЗ у разі допустимих змін його розташування в просторі треба проводити, якщо вони мають у своєму складі рухомі елементи, наприклад, контакти і механічні частини релейної апаратури, зокрема малогабаритні реле, які встановлено на друкованих платах. Випробовують за допомогою послідовного змінення розташування КТЗ у всіх площинах. Якщо інше не зазначено в ТУ і/або методиці випробовування КТЗ, то випробовування треба проводити через кожні 30° (із похибкою до 10%) для кожної площини. Вимірюють кут розташування КТЗ щодо площин за допомогою вимірювального приладу, що забезпечує необхідну точність, наприклад, транспортира. Перелік допустимих і

неприпустимих положень КТЗ у просторі під час його експлуатування, а також перелік небезпечних станів, що виникають через порушення розташування в просторі КТЗ, а також тривалість зазначеного випробовування треба наводити в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретної призначеності.

Правильність електромонтажу КТЗ треба перевіряти на відповідність електричним схемам і таблицям з'єднань.

Розміри провідників, відстані між ними, а також між провідниками внутрішньої структури й провідними частинами корпусу КТЗ визначають зовнішнім огляданням, звірянням із кресленнями та вимірами, одержаними за допомогою інструмента, що забезпечує необхідну точність (рулеткою, лінійкою, штангенциркулем тощо).

Перевіряти електричну міцність ізоляції треба на пробійній установці, потужність якої, випробувальна напруга, тривалість випробовування і точки під'єднання до КТЗ мають бути вказані в ТУ або методиках його випробовування, в яких окремо треба зазначити елементи КТЗ, порушення міцності ізоляції яких можуть призвести до порушення функційної безпечності. Під час випробовування треба плавно підвищувати випробувальну напругу від нуля до нормативного значення, після чого її плавно знижують до нуля. Технічні засоби і їхні складові частини вважають такими, що витримали випробовування, якщо під час їхнього випробовування не відбулося пробою й перекриття ізоляції, які призвели до небезпечного стану КТЗ.

Перед випробовуванням можна об'єднувати електричні провідники та інші елементи КТЗ, а також вилучати з конструкції КТЗ окремі елементи або пристрої, що має бути зазначено в ТУ або методиках його випробовування.

Перевіряти електричний опір ізоляції треба омметром (мегаомметром). Випробувальну напругу і точки її підведення до КТЗ треба зазначати в ТУ або методиках випробовування, де окремо вказують кола й елементи КТЗ, зміна електричного опору ізоляції яких може призвести до небезпечних станів КТЗ. Перед випробовуваннями можна об'єднувати електричні кола КТЗ і їхніх елементів, а також вилучати зі складу КТЗ окремі елементи чи пристрої, що має бути зазначено в ТУ. Визначання опору

ізоляції треба проводити не більше ніж через 1 хв після подання випробувальної напруги. Технічні засоби та їхні складові частини вважають такими, що витримали випробовування, якщо зміна опору ізоляції не призвела до порушення їхньої функційної безпечності.

Випробовувати на неможливість несанкціонованого використання органів керування КТЗ треба за допомогою прикладання зусиль до пломбованих кнопок, рукояток, ключів–жезлів та інших органів керування з метою перевірити якість елементів пломбування й неможливість несанкціонованого увімкнення чи вимкнення об'єктів керування. Визначають неможливість несанкціонованого користування органами керування технічним огляданням.

8.3. Методи випробовування технічних засобів на функційну безпечність за відсутності відмов їхніх елементів, за допустимих змін структури та напруги в мережі електроживлення, помилок оперативного й обслуговуючого персоналу

Випробовують КТЗ на функційну безпечність за відсутності відмов його елементів за допомогою контролювання функцій, важливих із позиції безпечності, у разі його працездатного стану й долучення КТЗ до роботи. Під час випробовування треба передбачувати всі необхідні режими функціонування та технологічні стани КТЗ, штатні й позаштатні стани. При випробовуванні треба моделювати технологічні ситуації й порушення логічних умов безпечності, які можливі під час експлуатації КТЗ. Перелік режимів функціонування, технологічних ситуацій, штатних і позаштатних станів, логічних умов безпечності (як разових, так і багаторазових) КТЗ треба наводити в ТУ і/або в методиках його випробовування.

Випробовувати на функційну безпечність за реконфігурації і змін структури КТЗ треба за допомогою вилучення субблоків, вимкнення окремих джерел живлення, а також за допомогою змінення (реконфігурації) структури КТЗ під час його функціонування. Перелік і послідовність вилучення субблоків, а

також допустимих змін структури КТЗ треба наводити в ТУ і/або методиках випробовування.

Випробовувати на функційну безпечність КТЗ у разі помилок оперативного персоналу треба за допомогою змінень положень органів керування, які використовують у штатному режимі (без використання пломбованих кнопок, лічильників числа натискань тощо). Під час випробовування КТЗ не повинен вмикати/вимикати об'єкти керування, для яких логічні умови безпечності не виконано, а також порушувати виконання його інших відповідальних функцій. Перелік і послідовність використання органів керування треба надавати в ТУ і/або методиках випробовувань КТЗ конкретного виду.

Випробовувати КТЗ на функційну безпечність у разі помилок обслуговувального персоналу під час технічного обслуговування й ремонту треба за допомогою контролювання виконання відповідальних функцій КТЗ при неправильному під'єднанні субблоків, кабелів, шлангів тощо. Перелік помилок обслуговувального персоналу, які моделюють під час випробовування, має бути зазначено у ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретного виду.

Технічні засоби та їхні складові частини вважають такими, що витримали випробовування, якщо у разі змінень їхньої структури, яка допустима під час експлуатування, та помилок оперативного й обслуговувального персоналу в них не виникає небезпечних станів.

8.4 Методи випробовування технічних засобів на функційну безпечність у разі відмов і пошкоджень елементів їхньої структури та зовнішніх пристроїв

Випробовувати треба для перевіряння стійкості КТЗ до виникнення небезпечних станів у разі відмови і пошкодження елементів КТЗ, а також пристроїв, що не належать до складу КТЗ, але впливають на їхню функційну безпечність.

Під час випробовування на функційну безпечність КТЗ моделюють або вводять відмови його елементів типу “обірвання”, “коротке замикання” і “параметрична відмова”,

залежно від можливості їхньої появи для конкретного елемента або пристрою. Випробовувати треба для поодиноких і багаторазових відмов і пошкоджень.

Випробовування треба починати з тих елементів, відмови яких із найбільшою ймовірністю можуть призвести до небезпечного стану КТЗ. Такими елементами, наприклад, можуть бути: елементи пристроїв сполучення внутрішньої структури КТЗ з об'єктами керування і контролювання; елементи зовнішніх установлень режимів функціонування КТЗ; елементи, в яких поєднуються канали передавання інформації різної призначеності; тактові генератори; елементи приймання й передавання сигналів синхронізації; елементи пам'яті тощо.

Під час випробовування мають бути змодельовані або внесені несправності елементів, під'єднані до органів керування особливої категорії (пломбованих кнопок і лічильників кількості натискань кнопок, ключів–жезлів, рукояток пильності тощо).

У разі неможливості введення відмов і пошкоджень у внутрішню структуру великих інтегральних схем та інших елементів КТЗ треба випробовувати на моделях, зокрема за допомогою імітаційного моделювання на ПЕОМ.

Під час випробовування резервованих КТЗ треба моделювати відмови й пошкодження як у кожному каналі резервування, так і в усіх каналах, що паралельно працюють. Перелік елементів і характер відмов, що вносять у них або моделюють, їхню кратність має бути встановлено в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретної призначеності.

8.5. Методи випробовування технічних засобів на функційну безпечність і надійність у разі дії електромагнітних завад

Методи випробовування технічних засобів на безпечність функціонування й надійність у разі дії наносекундних імпульсних завад; мікросекундних імпульсних завад; динамічних змін напруги у мережах електроживлення; електростатичних розрядів; радіочастотних електромагнітних полів; електромагнітних завад спектру функціонування цифрових радіотелефонів; гармонік напруги електроживлення;

імпульсних комутаційних завад малої енергії наведено в в 8.6 (згідно з ДСТУ 4151).

Під час випробовування КТЗ на функційну безпечність у разі дії електромагнітних завад треба встановлювати не тільки максимальні їх рівні, але й проміжні значення параметрів завад між їхніми мінімальними й максимальними рівнями, які мають бути встановлені в ТУ і/або методиках випробовування КТЗ конкретної призначеності.

8.6. Методи випробовування на електромагнітну сумісність

8.6.1. Загальні вимоги до проведення випробувань на електромагнітну сумісність

Для визначення якості функціонування КТЗ повинні піддаватися випробовуванню на стійкість до впливу електромагнітних завад різного виду з регламентованими значеннями параметрів (далі в тексті – випробовуванню на завадозахищеність).

Види та ступені жорсткості випробовування на завадозахищеність вибирають відповідно до вимог цього стандарту з урахуванням умов експлуатації КТЗ конкретних типів.

Види і ступені жорсткості випробовування на завадозахищеність, а також критерії якості функціонування КТЗ під час випробовування повинні бути встановлені в стандартах, ТЗ і (чи) ТУ на КТЗ конкретного типу. Критерії якості функціонування наведено в розділі 7 цього стандарту.

Випробовування на завадозахищеність проводять для:

- КТЗ, що їх випускають серійно, – у разі сертифікаційного, періодичного і типового випробування;
- КТЗ, що їх розробляють та (чи) модернізують, – у разі попереднього і приймального випробовування;
- КТЗ, що їх імпортують, – у разі сертифікаційного випробування.

Відбирання зразків для випробовування КТЗ на заводозахищеність виконують за такими вимогами:

- для випробовування серійно виготовлених КТЗ кількість зразків відбирають із ряду: 7, 14, 20, 26, 32, 38;
- для випробовування дослідних КТЗ відбирають 2 %, але не менше 3 зразків, якщо виготовлено більше 3 зразків, та всі зразки, якщо виготовлено 3 і менше зразків;
- для випробовування КТЗ одиничного виробництва – випробовують кожен КТЗ окремо.

На етапі сертифікаційного випробовування треба проводити:

- випробовування КТЗ на заводозахищеність за їхнього працездатного стану, в разі пошкодження чи відмови його елементів, а також в разі змінення структури КТЗ;
- випробовування КТЗ на заводозахищеність у разі спільної дії електромагнітних завод і дестабілізуючих чинників.

Перелік пошкоджень і відмов КТЗ, а також дестабілізуючих чинників, спільно з якими повинні проводитись випробовування на заводозахищеність, зазначають у стандартах, ТЗ і (чи) ТУ на КТЗ конкретних типів або методиках їх випробовування.

Порядок проведення сертифікаційного випробовування – згідно з ГОСТ 29037.

Періодичне випробовування на заводозахищеність проводять на КТЗ установчої серії у разі запровадження у виробництво чи поновлення виготовлення після перерви більше року. Для сталого серійного чи масового виробництва періодичному випробовуванню піддають не рідше одного разу на 2 роки довільно обрані КТЗ із числа тих, які витримали приймально–здавальне випробовування, й узяті зі складу готової продукції. Склад і послідовність проведення періодичного випробовування КТЗ, число зразків для випробовування вказують в ТУ на КТЗ конкретного типу.

Попереднє випробовування на заводозахищеність проводять, щоб визначити можливість подання дослідних зразків чи дослідних партій КТЗ на приймальне випробовування.

Приймальне випробовування на заводозахищеність належить до складу комплексного приймального випробовування КТЗ, що його проводять для дослідних зразків чи дослідних партій виробів одиничного виробництва відповідно, щоб вирішити питання про доцільність запровадження цієї продукції у виробництво і (чи) використання за призначенням.

Випробовування на заводозахищеність обов'язкове для КТЗ, що безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів. Такі КТЗ не дозволено допускати до експлуатації, якщо вони не витримали випробовування на заводозахищеність.

8.6.2. Умови випробовування

Випробовування здійснюють в умовах випробувальних лабораторій (центрів) і на місці експлуатації КТЗ. Приймальні та сертифікаційні випробовування на заводозахищеність КТЗ здійснюють тільки в умовах випробувальних лабораторій (центрів).

Всі випробовування, якщо в ТУ на КТЗ і (чи) методиках їхніх випробовувань немає особливих вказівок, здійснюють у нормальних кліматичних умовах: температура навколишнього повітря від 15 до 30 градусів Цельсія, відносна вологість повітря 25 – 75% і атмосферний тиск 84 – 106,7 кПа (630 – 800 мм рт.ст.), якщо інші вимоги не встановлено в стандартах чи методиках випробовування КТЗ конкретного виду.

Електромагнітна обстановка в випробувальній лабораторії (центрі) не повинна впливати на результати випробовування.

Якщо під час випробовування застосовують допоміжні пристрої для контролювання функціонування КТЗ, вони повинні бути захищені від впливів модельованих завод.

Для проведення випробовування КТЗ встановлюють і під'єднують до кіл електроживлення, сигналів керування та пересилання інформації відповідно до технічної документації. Відсутні елементи керування та контролювання, необхідні для функціонування КТЗ, замінюють імітаторами.

Випробовування здійснюють відповідно до програми та методики, в яких повинні бути визначені:

- вид випробовування;
- назва та склад КТЗ, що випробовують (для запрограмованих КТЗ додатково склад програмного забезпечення), перелік зовнішніх кабелів і ліній зв'язку, випробувального і вимірювального устаткування, їхнє взаємне розташування;
- режими функціонування КТЗ під час випробовування;
- номенклатура видів електромагнітних завад, стійкість КТЗ до яких повинна бути визначена під час випробовування;
- ступені жорсткості випробовування для кожного виду електромагнітних завад;
- критерії якості функціонування КТЗ, зокрема перелік неприпустимих збоїв і відмов КТЗ, характер їхнього прояву (припинення функціонування, несанкціоноване увімкнення чи вимкнення об'єкта керування, помилковий перезапуск КТЗ, пропуск частин програми, неприпустима помилка під час вимірювання параметрів тощо);
- потреба проведення випробовування на місці експлуатації КТЗ;
- послідовність випробовування КТЗ на стійкість до певних видів завад;
- перелік кіл, у які подають завади, місць прикладання завад, а також їх послідовність;
- полярність випробувальних імпульсів;
- тривалість випробовування, необхідна кількість випробувальних імпульсів або випробувальних впливів завад;
- перелік і послідовність уведення відмов завадозахисних засобів, у тому числі кратних (для кожного виду модельованих завад);
- перелік станів КТЗ (справний, несправний, працездатний, непрацездатний), за яких випробовують на стійкість до впливу електромагнітних завад;
- перелік структур КТЗ, які треба змінювати під час випробовування (з урахуванням резервування, реконфігурації та можливої зміни структури КТЗ при експлуатації та обслуговуванні);
- перелік і послідовність уведення відмов і пошкоджень КТЗ, зокрема кратних;

- інтервал часу, протягом якого КТЗ повинен зберігати задану якість функціонування після введення в нього зімітованих завад під час проведення випробовування на завадозахищеність.

Режими функціонування КТЗ під час випробовування повинні забезпечувати максимальну сприйнятливість до впливу електромагнітних завад.

У разі випробовування КТЗ на стійкість до одночасного впливу завад декількох видів треба обрати таку сполученість їхніх параметрів, що призводить до найбільшої сприйнятливості КТЗ до впливу завад.

Тривалість випробовування для кожного виду завад і для кожного виду прикладання модельованих завад до КТЗ повинна бути не менша тривалості циклу його функціонування і її визначають для КТЗ конкретного типу. Тривалість випробовування КТЗ для кожного виду завад не може бути менша 1 хвилини.

Всі випробовування та вимірювання треба проводити на спеціально обладнаних робочих місцях (стендах), складених і змонтованих згідно зі схемами, що наводять у стандартах, ТУ і (чи) методиках випробовування на КТЗ конкретного виду з використанням застандартизованих і (чи) нестандартизованих засобів вимірювання, випробовування і допоміжних пристроїв (елементів). Дозволено замінювати стандартні вимірювальні прилади і випробовувальне устаткування на аналогічні, що забезпечують необхідну точність вимірювання і випробовування.

В процесі випробовування заборонено робити підстроювання й регулювання КТЗ і його складових частин, за винятком випадків, передбачених нормативною та конструкторською документацією.

При випробовуваннях дозволено замінювати комплектувальні вироби і складові частини КТЗ відповідно до їх нормативної та конструкторської документації.

8.6.3. Методи випробовування на стійкість до впливу електромагнітних завад

8.6.3.1. Методи випробовування на стійкість до впливу електромагнітних завад загальнотехнічного переліку

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу наносекундних імпульсних завад – згідно з ГОСТ 29156.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу мікросекундних імпульсних завад великої енергії – згідно з ДСТУ 3681.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу імпульсних розрядів статичної електрики – згідно з ГОСТ 29191.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу динамічних змін напруги в мережі електроживлення (провалів, переривань і викидів) – згідно з ГОСТ 30376.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу радіочастотного електромагнітного поля – згідно з ГОСТ 29280.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливу високочастотних електромагнітних полів від цифрових радіотелефонів – згідно з ДСТУ ENV 50204.

Методи випробовування КТЗ на стійкість до впливів гармонік напруги живлення – згідно з ГОСТ 29280.

8.6.3.2 Методи випробовування на функційну безпеку й надійність під час дії комутаційних завад малої енергії

Дослідження джерел електромагнітних завад в системах залізничної автоматики показують, що одними з найважливіших для мікроелектронних технічних засобів є комутаційні завади, що виникають при комутації кіл електроживлення індуктивних елементів: електромагнітних реле, трансформаторів, електродвигунів тощо [14, 17, 43]. З урахуванням того, що таких елементів в системах керування руху поїздів найбільша кількість, а імітатори завад загальнотехнічного переліку не можуть адекватно модулювати такі комутаційні процеси, необхідно при випробуваннях КТЗ використовувати генератори комутаційних

завад, що побудовані на реальних джерелах завад [31–34], наприклад, на базі електромагнітних реле залізничної автоматики.

Для випробовування КТЗ на функційну безпеку при впливах несиметричних імпульсних завад, що діють у колах електроживлення, введення–виведення та пересилання інформації, КТЗ, прилади й випробовувальне устаткування з'єднують за схемою рис. 8.1, на якому зазначено: ГЗ – генератор завад з виходами “1”, “2” і клемою заземлення “3”; ВК – випробні кола; А – випробовувальна антена; КТЗ – випробний об'єкт з точкою заземлення “з”.

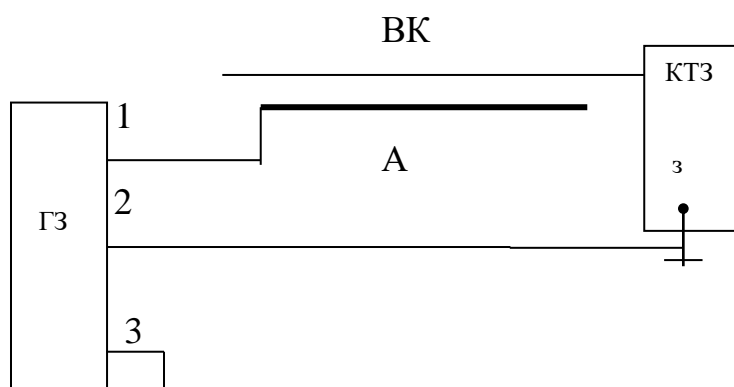


Рис. 8.1

Випробні кола (провідники, джгути проводів чи кабелі КТЗ) прокладають на відстані не менше 2 мм уздовж випробовувальної антени А (провід довжиною 5 м і перерізом $0,75 \text{ мм}^2$). Якщо довжина випробних кіл менше 5 м, тоді їх прокладають, починаючи з вершини антени.

Випробний КТЗ вмикають в роботу згідно з ТУ або його технічним описом, після чого вмикають генератор завад, на виході якого плавно підвищують амплітуду пачки імпульсів завад до нормативних значень, які наведено в табл. 8, протягом часу, встановленого в ТУ чи методиках випробовування, але не менше ніж 1 хв. В процесі випробовування КТЗ необхідно здійснювати контроль вихідних параметрів генератора пачок завад за допомогою осцилографа.

Випробовування проводять згідно з позитивною і негативною полярністю модельованих імпульсів, для всіх кіл електроживлення, введення-виведення і пересилання інформації. Дозволено одночасно випробовувати електричні кола КТЗ, розташованих у джгутах чи кабелях згідно з конструкторською документацією. Для випробовування КТЗ на стійкість до впливів завад у колах заземлення випробовувальне устаткування та КТЗ з'єднують за схемою рис. 8.2 і подають завади від генератора в антену.

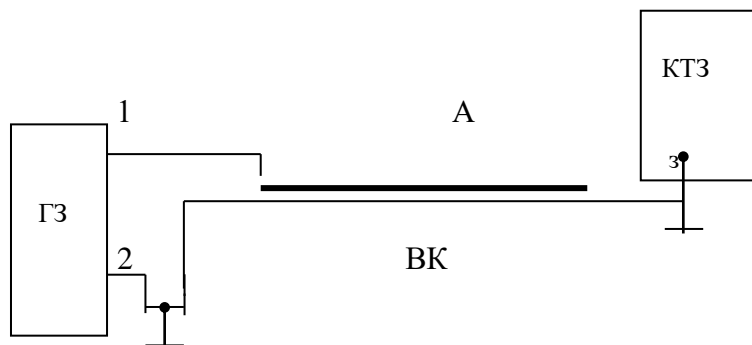


Рис. 8.2

Випробовування КТЗ також проводять для різних сполученостей розташування випробних кіл BK_i , BK_j , перелік яких наводять в ТУ чи методиках випробовування КТЗ конкретного типу. Для цього розташовують випробовувальні антени $A1$ і $A2$ уздовж електричних кіл згідно з рис. 8.3 і подають завади від генератора в антену.

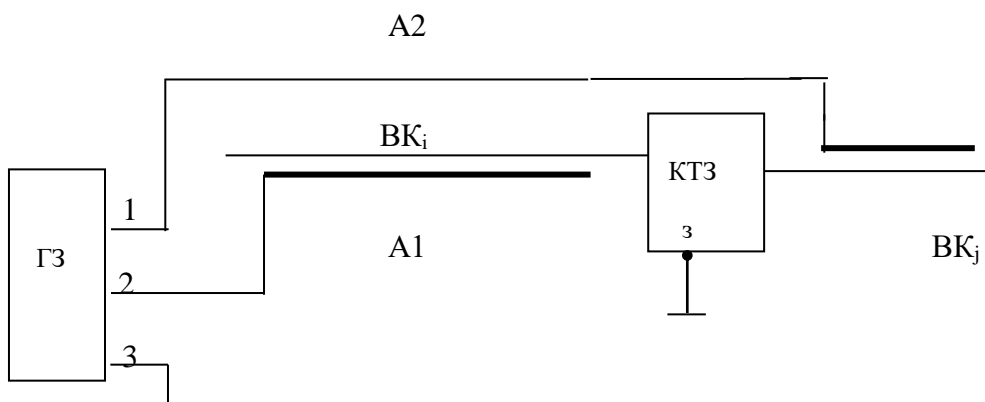


Рис. 8.3

Обов'язковими є сполученості в процесі випробовування КТЗ таких електричних кіл:

- джгути провідників (кабелі) кіл введення інформації – джгути проводів кіл виведення інформації;
- джгути проводів електроживлення – джгути проводів кіл введення інформації;
- джгути проводів електроживлення – джгути проводів кіл виведення інформації КТЗ .

Для визначення стійкості КТЗ до впливу симетричних завад, що діють у колах електроживлення, введення і виведення інформації, КТЗ, прилади й випробовувальне устаткування з'єднують за схемою рис. 8.4.

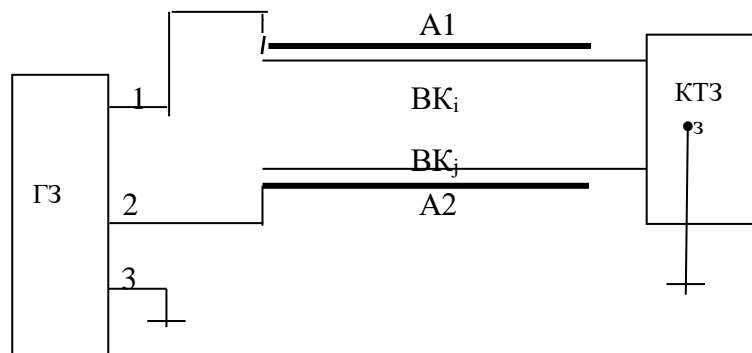


Рис. 8.4

Випробовувальні антени $A1$ і $A2$ з вищевказаними параметрами розташовують паралельно прямому і зворотному проводу випробних кіл на відстані 2 мм ($\pm 0,5$ мм). Випробні кола розташовують паралельно між собою на відстані не менше 20 см. Випробовування проводять для всіх кіл електроживлення, введення і виведення інформації (введення інформації в КТЗ від контактів колійних реле, виведення сигналів керування на пускові реле тощо), а також кіл, перелік яких зазначений у ТУ і (чи) методиці випробовування КТЗ конкретного виду. Якщо неможливо прокласти антени і випробні кола, згідно з рис. 8.4,

допускають використовувати замість них конденсатори з рівнозначною ємністю зв'язку, значення якої вказують в ТУ і (чи) методиці випробовування КТЗ конкретного виду.

Випробовування КТЗ повторюють для кіл електроживлення, введення–виведення інформації (джгутів проводів або кабелів), перелік яких надають у ТУ чи методиках випробовування КТЗ конкретного типу, за схемою рис. 8.5.

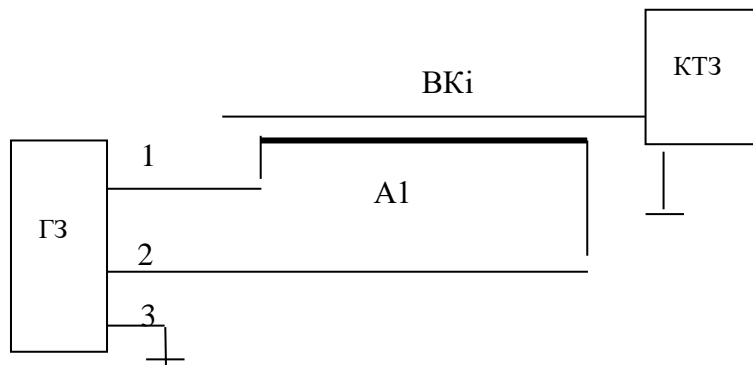


Рис. 8.5

Між генератором завод і випробовувальною антеною встановлюють конденсатор розв'язки ємністю $300 \text{ пФ} \pm 20\%$.

Для визначення стійкості до впливу електромагнітного поля випробовувальну антену А розміщують паралельно корпусу КТЗ (рис. 8.6) на відстані $5 \text{ мм} \pm 20\%$.

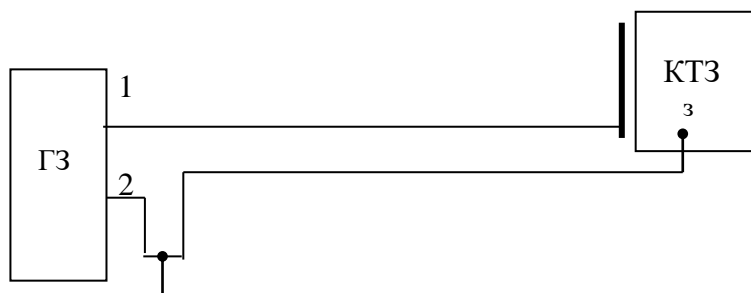


Рис. 8.6

Довжина випробовувальної антени повинна бути не менша максимального лінійного розміру площин КТЗ. Випробовування проводять для всіх площин корпусу КТЗ із розміщенням випробовувальної антени як у вертикальній, так і в

горизонтальній площині. Місця розміщення антени під час випробовування вказуються в ТУ чи методиці випробовування КТЗ конкретного виду. У разі відсутності вказівок у них на розміщення антени її розташовують паралельно центрам площин КТЗ (вертикальної та горизонтальної) і ребрам корпусу КТЗ. Дозволено встановлювати випробовувальну антену на іншій відстані від корпусу КТЗ, якщо це вказано в ТУ чи методиці випробовування КТЗ конкретного типу.

8.6.4. Структурна схема генератора комутаційних завад

Структурну схему генератора комутаційних завад наведено на рис. 8.7.

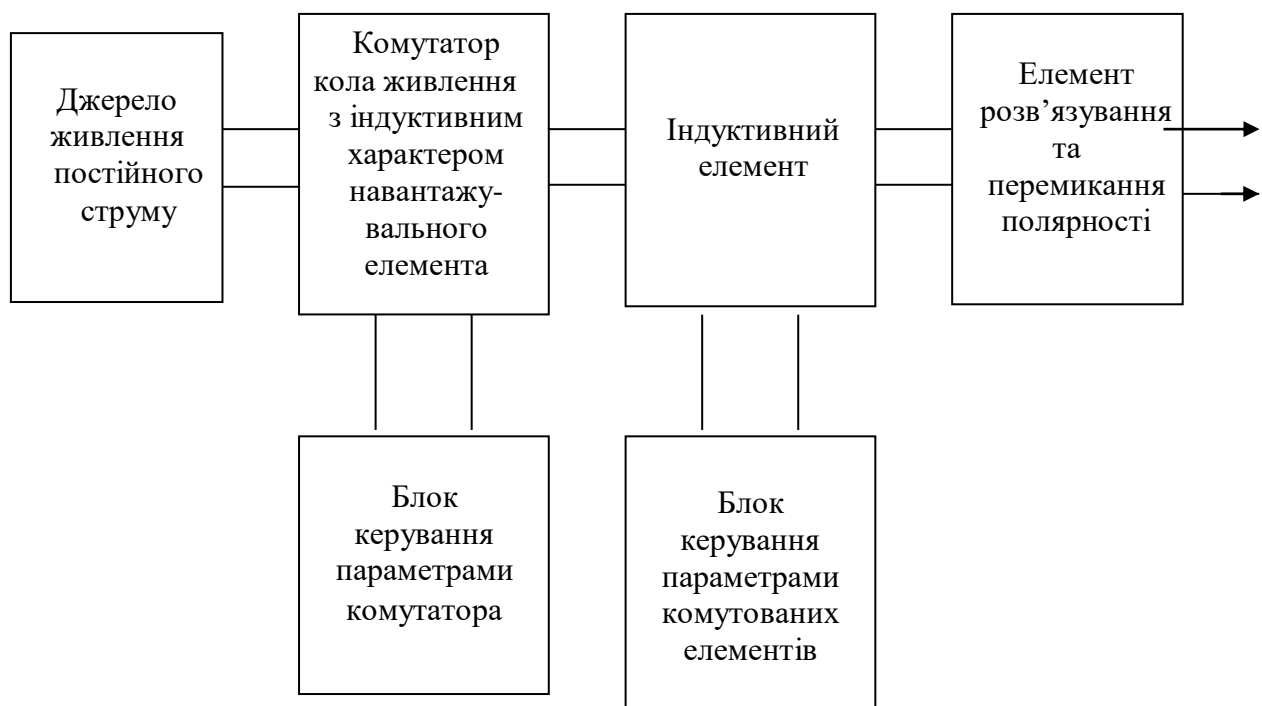


Рис. 8.7

Генератор комутаційних завад має елемент із індуктивним характером навантаження, коло живлення постійного струму якого розмикається комутатором. З початку кожного розмикання кола живлення комутованого елемента починається формування

пачки комутаційних завад. Блок керування параметрами комутатора дає змогу регулювати швидкість і частоту розмикання електричного кола. У цьому разі за підвищення швидкості розмикання амплітуда комутаційних завад збільшується, але тривалість пачки завад зменшується і навпаки. За підвищення частоти розмикання електричного кола збільшується частота формування пачок завад. Блок керування параметрами комутуваних елементів дає змогу регулювати параметри комутаційних завад: частоту імпульсів завад, їхню амплітуду та тривалість пачки завад. Елемент розв'язування та перемикання полярності дає змогу розділити електричні кола генератора завад і випробних технічних засобів, які випробовуються, та змінювати полярність імпульсів завад. Регулювання напруги живлення також змінює параметри комутаційних завад: при її підвищенні напруга та тривалість пачки імпульсів завад підвищується.

Генератор має формувати такі параметри комутаційних завад: амплітуда пачки імпульсів завад – $(0,5 - 2,0) \text{ кВ} \pm 10\%$; тривалість пачки імпульсів – не менше 1,0 мс; тривалість імпульсів (на рівні $0,5 U_{max}$) на початку пачки – не більш 0,5 мкс; тривалість заднього фронту імпульсів – не більше 100 нс. Контроль параметрів комутаційних завад виконують за допомогою запам'ятовувального осцилографа з вхідним опором не менше 5 МОм і смугою робочих частот не менше 2,5 МГц.

Генератор комутаційних завад може бути складовою частиною спеціалізованого стенда формування комутаційних завад, який повинен бути атестований.

Для побудови генератора комутаційних завад рекомендується використовувати електромагнітні реле залізничної автоматики (наприклад, реле НМШ1–1800), які мають велику індуктивність і дають змогу найточніше відтворювати комутаційні завади на об'єктах експлуатації технічних засобів керування та регулювання рухом поїздів. Для побудови генератора завад можна використовувати два або три таких реле. Принципові схеми генераторів комутаційних завад та їхній опис наведено у роботах [31–34].

8.6.5. Результати випробовування і протокол випробовування

Результати випробовування повинні бути класифіковані на основі критеріїв якості функціонування, перелічених нижче, якщо інші вимоги не встановлено в стандартах або ТУ на КТЗ конкретного виду.

Критерій А. Нормальне функціонування згідно з установленими вимогами.

Критерій В. Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції з наступним відновленням нормального функціонування, яке відбувається без втручання оператора.

Критерій В.1. Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які не призвели до небезпечного стану КТЗ, з наступним відновленням нормального функціонування, яке відбувається без втручання оператора.

Критерій В.2. Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які призвели до тимчасового небезпечного стану КТЗ, з наступним відновленням нормального функціонування, яке відбувається без втручання оператора.

Критерій С. Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які потребують втручання оператора або перезапуску КТЗ.

Критерій С.1. Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які не призвели до небезпечного стану КТЗ і потребують для їх відновлення втручання оператора або перезапуску КТЗ.

Критерій С.2 Тимчасове погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які призвели до небезпечного стану КТЗ і потребують втручання оператора або перезапуску КТЗ.

Критерій Д. Погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які не підлягають відновленню оператором через пошкодження устаткування (компонентів), порушення програмного забезпечення або втрату даних.

Критерій D.1 Погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які не призвели до небезпечного стану КТЗ і не підлягають відновленню оператором через пошкодження устаткування (компонентів), порушення програмного забезпечення або втрату даних.

Критерій D.2 Погіршення якості функціонування або припинення виконання встановленої функції, які призвели до небезпечного стану КТЗ і не підлягають відновленню оператором через пошкодження устаткування (компонентів), порушення програмного забезпечення або втрату даних.

Критерії В.1, В.2, С.1, С.2, D.1, D.2 використовують для КТЗ, які безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів або можуть призводити до загибелі, травмування, погіршення здоров'я людей; негативного впливу на довкілля, певного матеріального чи іншого збитку.

Протокол випробовування повинен містити умови проведення випробовування і результати випробовування.

8.6.6. Порядок проведення експлуатаційних і приймальних випробувань дослідних зразків пристроїв залізничної автоматики

8.6.6.1. Підготовка до експлуатаційних випробувань

Необхідність експлуатаційних випробувань для магістрального транспорту встановлює Головне управління Державної адміністрації залізничного транспорту України – замовник (далі – Головне управління). Експлуатаційні випробування повинні складатися з випробувань, які проводяться до введення у дослідну експлуатацію, і випробувань в умовах самої експлуатації, що виконуються за програмою та методикою, затвердженими Головним управлінням.

Експлуатаційним випробуванням піддають дослідні зразки, що витримали попередні заводські (лабораторні) випробування. Пристрої СЦБ, які безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів і містять електронні елементи, повинні до проведення експлуатаційних випробувань витримати випробування на

функціональну безпеку та стійкість до впливу електромагнітних завад. Перелік видів, обсяг і ступені жорсткості цих випробувань узгоджує Головне управління.

Дослідні зразки пристроїв СЦБ (далі дослідні зразки) – це розроблені нові або модернізовані системи, вироби, окремі електричні принципові схеми (схемні рішення) СЦБ.

Акт і протокол випробувань із необхідною відкоректованою конструкторською документацією організація – розробник направляє Головному управлінню.

Не більше ніж за 15 днів Головне управління зобов'язане розглянути результати попередніх заводських (лабораторних) випробувань, затвердити технічну документацію для експлуатаційних випробувань і підготувати наказ (розпорядження) на проведення цих випробувань. До проведення експлуатаційних випробувань Головне управління повинне затвердити: технічний опис та інструкцію з експлуатації, електричні принципові схеми дослідних зразків, програму й методику випробувань, принципові схеми прив'язки дослідних зразків до типових рішень, а для дослідних зразків, які безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів, також і документ "Доказ функційної безпеки". Програма та методика проведення експлуатаційних випробувань повинні бути узгоджені з підприємством, на якому вони будуть проводитись, а документ "Доказ функційної безпеки" – із лабораторією (центром), акредитованою на проведення випробувань на функціональну безпеку, або з організацією-експертом, яку призначає Головне управління.

У випадку відмови або затримки експлуатаційних випробувань у той же термін Головне управління зобов'язане повідомити розробника та виробника про обґрунтовані причини відмови.

Наказ (розпорядження) на проведення випробувань підписується Головним управлінням, а у випадках, коли до експлуатаційних випробувань причетні декілька Головних управлінь, – Укрзалізницею (УЗ).

У наказі головної організації, копії якого передаються розробнику, виробнику залізниці, повинно бути вказано: об'єкт випробувань (автоблокування, електрична централізація, АЛС

тощо); місце випробувань (залізниця, станція, перегін тощо), де необхідно провести випробування та куди необхідно відправити дослідні зразки; обсяг випробувань (кількість пристроїв або комплексів технічних засобів, станцій, сигнальних установок, стрілок тощо); запланований термін введення в дослідну експлуатацію та термін проведення експлуатаційних випробувань; термін подання документів про результати дослідної експлуатації.

Підготовлення місця для експлуатаційних випробувань забезпечує замовник або підвідомча йому організація. Проведення випробувань організовує розробник при участі виробника та замовника. Випробування проводить комісія, яка призначається відповідно до вимог цієї Інструкції.

Для проведення експлуатаційних випробувань розробник направляє залізниці затверджені програму й методику експлуатаційних випробувань, технічний опис, інструкцію з експлуатації, принципові та монтажні схеми дослідних зразків, принципові схеми прив'язки дослідних зразків до типових рішень.

Управління залізниці (служби) на підставі розпорядження УЗ (Головного управління) видає наказ (вказівку), у якому визначає ділянку, де повинні проводити експлуатаційні випробування; обсяг експлуатаційних випробувань (номенклатуру та кількість виробів); відповідальних виконавців, а також терміни закінчення будівельних і монтажних робіт, терміни початку й закінчення експлуатаційних випробувань.

Проектні роботи з прив'язки дослідних пристроїв до діючих систем повинні виконуватись за технічними рішеннями, які затверджені Головним управлінням. Для деяких дослідних виробів і окремих схемних рішень проектні роботи виконує підприємство, на об'єктах якого будуть проводити експлуатаційні випробування. У цьому випадку технічну документацію погоджують і затверджують у порядку, встановленому Інструкцією з утримання технічної документації на пристрої.

Для систем автоблокування, електричної централізації, механізації й автоматизації сортувальних гірок та інших комплексів пристроїв проект виконує проектна організація і затверджує Головне управління.

Якщо при введенні в дослідну експлуатацію нових виробів і схемних рішень змінюється існуючий порядок користування пристроями СЦБ, то підприємство, на якому планується проведення експлуатаційних випробувань, разом із розробником зобов'язане скласти Інструкцію (доповнення до інструкції) про порядок користування пристроями СЦБ на основі затверджених технічних рішень і експлуатаційних документів.

Для нових систем автоблокування, електричної централізації, АЛС, механізації та автоматизації сортувальних гірок та інших комплексів пристроїв, при зміні порядку руху або принципів сигналізації, які встановлені Правилами технічної експлуатації залізниць України, організація–розробник складає інструкцію про порядок користування пристроями, погоджує її з відповідальними Головними управліннями, апаратом Головного управління безпеки руху поїздів і автотранспорту, після цього її затверджує керівництво УЗ. На основі зазначеної інструкції та проекту підприємство, де будуть проводитися експлуатаційні випробування, забезпечує складання місцевої інструкції про порядок користування новими системами та комплексами пристроїв.

Зазначені інструкції повинні бути складені та затверджені у встановленому на залізниці порядку не менше ніж за один місяць до введення пристроїв у дослідну експлуатацію, вивчені всіма працівниками, які зв'язані з користуванням і технічним обслуговуванням нових пристроїв. Щодо знання нових пристроїв, експлуатаційних інструкцій, правил та інструкцій з техніки безпеки ці працівники повинні бути проєккзаменовані комісією, яка призначається у встановленому порядку, не пізніше ніж за п'ять днів до введення пристроїв у дослідну експлуатацію.

Організація–розробник зобов'язана ознайомитися з ділянкою, на якій планується проведення випробування, надати допомогу залізниці в регулюванні та прив'язці нових пристроїв СЦБ до діючих систем, ознайомити причетних працівників з технічними рішеннями, інструкціями про порядок користування і експлуатації.

Будівельні та монтажні роботи повинні бути виконані відповідно до вимог Правил виконання робіт з обладнання пристроями автоматики й телемеханіки залізничного транспорту.

Перед експлуатаційними випробуваннями апаратуру перевіряють у РТД дистанції сигналізації та зв'язку, перевіряють електричні характеристики без порушення пломби із заводською печаткою (без розкриття).

Для визначення готовності комплексів пристроїв (автоблокування, електричної централізації, АЛС і т.д.) до введення в дослідну експлуатацію Управлінням залізниці призначається робоча комісія, яка зобов'язана перевірити відповідність будівельної частини та монтажу пристроїв робочій документації, Правилам технічної експлуатації залізниць України (ПТЕ), оцінити якість виконаних робіт, визначити перелік і терміни усунення зауважень і зробити висновок про можливість введення пристроїв у дослідну експлуатацію. Під час перевірки робоча комісія повинна керуватися технічною документацією, програмою та методикою випробувань, ПТЕ й іншими діючими інструкціями та вказівками Міністерства транспорту та УЗ. За результатами перевірки складають акт.

Про готовність до введення в дослідну експлуатацію комплексів пристроїв і об'єктів із великим обсягом монтажних робіт в організацію, що повинна призначити комісію для приймання дослідних зразків у дослідну експлуатацію, направляють повідомлення.

8.6.6.2. Порядок уведення зразків у дослідну експлуатацію

Нові (модернізовані) пристрої у дослідну експлуатацію повинні включатися та прийматися комісією, яка призначається наказом керівництва Головного управління або за вказівкою УЗ (Головного управління) наказом Управління залізниці (служби) – для окремих виробів і схемних рішень; УЗ – для комплексу пристроїв (автоблокування, електричної централізації, АЛС тощо) і найважливіших виробів, а також у випадках, коли до випробувань причетні декілька служб залізничного транспорту (віднесення дослідних зразків до найважливіших виробів визначає Головне управління).

Наказ видають не менш ніж за 15 днів до початку роботи комісії після одержання повідомлення про готовність дослідних зразків до введення їх у дослідну експлуатацію. При невеликому обсязі монтажних робіт наказ про призначення комісії об'єднують із наказом про проведення експлуатаційних випробувань.

Комісія з приймання дослідних зразків (окремих виробів і схемних рішень) у дослідну експлуатацію повинна складатись з представників організації–розробника, Головного управління (при необхідності), служби сигналізації і зв'язку залізниці, дорожньої лабораторії автоматики й телемеханіки, дистанції сигналізації та зв'язку, а також представників інших служб, причетних до експлуатації нових пристроїв (організації руху поїздів, колійного господарства та ін.). Головою комісії призначають, як правило, представника служби сигналізації та зв'язку залізниці або представника Головного управління.

Комісія з приймання дослідних зразків (комплексу пристроїв і найважливіших виробів) у дослідну експлуатацію повинна складатись із представників організації–розробника, Головного управління, служб і підприємств залізниці, причетних до експлуатації пристроїв, які вводяться, дорожньої лабораторії автоматики й телемеханіки, дистанції сигналізації та зв'язку, проектної та будівельної організацій (якщо вони відповідно проектували й будували дослідні пристрої). Головою комісії призначають, як правило, представника залізниці або Головного управління.

Комісії з приймання пристроїв у дослідну експлуатацію подають затверджену документацію: програму й методику експлуатаційних випробувань; акти попередніх випробувань, технічний опис та інструкцію з експлуатації, принципіві схеми; проект прив'язки дослідних зразків до діючих пристроїв СЦБ; інструкцію (доповнення до інструкції) про порядок користування пристроями СЦБ; результати перевірки робочою комісією. Для технічних засобів, які безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів і містять електронні елементи, додатково подають комісії документ "Доказ функційної безпеки". Проект прив'язки та експлуатаційні документи подаються не менш ніж у трьох екземплярах.

При прийманні в дослідну експлуатацію комісія проводить перевірку й випробування за затвердженою програмою та методикою, визначає відповідність дослідного зразка вимогам технічного завдання, нормативної та технічної документації, правилам техніки безпеки, ПТЕ й іншим діючим інструкціям УЗ.

Порядок виконання робіт при введенні дослідних зразків у дію повинен відповідати вимогам ПТЕ, Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України, Інструкції із забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з утримання та ремонту пристроїв СЦБ, Правилам приймання в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів залізничної автоматики й телемеханіки, пристроїв СЦБ .

Уведення пристрою в дослідну експлуатацію оформлюють актом, до якого повинен бути прикладений протокол випробувань. Акт підписують голова та члени комісії. Його затверджують: для окремих виробів і схемних рішень – керівництво залізниці або служби сигналізації та зв'язку; для комплексу пристроїв (систем) і найважливіших виробів – керівництво УЗ або Головного управління. Протокол випробувань підписують голова та члени комісії.

Акти введення зразків у дослідну експлуатацію й протоколи випробувань у термін не більше ніж через п'ять днів організація, що його затвердила, направляє Головному управлінню, розробнику та виробнику.

Підприємство, в якому проводиться дослідна експлуатація, зобов'язане контролювати та проводити технічне обслуговування відповідно до вимог експлуатаційних документів, програми та методики експлуатаційних випробувань, інформувати розробника й замовника про недоліки в роботі дослідних зразків, а після закінчення терміну дослідної експлуатації повідомити її результати (протокол, акт і висновок) в Управління залізниці (служби).

При виявленні небезпечної відмови дослідні зразки повинні бути виключені з дії відповідно до вимог Інструкції із забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з утримання та ремонту пристроїв СЦБ або повинні вживатися заходи, передбачені для цього випадку у програмі та методиці експлуатаційних випробувань.

У пристрої, що знаходяться в дослідній експлуатації, можуть вноситися зміни тільки за технічними рішеннями, які затверджені Головним управлінням.

За результатами експлуатаційних випробувань складається протокол за формою ДСТУ 32.0.08.001–97, який підписується членами комісії та затверджується керівником підприємства, на якому проводились випробування.

Матеріали експлуатаційних випробувань, подані залізницями, розглядає Головне управління. При необхідності Головне управління або УЗ призначає комісію, яка повинна проаналізувати матеріали експлуатаційних випробувань, відгуки організацій-експертів і зробити остаточні висновки щодо доробки або можливості проведення приймальних випробувань і прийняття дослідних зразків у постійну експлуатацію. За результатами роботи комісії складають акт про розгляд матеріалів експлуатаційних випробувань дослідного зразка.

Після закінчення терміну експлуатаційних випробувань дослідних зразків і до прийняття їх приймальною комісією в постійну експлуатацію вони вважаються в дослідній експлуатації.

8.6.6.3. Приймальні випробування та приймання дослідних зразків у постійну експлуатацію

Приймальні випробування проводяться, як правило, на одному або кількох об'єктах, незалежно від кількості дослідних зразків, що знаходяться в дослідній експлуатації, а усі висновки й пропозиції комісії поширюються на всі інші дослідні зразки. Для комплексів пристроїв (систем) допускаються приймальні випробування одиничних дослідних зразків. Для несерійної та дрібносерійної продукції приймальні випробування проводяться на головному зразку; для нової, модернізованої або модифікованої продукції – на головних зразках першої промислової партії. Приймальним випробуванням можуть не піддаватися дослідні зразки, що виготовляються шляхом агрегатування зі складових частин, що уже випускаються, якщо властивості дослідних зразків цілком визначаються властивостями їхніх складових частин, а також дослідні зразки,

властивості яких можуть бути цілком визначені експертними або розрахунковими методами.

Приймальні випробування та приймання дослідних зразків у постійну експлуатацію проводиться одночасно приймальною комісією.

Наказ про призначення приймальної комісії видає Головне управління – для виробів і схемних рішень, УЗ – для комплексу пристроїв (систем) і найважливіших виробів, у цьому випадку Головне управління – замовник не пізніше ніж через 10 днів після одержання повідомлення про готовність дослідного зразка до пред'явлення приймальній комісії зобов'язане підготувати відповідний проект наказу.

Приймальну комісію формують відповідно до вимог ДСТУ 32.0.08.001–97, крім того, до складу комісії повинні входити представники організацій і підприємств залізничного транспорту, причетних до експлуатації прийнятих пристроїв.

Приймальній комісії пред'являють документи: для виробів і систем – відповідно до вимог ДСТУ 32.0.08.001–97; для технічних засобів, які безпосередньо впливають на безпеку руху поїздів і містять електронні елементи, – додатково ще й документ "Доказ функційної безпеки" разом із протоколами випробувань пристроїв на стійкість до небезпечної відмови, безпеку функціонування при впливах електромагнітних завад, кліматичних, механічних та інших чинників. Для схемних рішень перелік документів уточнюють у кожному конкретному випадку і визначають у програмі та методиці випробувань.

Приймальна комісія проводить випробування дослідного зразка відповідно до затвердженої програми й методики. Під час приймальних випробувань повинні бути розглянуті та враховані результати експлуатаційних випробувань, відгуки залізниць і організацій – експертів.

При відповідності дослідного зразка вимогам Технічного завдання та технічної документації комісія приймає його в постійну експлуатацію, рекомендує до постановки на виробництво, дає пропозиції щодо обсягу установчої серії, схемні рішення рекомендує прийняти в якості типових для проектування.

Дослідний зразок не може бути прийнятий у постійну експлуатацію і рекомендований до постановки на виробництво, якщо його показники нижче вимог Технічного завдання, у тому числі й за технічним рівнем. У цьому випадку комісія вказує на подальший напрямок робіт з удосконалювання, продовження терміну експлуатаційних випробувань або припинення подальших робіт і демонтування пристроїв, що знаходяться в дослідній експлуатації.

Прийняття комісією дослідного зразка та введення його в постійну експлуатацію оформлюють актом, до якого додають протокол приймальних випробувань. Форма акту та протоколу – згідно з ДСТУ 32.0.08.001–97. Акт і протокол комісія подає в організацію, що видала наказ про її призначення. Акт затверджується керівництвом УЗ – для комплексів пристроїв і найважливіших виробів і Головним управлінням – для всіх інших виробів і схемних рішень. Датою введення пристроїв у постійну експлуатацію вважається дата підписання акта приймальною комісією.

На підставі акта приймання дослідного зразка приймальною комісією і згідно з вимогами ДСТУ 32.0.08.001–97 відповідні організації видають накази про постановку нового виробу на виробництво та введення в типові рішення для проектування на залізницях: УЗ – для комплексів пристроїв і найважливіших виробів; Головне управління – для всіх інших виробів і схемних рішень.

9. ДОКАЗ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ І СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ

9.1. Особливості доказу функційної безпечності мікроелектронних пристроїв і систем

Мікроелектронні технічні засоби залізничної автоматики і комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів (КТЗ), у порівнянні з релейними комплексами пристроїв, мають у своєму складі значну кількість принципово

нових мікроелектронних елементів. Ці елементи є функціонально менш безпечними, ніж електромагнітні реле 1 класу надійності, на базі яких побудована концепція забезпечення функційної безпечності систем залізничної автоматики. Мікроелектронні елементи є елементами з симетричними відмовами, при виникненні яких вони не тільки розмикають, але і замикають електричні кола, що може призводити до несанкціонованого увімкнення відповідальних виконавчих пристроїв, одержання недостовірної інформації та порушення функцій із гарантування безпеки руху поїздів.

Електромагнітна обстановка в місцях експлуатації КТЗ характеризується високою інтенсивністю виникнення електромагнітних завад, значною їх амплітудою та широким діапазоном частотного спектра. Використання в технічних засобах залізничної автоматики мікроелектронних елементів, які мають малу порогову енергію переключення та пошкодження, призводить до того, що вони стають чутливими до небезпечного впливу різних видів завад, які раніше не враховувались при створенні та експлуатації релейних систем. До таких електромагнітних завад належать впливи електромагнітного випромінювання від мобільних телефонів і радіостанцій, імпульсні наносекундні та мікросекундні комутаційні завади малої енергії, динамічні зміни напруги в мережах електроживлення, розряди статичної електрики.

В мікроелектронних КТЗ інтенсивність збоїв і відмов через електромагнітні завади може в багато разів перевищувати інтенсивність їхніх відмов через зношування та старіння. Так, наприклад, інтенсивність відмов інтегральних мікросхем $\lambda = 10^{-7} - 10^{-9}$ 1/год. [5] у той час як інтенсивність виникнення завад на об'єктах експлуатації КТЗ – від одиниць до тисяч імпульсів на годину [12-14]. Використання елементів захисту від завад не завжди вирішує проблему забезпечення функційної безпечності КТЗ, тому що відмови цих елементів у більшості випадків є неконтрольованими і можуть призводити не тільки до зниження безвідмовності КТЗ, але й до виникнення в них небезпечних відмов.

Проблема забезпечення функційної безпечності КТЗ через вплив електромагнітних завад згодом буде ускладнюватися через

появу мікроелектронних елементів із більш високою швидкістю і меншою енергією спрацьовування, більш потужних джерел електромагнітних завад, наприклад, нових видів електрорухомого складу, виконавчих пристроїв, апаратури зв'язку, а також розширення полігона експлуатації різних мікроелектронних засобів, що впливають один на одного. Унаслідок цього, доказ функційної безпечності мікроелектронних КТЗ при впливах електромагнітних завад у багатьох випадках може бути більш складним завданням, ніж доказ функційної безпечності через старіння і/або зношування їхніх елементів.

Сучасні КТЗ мають складну структуру, у ряді випадків мають у собі програмовані пристрої та можуть допускати небезпечні відмови, які простими, традиційними методами на етапі введення їх в експлуатацію виявити не завжди вдається. Тому, з огляду на складність і важливість забезпечення функційної безпечності мікроелектронних КТЗ, треба ввести особливий порядок їх допуску в експлуатацію. Основою для цього є введення в дію документа "Доказ функційної безпечності КТЗ", підготовку якого забезпечує розробник (виробник) продукції та надає його замовнику (покупцю) і організаціям, які здійснюють експертування чи сертифікування продукції. Без проведення експертизи та затвердження замовником вищезазначеного документа введення в експлуатацію мікроелектронних КТЗ, безпосередньо пов'язаних із забезпеченням безпеки руху поїздів, не допускається [2, 7, 41].

9.2. Етапи доказу функційної безпечності та їх загальна характеристика

Основними етапами доказу функційної безпечності КТЗ є:

- 1) розрахунок показників функційної безпечності;
- 2) стендові випробовування;
- 3) випробовування з використанням моделей;
- 4) полігонні й експлуатаційні випробовування;
- 5) експертне оцінення функційної безпечності КТЗ.

Розрахунок функційної безпечності виконують на ранніх стадіях розроблення КТЗ. Результати розрахунку є підставою для прийняття рішення про доцільність подальшого розроблення й проведення наступних, більш складних етапів доказу функційної безпечності КТЗ. Розрахунок кількісних показників функційної безпечності та їх оцінку подають у документі «Доказ функційної безпечності». Крім цього, для окремих КТЗ замовник (покупець) може зажадати від розробника (виробника) надання розрахунку показників безвідмовності. Ця вимога обумовлена тим, що в ряді випадків небезпечні відмови є наслідком виникнення захисних відмов і, у випадку недостатньої безвідмовності, будуть створені передумови для недопустимого зниження безпеки руху поїздів. Недостатня безвідмовність може бути викликана однобічним підвищенням у КТЗ показників функційної безпечності, особливо в резервованих системах.

Стендові випробовування проводять з урахуванням впливів зовнішніх чинників, які створюють штучним шляхом за допомогою випробовувального обладнання. Стендові випробовування КТЗ на безпеку та безвідмовність повинні проводитися за різними методиками та містити різні вимоги до параметрів зовнішніх впливів, які моделюються. Метою випробовувань на безвідмовність КТЗ є визначення їхньої стійкості до появи збоїв і відмов, що призводять до захисних станів КТЗ. Стендові випробовування КТЗ на функційну безпечність призначені для визначення можливості виникнення в них збоїв і відмов, що призводять до небезпечних станів. Такими небезпечними станами можуть бути, наприклад, стани КТЗ, коли не виконуються логічні умови безпеки через пропуск частин програми; відбувається несанкціоноване увімкнення (неувімкнення) чи вимкнення (невимкнення) об'єктів управління; здійснюється передача помилкової інформації про стан об'єктів контролю; виконується перезапуск КТЗ через завади та змінюється його частота; неможлива реконфігурація об'єкта при відмовах каналів резервування. При випробовуваннях на стійкість до небезпечної відмови проводять дослідження впливу на безпеку функціонування КТЗ однократних і кратних відмов його елементів, при яких фізично вводять короткі замикання, виконують дії з обриву електричних провідників чи вилучення

елементів, підключають замість штатних елементів інші елементи, але зі зміненими параметрами. При стендових випробовуваннях КТЗ треба проводити моделювання раптових і поступових відмов елементів засобів захисту від завад. До таких відмов, наприклад, належать зміни ємностей конденсаторів і опорів резисторів фільтрів, обірвання та короткі замикання котушок індуктивності, трансформаторів, розрядників та інших елементів.

Визначення стійкості КТЗ до небезпечних впливів завад аналітичними методами в більшості випадків є дуже складними, тому що математичні моделі не завжди повною мірою враховують реальні впливи зовнішніх дестабілізуючих чинників. Унаслідок цього в розрахунках показників функційної безпечності можуть з'являтися похибки, наприклад, через наявність у реальних умовах потоків збоїв і відмов КТЗ, які не можуть бути найпростішими. Тому основними методами підтвердження безпечного функціонування при впливі завад є стендові випробовування.

Випробовування з використанням моделей здійснюють методами фізичного й математичного моделювання. Фізичне моделювання полягає в тому, що первинний параметр об'єктів випробовувань заміняють фізичною моделлю, здатною імітувати зміни даного параметра. Математичне моделювання базується на використанні рівнянь, що зв'язують вхідні й вихідні параметри об'єкта випробувань. Ці рівняння складають, вивчаючи конкретні КТЗ і їхні функціональні внутрішні зв'язки, після чого виконують математичний опис установлених зв'язків з урахуванням дестабілізуючих чинників. Найбільш перспективним є використання імітаційного моделювання на ПЕОМ, яке доповнює чи заміняє випробовування КТЗ, що вимагають великих матеріальних витрат.

При моделюванні впливів завад на КТЗ визначають найбільш імовірні елементи КТЗ, помилкові переключення яких можуть призводити до небезпечних відмов. До таких елементів найчастіше належать тригери, регістри, лічильники та інші елементи пам'яті мікроелектронних цифрових КТЗ. На моделі виконується перевірка функціонування КТЗ при введенні n -

кратних помилкових переключень цих елементів не тільки в основних, але й у резервних комплектах.

Полігонні та експлуатаційні випробовування проводять при природних впливах зовнішнього середовища. Для полігонних і експлуатаційних випробовувань вибирають ділянки залізниці з урахуванням можливих особливостей довкілля, видів тяги поїздів і електрорухомого складу, типів КТЗ і наявності характерних джерел зовнішніх впливів.

Експлуатаційні випробовування вимагають великої кількості об'єктів і тривалості для їхнього проведення через необхідність мати високу довірчу ймовірність одержуваних результатів із доказу функційної безпечності. Тому вони в основному призначені для доказу безпеки виробів, які виготовляються великою серією. Для КТЗ, що виготовляються малою серією, чи комплексів КТЗ одиничного виробництва експлуатаційні випробовування можуть підтвердити (або ні) тільки їхні показники призначення та безвідмовності. Для таких КТЗ фіксація відсутності небезпечних відмов у період експлуатаційних випробовувань не є доказом функційної безпечності всієї сукупності КТЗ.

Використання експертних методів оцінення функційної безпечності має бути обов'язковим перед кожним виконанням етапу доказу функційної безпечності й безвідмовності КТЗ. Експертні оцінки можуть призводити до висновків про недоцільність проведення наступних етапів доказу безпеки КТЗ та необхідність доопрацювання КТЗ без проведення складних випробовувань або з мінімальним обсягом випробовувань. Висновки експертів ґрунтуються на аналізі алгоритмів функціонування, принципів схем і конструкторської документації КТЗ, особистому досвіді розроблення та експлуатації КТЗ, аналізі попередніх етапів доказу функційної безпечності та іншої інформації.

9.3. Вимоги до документа "Доказ функційної безпечності технічних засобів "

У розділі "Вступ" треба навести: призначеність КТЗ, його взаємодію з іншими пристроями та рівнями убезпечнювання виконання заданих функцій, умови експлуатації та технічного обслуговування.

У розділі "Нормативні та інші документи, що використовують для доказу функційної безпечності" треба подати перелік міжнародних, національних і/або галузевих документів, які регламентують вимоги та методи випробовування функційної безпечності КТЗ.

У розділі "Характеристика об'єкта" необхідно надати:

- стислий опис принципів його побудови і функціонування, зокрема, опис структури, способу резервування, типу розв'язуваних елементів резервованого КТЗ (у разі наявності), конструкційного оформлення, інтерфейсів (людино-машинного, внутрішнього і зовнішнього системного інтерфейсу);
- вимоги та норми функційної безпечності;
- критерії небезпечних відмов;
- концепцію досягання функційної безпечності;
- організаційні заходи досягання функційної безпечності.

У розділі "Підтвердження функційної безпечності за відсутністю дестабілізуючих чинників" треба надати доказ функційної безпечності апаратного та програмного забезпечення КТЗ за нормальних умов експлуатування, відсутності відмов їхніх елементів і впливу зовнішніх чинників (з урахуванням передбачених заходів із кондиціювання, вентиляції та екранування), припустимих змінах структури та напруги в мережі електроживлення.

В розділі "Наслідки відмов і збоїв" треба довести, що поодинокі відмови та збої не призводять до порушення функційної безпечності КТЗ. У цьому разі має бути надано доказ незалежності виникнення небезпечних відмов в окремих підсистемах і/або резервованих частинах КТЗ, що можуть відбуватися, наприклад, за рахунок фізичних чи функційних

внутрішніх і зовнішніх зв'язків, зумовлених електромагнітним чи гальванічним зв'язком, впливами електромагнітних, кліматичних, механічних та інших дестабілізуючих чинників, функціонуванням системи електроживлення або зовнішніх пристроїв уведення/виведення інформації. У цьому розділі треба підтвердити, що поодинокі відмови КТЗ, які разом із наступними його відмовами можуть перевести КТЗ у небезпечний стан, будуть виявлені досить швидко та до появи таких небезпечних відмов або КТЗ примусово перейде в захисний стан. Інтервал тестування КТЗ (під час використання апаратного періодичного контролювання) чи інтервал технічного обслуговування (під час використання обслуговувального персоналу) треба встановити меншим, ніж тривалість виявлення й усунення таких відмов. Після виявлення відмови й переходу КТЗ у захисний стан подальші відмови та збої КТЗ не повинні призводити до його небезпечних станів.

Для випадку виникнення багаторазових відмов, наприклад, подвійних чи потрійних відмов, що переводять КТЗ у небезпечний стан безпосередньо чи в комбінації з наступними відмовами або збоями, треба надати доказ того, що вони будуть виявлені протягом такого часу, за який були б забезпечені необхідні вимоги функційної безпечності КТЗ. Тривалість відновлення працездатного стану КТЗ або його переходу у захисний стан із можливістю повторного вмикання тільки обслуговувальним персоналом повинна бути не менш ніж розрахункові значення, що забезпечують вимоги функційної безпечності КТЗ.

У цьому розділі треба довести, що відмови апаратури періодичного контролювання та зовнішніх пристроїв убезпечнювання КТЗ, а також пристроїв, функціонально пов'язаних із КТЗ, не призводять до порушення вимог його безпечності. Перелік таких пристроїв має бути наведено в цьому розділі.

В розділі "Функційна безпечність у разі помилок оперативного й обслуговувального персоналу" треба надати доказ того, що за нормального функціонування й обслуговування КТЗ допустимі помилки персоналу не призводять до порушення вимог його функційної безпечності. Перелік таких допустимих

помилки має бути наведено в цьому розділі, де також треба зазначити помилкові та небезпечні дії персоналу, що можуть призводити до зниження безпечності КТЗ (натискання певних кнопок, недопустиме підвищення напруги електроживлення, змінення розташування в просторі, неправильне підключення модулів тощо), а також заходи, спрямовані на усунення цих помилок.

В розділі "Функційна безпечність у разі дії зовнішніх чинників" повинно бути підтвердження того, що за нормованими значеннями зовнішніх чинників забезпечується необхідна безпека КТЗ. До таких чинників відносять: кліматичні чинники (максимальна та мінімальна температура й вологість, короткочасна швидка зміна температури тощо); механічні чинники (вібрація, удари, акустичний вплив); електромагнітні чинники (імпульсні завади, провали й перенапруги в мережі електроживлення, розряди статичної електрики, вплив електромагнітного випромінювання та гармонік напруги живлення); зміну параметрів енергопостачання (зміна напруги й частоти електроживлення, його форми); особливі чинники експлуатування, зумовлені споживачем КТЗ (хімічні, радіаційні, біологічні, атмосферні). У цьому розділі треба довести, яким чином унеможливають несанкціонований доступ до КТЗ (несанкціоноване керування технологічним процесом руху поїздів, світлофорами, стрілочними електроприводами тощо), зокрема, навмисний доступ неуповноваженого персоналу і ненавмисний доступ уповноваженого персоналу. Треба зазначити, як виконується захист від таких видів доступу, наприклад, за допомогою розміщення КТЗ у корпусі чи шафі; його пломбування, механічного чи електричного кодування та замикання; просторового розташування та огороження; використання спеціалізованого програмного забезпечення.

У розділі "Дотримання умов застосування, що впливають на функційну безпечність" треба визначити умови експлуатації й обмеження, що їх треба дотримуватися під час уведення в дію та експлуатування КТЗ:

- особливості вмикання, запускання, експлуатування та технічного обслуговування;

- запобіжні заходи стосовно функційної безпечності й електромагнітної сумісності, наприклад, правильне заземлення, екранування, розташування модулів, кабелів і проводів;
- особливості контролювання безпечності в працездатному та у справному станах;
- особливості функціонування резервованих систем і тривалість їхнього перебування в несправному, але працездатному стані, наприклад, у разі відмови одного з каналів мажоритарного резервування;
- особливості прикладного програмного забезпечення для КТЗ конкретної призначеності, якщо доказ функційної безпечності чи сертифікація виконані для типу КТЗ (наприклад, системи керування стрілками та сигналами для станцій з іншим колійним розвитком, локомотивних пристроїв убезпечнювання для іншого рухомого складу тощо);
- особливості виведення з експлуатування.

У розділі "Випробовування на функційну безпечність і надійність в експлуатаційних умовах" треба навести результати випробовування КТЗ у реальних умовах експлуатації, що дають додаткову впевненість у забезпеченні необхідних показників функційної безпечності й надійності. Зазначені випробовування не можуть бути єдиним засобом доказу функційної безпечності КТЗ при обмеженому обсязі випробовування і недостатньому рівні довірчої ймовірності до результатів випробування (порівняно з дуже малими значеннями допустимих імовірностей небезпечних відмов).

9.4. Вимоги до етапів життєвого циклу технічного засобу і зміст документа "Висновок щодо функційної безпечності технічних засобів"

На етапі життєвого циклу КТЗ "Розробляння технічного завдання" треба визначити обсяг і рівні кількісних і якісних вимог функційної безпечності КТЗ, що фіксують у відповідних розділах ТЗ – "Показники призначеності" і/або "Вимоги безпечності й охорони довкілля". До цих вимог належать:

- вимоги до функцій КТЗ, які впливають на його безпечність і потрібно виконувати за відсутністю дестабілізуючих чинників;
- вимоги до показників функційної безпечності, що характеризують імовірну природу виникнення небезпечних відмов;
- вимоги до функційної безпечності КТЗ у разі дії дестабілізуючих чинників;
- вимоги до якісних показників функційної безпечності, які характеризують помилки, що виникають на стадіях життєвого циклу "розробляння - експлуатування" КТЗ.

Після закінчення виконання цього етапу (до затвердження ТЗ) організація-експерт надає документ "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ (назва КТЗ). Етап 1 – “Розробляння технічного завдання ”.

На етапі життєвого циклу КТЗ "Розробляння принципів побудови КТЗ, концепції та програми забезпечення його функційної безпечності і надійності" треба визначити та зареєструвати в документі "Концепція досягання функційної безпечності й надійності технічних засобів" таке: за рахунок чого досягають безпечності структури КТЗ і його складових частин; перелік небезпечних станів, збоїв і відмов КТЗ та наслідки, до яких вони можуть призвести (по відношенню до об'єктів керування або контролювання); імовірні дестабілізівні небезпечні чинники та джерела небезпек, зокрема від взаємодії з іншими об'єктами (що їх експлуатують або вводять в експлуатацію); зовнішні події, які треба враховувати під час аналізування функційної безпечності.

На цьому етапі розробник або виробник КТЗ повинен розробити спеціальний документ – "Програму досягання функційної безпечності і надійності технічних засобів", що визначає організаційні та технічні заходи, спрямовані на досягнення функційної безпечності і надійності КТЗ на стадіях розробляння, експлуатаційного випробовування й запровадження у виробництво, серійного виготовлення й експлуатування. У цьому документі треба врахувати та зареєструвати таке:

- стратегію і методику досягнення необхідної функційної безпечності й надійності КТЗ;
- визначання підприємств або організацій, відповідальних за виконання вимог функційної безпечності й надійності КТЗ;
- обсяг необхідної документації та інформації, зокрема, із можливих наслідків виникнення небезпечних і захисних станів КТЗ;
- процедуру вхідного контролювання комплектувальних елементів і виробів КТЗ;
- певні процедури й методи випробовування, що повинні бути використані для виконання вимог функційної безпечності й надійності КТЗ;
- технологію забезпечення виконання та прийняття рішень для КТЗ, у яких визначено недопустимі значення показників функційної безпечності і надійності (за результатами експертизи технічної документації, розрахунків функційної безпечності і надійності, імітаційного і фізичного моделювання, випробовування КТЗ на стійкість до впливу дестабілізуючих чинників);
- перевіряння кваліфікації та компетентності осіб і організацій, відповідальних за досягання функційної безпечності на всіх етапах життєвого циклу КТЗ, зокрема, за навчання та перепідготовку оперативного й обслуговувального персоналу;
- методику визначання відмов і пошкоджень елементів КТЗ, що можуть виникнути під час їхнього обслуговування та ремонту;
- вимоги до періодичного випробовування КТЗ на функційну безпечність і надійність.

На цьому етапі треба визначити послідовності станів, що призводять до небезпечних відмов КТЗ, а також проаналізувати його функційну безпечність і надійність у разі дії зовнішніх дестабілізуючих чинників, які є в реальних експлуатаційних умовах або можуть з'явитися протягом експлуатування КТЗ. Для кожного небезпечного стану необхідно визначити необхідні запобіжні заходи щодо мінімізації ймовірності їх виникнення.

Після закінчення виконання цього етапу організація-експерт надає документ "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ

(назва КТЗ). Етап 2 – “Розробляння принципів побудови КТЗ, концепції та програми забезпечення його функційної безпечності й надійності”.

На етапі життєвого циклу КТЗ "Розробляння технічної документації" його розробник або виробник має підтвердити відсутність небезпечних станів КТЗ для всіх режимів роботи (з урахуванням апаратури періодичного контролювання), для всіх прогнозованих обставин, зокрема, у разі певних відмов елементів КТЗ і устаткування, пов'язаного з його функціонуванням, а також у разі визначених помилок оперативного й обслуговувального персоналу. В технічних умовах на виготовлення КТЗ конкретного типу треба навести конструкційні, виробничі й експлуатаційні способи убезпечнювання. На цьому етапі організація-розробник забезпечує виконання розраховування кількісних показників функційної безпечності КТЗ та обґрунтування безпечності функціонування його програмованих засобів. Результати цих робіт надає організація-розробник КТЗ у відповідних розділах документа "Доказ функційної безпечності технічних засобів".

Після виконання цього етапу життєвого циклу КТЗ організація-експерт аналізує технічну документацію, зокрема технологічні алгоритми й програми функціонування КТЗ (для програмованих засобів) і надає документ "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ (назва КТЗ). Етап 3 – "Розробляння технічної документації".

На етапі життєвого циклу "Виготовляння дослідного зразка та проведення стендового випробовування" організація-розробник аналізує виконання конструкційних вимог функційної безпечності та проводить такі випробовування:

- на функційну безпечність за відсутністю дестабілізуючих чинників;
- на безпечність функціонування КТЗ у разі помилкових дій оператора, персоналу, що виконує його обслуговування та ремонт;
- на стійкість КТЗ до виникнення небезпечних станів у разі виникнення відмов його елементів і пристроїв, пов'язаних із функціонуванням КТЗ;

- на функційну безпечність КТЗ у разі зміни параметрів енергопостачання та впливів електромагнітних завад, кліматичних, механічних та інших чинників, зазначених у ТЗ і/або ТУ.

Для доказу відсутності небезпечних станів КТЗ у разі певних його відмов і пошкоджень організація-розробник забезпечує виконання фізичного і/або імітаційного моделювання відмов елементів КТЗ.

Результати дослідження функційної безпечності КТЗ організація-розробник фіксує у відповідних розділах звітнього документа "Доказ функційної безпечності технічних засобів".

По закінченні виконання цього етапу організація-експерт надає "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ (назва КТЗ). Етап 4 – "Виготовлення дослідного зразка та проведення стендового випробовування".

На етапі життєвого циклу "Експлуатаційні випробовування дослідного зразка" розробляють програми та методики експлуатаційного випробовування, у яких треба визначити:

- спосіб функціонування КТЗ (як основний засіб убезпечнювання руху поїздів чи як засіб, на який не покладають виконання відповідальних функцій);
- способи вмикання КТЗ до дієвої апаратури (паралельно чи послідовно з дієвими пристроями);
- полігон випробовування (ділянки залізниць із різними видами тяги поїздів і енергопостачання, грозовою активністю, інтенсивністю руху поїздів), тривалість і сезонні умови проведення випробовування, інші умови експлуатації;
- спосіб збирання інформації про небезпечні та захисні стани КТЗ і їхня реєстрація.

Якщо КТЗ як основний засіб убезпечнювання руху поїздів ставлять на експлуатаційні випробовування, то до такого випробування допускаються тільки дослідні зразки, на які є позитивні висновки організацій-експертів із функційної безпечності для перелічених вище етапів життєвого циклу КТЗ.

Результати експлуатаційного випробовування дослідного зразка КТЗ надає організація-розробник у відповідному розділі звітнього документа "Доказ функційної безпечності технічних засобів".

По закінченні етапу організація-експерт аналізує результати експлуатаційного випробовування дослідного зразка КТЗ і надає документ "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ (назва КТЗ). Етап 5 –"Експлуатаційні випробовування дослідного зразка".

На етапі життєвого циклу КТЗ "Виготовлення дослідної партії та її експлуатаційні випробовування" треба враховувати результати експлуатаційного випробовування дослідного зразка та висновки організацій-експертів (організації-експерта). На цьому етапі треба провести статистичне випробовування на функційну безпечність і надійність КТЗ визнаними методами чи методами, погодженими із Замовником. У програмі та методиці статистичного випробовування на функційну безпечність і надійність треба визначити: обсяг вибірки, довірчу ймовірність очікуваних результатів, умови та методики випробовування для кожного зразка КТЗ (якщо умови застосування КТЗ будуть відрізнятися). На підставі проведеного випробовування треба визначити статистичні показники надійності та функційної безпечності. За узгодженням із Замовником дозволено визначати ці показники розрахунково-експериментальним методом. У випадку великої вартості експлуатаційного випробовування КТЗ на безпечність в повному обсязі дозволено проведення скороченого випробовування КТЗ із метою розроблення рекомендацій з підвищення його безпечності. У цьому випадку позитивні результати експлуатаційного випробовування (без урахування попередніх етапів доказу безпечності) не можуть бути підставою для прийняття рішення щодо функційної безпечності КТЗ. Результати дослідження функційної безпечності КТЗ під час виготовлення дослідної партії КТЗ та її експлуатаційного випробовування організація-розробник надає у відповідному розділі звітнього документа "Доказ функційної безпечності технічних засобів".

По закінченню виконання цього етапу, на підставі аналізування безпеки дослідної партії КТЗ і результатів її

експлуатаційного випробовування, організація-експерт надає документ "Висновок щодо функційної безпечності КТЗ (назва КТЗ). Етап 6 – "Виготовлення дослідної партії КТЗ та її експлуатаційні випробовування".

Підписання акта приймального випробовування і організування серійного виробництва КТЗ має відбуватися тільки за наявності позитивних висновків організацій-експертів (організації-експерта) щодо забезпечення необхідної функційної безпечності КТЗ.

9.5. Експертні оцінки функційної безпечності

Експертні оцінки дозволяють орієнтовно оцінити ступінь безпеки КТЗ у короткий термін і з малими витратами. Їх використання найбільш важливо при відсутності повної та достовірної інформації про надійність і функційну безпечність комплектувальних виробів, що входять до складу КТЗ; при врахуванні якісних характеристик функційної безпечності КТЗ; а також тоді, коли необхідно зробити прогноз щодо безпеки КТЗ через можливі зміни дестабілізуючих чинників у майбутньому.

Метод експертного оцінення через малу вірогідність висновків не може бути єдиним доказом функційної безпечності КТЗ і повинний застосовуватися разом з іншими методами.

Використання експертних методів є обов'язковим перед кожним виконанням етапу доказу функційної безпечності й безвідмовності КТЗ і у ряді випадків може призводити до висновків про недоцільність виконання інших етапів доказу безпеки і про необхідність доопрацювання КТЗ без проведення складних випробувань або з мінімальним обсягом випробувань.

Висновки експертів ґрунтуються на досвіді розроблення й експлуатації аналогічних КТЗ, аналізі попередніх етапів доказу функційної безпечності та іншої інформації.

Методика експертного оцінення повинна містити такі основні етапи [7]:

- формування мети експертизи;
- формування групи фахівців-аналітиків;
- розроблення процедури опитування;
- формування групи експертів;
- вибір системи переваг експертів;
- проведення опитування;
- узагальнення експертної інформації.

Основною метою експертизи є кількісний і якісний аналіз функційної безпечності КТЗ.

Група фахівців-аналітиків формується для розроблення методу опитування експертів; формування групи експертів, вибору системи переваг експертів; проведення опитування й узагальнення експертної інформації. Склад групи залежить від важливості результатів експертизи й складності розв'язуваної проблеми. При вирішенні важливих задач у її склад повинні входити не тільки фахівці з проблеми, що розглядається, але й фахівці з експертних методів та суміжних галузей діяльності.

Для формування групи експертів визначають перелік кандидатів в експерти, що повинні мати відповідні знання і широку ерудицію. У нього повинні входити фахівці, компетентні в розгляді питань, що підлягають експертизі, а також фахівці із суміжних галузей діяльності. Для комплексів технічних засобів керування й регулювання руху поїздів такими суміжними галузями можуть бути, наприклад, мікроелектроніка, системотехніка, обчислювальна техніка тощо. Кількість експертів у групі залежить від особливостей і важливості результатів експертизи, а також складності розв'язуваної проблеми. Зі збільшенням кількості експертів у групі підвищується точність групових оцінок, але ускладнюється визначення погодженої думки.

Формування групи експертів виконується з урахуванням самооцінки експертів, що проводиться за короткий термін (5-10 хв.) за допомогою спеціально сформульованих питань. Дослідження показують, що середня групова помилка сильно знижується (збільшується) при збільшенні (зменшенні) самооцінки експертів.

Вибір процедури опитування експертів залежить від важливості результатів експертизи й складності розв'язуваної проблеми і визначається замовником (покупцем) розроблюваної продукції або продукції, яка поставляється.

Процедури опитування підрозділяють на очні і заочні, відкриті й закриті, прямі і непрямі, індивідуальні і групові.

Очне опитування здійснюють у процесі безпосереднього контакту фахівця аналітика й експерта. Перевага його полягає в тому, що при особистому контакті питання, що задаються експертам, можуть бути уточнені і, тим самим, знижена можливість їхнього помилкового тлумачення. До його недоліків відноситься трудомісткість, а також можливість психологічного впливу аналітика на експерта. Заочне опитування здійснюють шляхом пересилання анкети експертові. Перевагою цього методу є його менша вартість у порівнянні з очним опитуванням, а недоліком – більш низька надійність інформації через помилкове тлумачення деяких питань анкети.

Відкрите опитування характеризується використанням відкритих питань, відповіді на які можуть бути дані в будь-якій формі. Перевагою опитування є можливість виявлення аналітиком за допомогою відповідей експертів нових, несподіваних аспектів рішення проблеми, недоліком – непорівнянність даних, отриманих від експертів, а також трудомісткість.

Закрите опитування характеризується використанням закритих питань, відповіді на які регламентовані, наприклад, "так" чи "ні". В опитувальній анкеті на закриті питання наводяться можливі варіанти відповіді. Перевага методу – менша трудомісткість, ніж при відкритому опитуванні, порівнянність відповідей; недолік – можливість нав'язування експерту певної відповіді. У тих випадках, коли немає впевненості, що експерт на поставлене питання забажає дати певну інформацію, використовується непряме опитування, коли для одержання необхідної інформації використовуються непрямі питання.

Індивідуальне опитування має високий ступінь суб'єктивізму, тому більш кращим у багатьох випадках є групове опитування, коли для одержання необхідної інформації використовуються відповіді групи експертів. Групове опитування дозволяє

одержати більш точну інформацію через більшу кількість експертів і їхню організовану взаємодію, при якій можуть бути змінені судження експертів у процесі опитування під дією певних аргументів інших експертів групи.

Для групового опитування найбільшою мірою підходить метод Дельфі, що складається з декількох етапів.

На першому етапі визначають перелік випадкових подій, імовірнісні характеристики яких необхідно враховувати при аналізі функційної безпечності. Експертам надають список випадкових подій, який вони можуть залишити незмінним чи їх змінити. На цьому етапі експерти анонімно заповнюють анкети з відповідями в довільній формі, які організатор експертизи обробляє та підготовляє більш точні анкети для заповнення експертами на другому етапі.

Метою другого етапу є одержання від експертів анонімних кількісних оцінок безпеки КТЗ і статистична обробка результатів опитування. Усі відповіді експертів групуються в чотирьох інтервалах. Якщо відповіді експертів виявилися в крайніх інтервалах, їм пропонується анонімно мотивувати свою оцінку, а також її скорегувати. З отриманими висновками знайомлять всіх експертів, щоб вони могли змінити свою оцінку на наступному етапі опитування.

На третьому етапі одержують від експертів нові кількісні анонімні оцінки, просять їх розглянути мотиви змін їх оцінок і сформулювати нові оцінки. Якщо нова оцінка експерта потрапила в крайні інтервали всіх оцінок, тоді він повинний її обґрунтувати, а також прокоментувати оцінки інших експертів. Переглянуті оцінки обробляються організатором експертизи, а саме, розраховуються значення медіани й інтервалів оцінок, узагальнюються аргументи як на користь окремих оцінок, так і проти них.

На четвертому (останньому) етапі одержують нові оцінки експертів з урахуванням узагальнення інформації, отриманої на попередніх етапах. Значення медіани, яка знаходиться на цьому етапі, розглядається як групова оцінка функційної безпечності КТЗ.

До визначення сукупності засобів, за допомогою яких експерт у кількісній формі дає свою оцінку певної події (системи переваг експертів), відносяться порядкова, інтервальна шкала та шкала переваг.

Порядкова шкала встановлює перевагу окремих явищ над іншими чи їх рівноцінність. Інтервальна шкала відрізняється від порядкової тим, що на ній указується не тільки порядок розташування об'єктів чи явищ, але і відстань між ними. Шкала відношень відрізняється від інтервальної шкали тим, що на ній визначається нульова відмітка.

Для аналізу функційної безпечності найкращим є метод безпосереднього оцінення, при якому вся шкала можливих оцінок розділяється на кілька інтервалів, кожному з яких присвоюється певна кількісна оцінка. Відповідно до цієї шкали оцінок експерт має можливість дати кількісну оцінку як якісних, так і кількісних характеристик функційної безпечності КТЗ.

Групову оцінку функційної безпечності КТЗ визначають за такою формулою:

$$Q_{\sigma} = \sum_{i=1}^N k_i Q_i, \quad (9.1)$$

де k_i - ваговий коефіцієнт експерта (загальна сума вагових коефіцієнтів повинна дорівнювати одиниці);

Q_i - оцінка i - експерта функційної безпечності КТЗ;

N - кількість експертів.

Отриману оцінку порівнюють із нормативними показниками функційної безпечності КТЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 91 с.
2. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 32 с.
3. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Термины и определения / В.В. Сапожников // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 4. – С. 30 - 32.
4. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Под ред. Вл.В. Сапожникова – М.: Транспорт, 1995. – 272 с.
5. Надежность изделий электронной техники для устройств народнохозяйственного назначения. Справочник. – М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт “Электронстандарт”, 1989. – 188 с.
6. Каталог возможных повреждений и отказов элементов устройств СЦБ. Памятка Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) Р-801/1. – 2-е изд. – Разработано совещанием экспертов V Комиссии 12.06. – 14.06.2002 в г. Варшава. – 52 с.
7. Методика доказу функційної безпечності комплексів управління та регулювання рухом поїздів. Затверджено та введено в дію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 17.08.2001 р. № 452-Ц. – 106 с.
8. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 37 с.
9. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1994. – 37 с.
10. Кустов В.Ф. О соотношении показателей безотказности и безопасности в резервируемых объектах //Автоматика, связь, информатика. –1998. –№ 12. – С.17 – 19.
11. Соболев Ю.В., Кустов В.Ф. Обеспечению безопасности микроэлектронных технических средств железнодорожного транспорта – особое внимание // Залізничний транспорт України. – 1999. –№ 3. –С.22 – 25.

12. Оценка помехозащитных свойств оптоэлектронных приборов/ А.В. Абросимов, А.М.Костроминов, В.Ф.Кустов. – Л.: ЛИИЖТ, 1985. – 15 с. –Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, 25.11.1985. № 3355–85.

13. Костроминов А.М., Красногоров А.А., Кустов В.Ф. О помехозащищенности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики // Межвуз. сб. науч.тр. –Х.: ХИИТ, 1986. – Вып.1. – С. 18-24.

14. Костроминов А.М. Защита устройств железнодорожной автоматики от помех. – М.: Транспорт, 1997. –192 с.

15. Кустов В.Ф. Нормативная база по безопасности и электромагнитной совместимости технических средств управления и регулирования движения поездов на украинских железных дорогах //Труды международного семинара «Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость». – Гомель, 2001. – С. 14 –20.

16. Кустов В.Ф. Обеспечение безопасности микроэлектронных средств при воздействии электромагнитных помех // Автоматика, связь, информатика. – 1998. – № 7. – С. 29–31.

17. Кустов В.Ф. Методы и средства испытаний на помехозащищенность цифровых устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: Дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛИИЖТ, 1987. –266 с. – Защищена 24.12.87 г. – Утв.10.08.88 г.

18. Лисенков В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. – М.: Транспорт, 1992. –192 с.

19. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учеб. для вузов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

20. ДСТУ 4151-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Електромагнітна сумісність. Вимоги та методи випробовування. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. –16 с.

21. ДСТУ 3571-97.Сумісність засобів обчислювальної техніки електромагнітна. Основні терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1997. –10 с.

22. ДСТУ 3681-98. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Технічні вимоги та методи випробувань. – К.: Держстандарт України, 1994. – 28 с.

23. ГОСТ 29191-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 23 с.

24. ГОСТ 29156-91. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 19 с.

25. ГОСТ 29280-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 41 с.

26. ГОСТ 30374-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 15 с.

27. ГОСТ 30375-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям в полосе 26-1000 МГц. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 11 с.

28. ГОСТ 30376-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к динамическим изменениям напряжения сети электропитания. Технические требования и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 11 с.

29. ДСТУ ENV 50204–2002. Електромагнітна сумісність. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Електромагнітні поля випромінення від цифрових радіотелефонів. Випробування на несприйнятливність (ENV 50204: 1995, IDT). – К.: Держстандарт України, 2002. – 16 с.

30. ГОСТ 29037-91 Совместимость технических средств электромагнитная. Сертификационные испытания. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.

31. Кустов В.Ф. Генератор импульсных помех // Помехи в цифровой технике - 86: Материалы Всесоюзной научно-технической конференции (Вильнюс, 9-11 окт. 1986 г.). – Вильнюс, 1986. – С. 34-35.

32. А.С. 1234856, МКИ G 06 G7/48. Устройство для моделирования импульсных помех / А.М. Костроминов, А.А.Красногоров, Кустов В.Ф. /СССР/. Заяв. 04.01.85; Оpubл. 30.05.86, Бюл. № 20. – 3 с.

33. Костроминов А.М., Кустов В.Ф., Родин Г.Д. Использование устройств моделирования помех для обеспечения помехозащищенности цифровых технических средств// Межвуз. сб.науч. тр. – Свердловск: УЭМИИТ, 1986.– Вып. 77. – С. 73-81.

34. А.С. 1569850. МКИ G 06 G7/48. Устройство для моделирования импульсных помех / В.Ф. Кустод, Г.Д. Родин /СССР/. Заяв. 31.05.88; Оpubл. 07.06.90, Бюл. № 21. – 4 с.

35. Правила технічної експлуатації залізниць України. – К.: Транспорт України, 2002. – 133 с.

36. ДСТУ 3278-95. Система розробки та постановки продукції на виробництво. Основні терміни та визначення. – К.: – Держстандарт України, 1995. – 35 с.

37. ГСТУ 32.0.08.001-97. Порядок розробки та постановки продукції на виробництво для потреб залізничного транспорту в системі Міністерства транспорту України. – 52 с.

38. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 37 с.

39. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части климатических условий внешней среды. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 25 с.

40. ГОСТ 27883-88. Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность. Общие требования и методы испытаний. –М.: Изд-во стандартов, 1988. – 10 с.

41. Інструкція про порядок проведення експлуатаційних і приймальних випробувань дослідних зразків пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШ 0026. Затверджено та введено в дію наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 17.08.2001 р. № 453-Ц. – 14 с.

42. Бешелев О.Д., Гуревич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

43. Памятка Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) Р-809. “Электромагнитная совместимость микроэлектронных устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ)“. - 1-е изд. – Добриниште, Болгария, 2001. – 29 с.

44. Памятка Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) Р 801/1 “Каталог возможных повреждений и отказов устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). 2-е изд. – Варшава, 2002. – 52 с.

45. Памятка Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) Р 855 “Основные принципы определения необходимой надежности устройств СЦБ. - 2-е изд. – Варшава, 2002. – 21 с.

46. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997. – 288 с.

47. Кустов В.Ф., Клименко К.С. Методика проведения испытаний на модели для доказательства безопасности технического средства систем управления и регулирования движения поездов //Труды международного семинара «Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость. – Гомель, 2001. – С. 14 – 20.

48. Кустов В.Ф. Основные пути повышения достоверности доказательства функциональной безопасности и электромагнитной совместимости технических средств управления и регулирования движения поездов // Труды международного семинара «Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость. – Гомель, 2003. – С. 12 – 15.

49. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. – К.: Держстандарт України, 1994. – 117 с.

50. ДСТУ 2708-99. Метрологія. Повірка засобів виміральної техніки. Організація та порядок проведення. – К.: Держстандарт України, 1999. – 10 с.

51. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. – К.: Держстандарт України, 1994. – 26 с.

52. ДСТУ 3215-95. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 27с.

53. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1996. – 41 с.

54. ДСТУ 3942-99. Надійність техніки. Плани контрольних випробовувань для перевірки відповідності середнього наробітку до відмови (на відмову). – Ч. 2: Дифузійний розподіл. – К.: Держстандарт України, 1994. – 29 с.

55. ГОСТ 27.402-95. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч. 1: Экспоненциальное распределение. - М.: Изд-во стандартов, 1988. –34 с.

56. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. - М.: Изд-во стандартов, 1988. –21 с.

ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

Д.1. Показники функційної безпечності

- $Q_n(t)$ - імовірність небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів (за час t);
- $Q_{ni}(t)$ - імовірність небезпечної відмови одного елемента;
- $Q_{nj}(t)$ - імовірність небезпечної відмови одного каналу резервування;
- $Q_{н.доп}(t)$ - допустима ймовірність небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $Q_n(t_k)$ - імовірність небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів за час періодичного контролювання t_k ;
- $Q_n(t)/t$ - імовірність небезпечної відмови за кожну годину експлуатації КТЗ;
- $P_{\bar{\sigma}}(t)$ - імовірність безпечної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $P_{\bar{\sigma}i}(t)$ - імовірність безпечної роботи одного елемента;
- $P_{\bar{\sigma}j}(t)$ - імовірність безпечної роботи одного каналу резервування;
- $P_{\bar{\sigma}.доп}(t)$ - допустима ймовірність безпечної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $f_{\bar{\sigma}}(t)$ - щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $f_{\bar{\sigma}i}(t)$ - щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови одного елемента;
- $f_{\bar{\sigma}j}(t)$ - щільність розподілу наробітку до небезпечної відмови одного каналу резервування;
- $\lambda_n(t)$ - інтенсивність небезпечних відмов технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $\lambda_{ni}(t)$ - інтенсивність небезпечних відмов одного елемента (i -елемента);
- $\lambda_{nj}(t)$ - інтенсивність небезпечних відмов одного каналу резервування;

Продовження дод. 1

$T_{ср.н}$	- середній наробіток до небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
$T_{ср.ні}$	- середній наробіток до небезпечної відмови одного елемента;
$T_{ср.нj}$	- середній наробіток до небезпечної відмови одного каналу резервування;
$T_{ср.нl}$	- середній наробіток до небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів без резервування;
$\alpha_{\delta}(t)$	- виграш із імовірності безпечної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів за певний наробіток від уведення резерву;
$\beta_{\delta}(t)$	- виграш з імовірності небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів за певний наробіток від уведення резерву;
γ_{δ}	- виграш із середнього наробітку до небезпечної відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів від уведення резерву;

Д.2. Додаткові показники функційної безпечності відновлюваних технічних засобів

$\omega_n(t)$	- параметр потоку небезпечних відмов;
T_n	- середній наробіток на небезпечну відмову (між небезпечними відмовами);
K_{δ}	- коефіцієнт готовності до безпечної роботи;
$K_{\delta}(t)$	- функція готовності до безпечної роботи;
$N_{\delta\delta}$	- індекс відновлення безпечної роботи, $N_{\delta\delta} = \mu/\lambda_n$ ($\mu, \lambda_n = \text{const}$).

Д.3. Показники безвідмовності

- $Q(t)$ - імовірність відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $Q_i(t)$ - імовірність відмови одного елемента;
- $Q_j(t)$ - імовірність відмови одного каналу резервування;
- $Q_{don}(t)$ - допустима ймовірність відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $Q(t_k)$ - імовірність відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів за час періодичного контролювання t_k ;
- $P(t)$ - імовірність безвідмовної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $P_i(t)$ - імовірність безвідмовної роботи одного елемента;
- $P_j(t)$ - імовірність безвідмовної роботи одного каналу резервування;
- $P_{don}(t)$ - допустима ймовірність безвідмовної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $f_{\bar{0}}(t)$ - щільність розподілу наробітку до відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $f_{\bar{0}i}(t)$ - щільність розподілу наробітку до відмови одного елемента;
- $f_{\bar{0}j}(t)$ - щільність розподілу наробітку до відмови одного каналу резервування;
- $\lambda(t)$ - інтенсивність відмов технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- $\lambda_i(t)$ - інтенсивність відмов одного елемента (i -елемента);
- $\lambda_j(t)$ - інтенсивність відмов одного каналу резервування;
- T_{cp} - середній наробіток до відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів;
- T_{cpi} - середній наробіток до відмови одного елемента;
- T_{cpj} - середній наробіток до відмови одного каналу резервування;
- $T_{cp \gamma}$ - гамма - відсотковий наробіток до відмови;

Продовження дод.1

- $\alpha(t)$ - виграш із імовірності безвідмовної роботи технічного засобу або комплексу технічних засобів за визначений наробіток від уведення резерву;
- $\beta(t)$ - виграш з імовірності відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів за певний наробіток від уведення резерву;
- γ - виграш із середнього наробітку до відмови технічного засобу або комплексу технічних засобів від уведення резерву.

Д.4. Додаткові показники безвідмовності відновлюваних технічних засобів

- $\omega(t)$ - параметр потоку відмов;
- T_o - середній наробіток на небезпечну відмову (між небезпечними відмовами);
- $T_o \gamma$ - гамма-відсотковий наробіток на відмову;
- K_z - коефіцієнт готовності;
- $K_z(t)$ - функція готовності;
- N_s - індекс відновлення, $N_s = \mu/\lambda$ ($\mu, \lambda = \text{const}$).

Д.5. Показники ремонтпридатності

- $P_s(t)$ - імовірність відновлення;
- T_s - середня тривалість відновлення;
- T_r - середня тривалість ремонту;
- $\mu(t)$ - інтенсивність відновлення.

Д.6. Показники довговічності

- T_p - середній ресурс;
 $T_{p \gamma}$ - гамма-відсотковий ресурс;
 $T_{сл}$ - середня тривалість служби;
 $T_{сл \gamma}$ - гамма-відсотковий тривалість служби.

Д.7. Показники збережності

- T_z - середня тривалість збережності;
 $T_{z \gamma}$ - гамма-відсоткова тривалість збережності.

Д.8. Інші позначення

- M - кількість каналів резервування технічного засобу або комплексу технічних засобів;
 N, n - відповідно кількість комплексів технічних засобів (технічних засобів) та кількість у них елементів.

Д.9. Скорочення

- ЗП - запасні інструменти й прилади;
КТЗ - електротехнічна система, електронний, мікроелектронний, радіоелектронний пристрій, система або комплекс технічних засобів керування та регулювання руху поїздів;
РЛСБ - розрахунково-логічна схема безвідмовності;
РЛС ФБ - розрахунково-логічна схема функційної безпечності;
ТЗ - технічне завдання;
ТУ - технічні умови.

В.Ф. Кустов

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТА
ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ СИСТЕМ
ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск Кустов В.Ф.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 17.07.07 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 13,5. Обл.-вид.арк. 13,75.
Замовлення № Тираж 200 Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейербаха, 7