

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

М. Ф. Бабаков, О. С. Албул

**КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ І БІОМЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ**

Частина 1

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ,
ПЛАНУВАННЯ Й ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ
КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАНЬ**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2020

УДК 621.396.6-192(075.8)
Б12

Рецензенти: д-р фіз.-мат. наук В. І. Луценко,
канд. фіз.-мат. наук О. В. Кривенко

Бабаков, М. Ф.

Б12 Контроль і випробування радіоелектронних і біомедичних засобів [Текст] : навч. посіб. Ч. 1. Організаційно-методичні основи, планування й оброблення даних контролю та випробувань / М. Ф. Бабаков, О. С. Албул. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 92 с.

ISBN 978-966-662-778-3

Розглянуто особливості сучасних РЕЗ і БМЗ як об'єктів контролю та випробувань, класифікацію й організаційно-методичні основи контролю та випробувань, принципи планування, проведення й оброблення даних контрольних і визначальних випробувань РЕЗ і БМЗ.

Для студентів, що навчаються за радіоелектронними спеціальностями 163 «Біомедична інженерія» і 172 «Радіотехніка та телекомунікації».

Іл. 8. Табл. 2. Бібліогр.: 10 назв

УДК 621.396.6-192(075.8)

© Бабаков М. Ф., Албул О. С., 2020

© Національний аерокосмічний

університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», 2020

ISBN 978-966-662-778-3

ПЕРЕДМОВА

В освітньо-професійних програмах «Радіоелектронні комп'ютеризовані засоби» і «Біомедична інформатика та радіоелектроніка», за якими здійснюється підготовка магістрів за спеціальностями 172 «Радіотехніка та телекомунікації» і 163 «Біомедична інженерія» відповідно в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», поряд з вивченням питань розроблення, виробництва й експлуатації радіоелектронних (РЕЗ) і біомедичних (БМЗ) засобів передбачається розгляд принципів і засобів їх контролю та випробувань на всіх етапах життєвого циклу.

Передбачається, що магістр з цих освітньо-професійних програм має брати участь у розробленні й реалізації програми й методики контролю та випробувань конкретних об'єктів, обґрунтовувати необхідне випробувальне устаткування, осмислювати результати випробувань, формувати висновки за ними щодо властивостей об'єкта, методик і програми контролю та випробувань.

У цьому навчальному посібнику з дисципліни «Контроль і випробування радіоелектронних і біомедичних засобів», яка відповідає навчальній програмі, розглянуто такі питання:

- особливості сучасних РЕЗ як об'єктів проектування, виробництва й експлуатації, що зумовлюють необхідність їх контролю та випробувань;
- класифікація контролю та випробувань згідно з чинним стандартом України й організаційно-методичні принципи контролю та випробувань;
- методологія планування й оброблення даних параметричних контрольних і визначальних випробувань.

Принципи планування, проведення й оброблення даних випробувань РЕЗ і БМЗ на надійність буде описано в основній частині посібника.

Дослідні випробування як окремий вид випробувань винесено для розгляду в дисципліні «Методи експериментальних досліджень РЕЗ та БМЗ» і в цьому посібнику не розглядаються.

Оскільки основні принципи контролю та випробувань, а також методологія їх планування й оброблення даних збігаються, основну увагу приділено контрольним і визначальним випробуванням.

1. ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНИХ РЕЗ І БМЗ ЯК ОБ'ЄКТІВ ПРОЕКТУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВА Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ І НЕОБХІДНІСТЬ ЇХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ

1.1. Радіoeлектроніка й радіoeлектронні засоби – основи сучасних інформаційних технологій

Радіoeлектроніка – термін, що об'єднує комплекс галузей науки й техніки, пов'язаних насамперед з проблемами передання, приймання й перетворення інформації за допомогою електромагнітних коливань і хвиль у радіо- та оптичному діапазонах.

Термін виник у 50-х роках ХХ століття і певною мірою є умовним. За сучасними поглядами, радіoeлектроніка охоплює радіотехніку й електроніку, у тому числі напівпровідникову електроніку, мікроелектроніку, квантову електроніку, ІЧ-техніку, хемотроніку, оптоелектроніку, акустoeлектроніку, кріoeлектроніку та інші галузі. Радіoeлектроніка тісно пов'язана, з одного боку, з радіофізикою, фізикою твердого тіла, оптикою й механікою, а з іншого – з електротехнікою, автоматикою, телемеханікою й обчислювальною технікою.

Радіoeлектроніка успішно й постійно розвивається завдяки функціональним, конструктивним і технологічним можливостям електроніки й радіотехніки. Динамічне вдосконалення всіх технічних та експлуатаційних показників апаратури обумовлене взаємозв'язком досягнень в електроніці й радіотехніці та їх взаємним впливом.

У наш час радіoeлектроніка є визначальною складовою науково-технічного прогресу й розвитку людського суспільства, є інформаційно-керувальною базою суспільства: сама використовує інформаційні технології і водночас є їх основою.

Дійсно, основою інформатики, у якій вивчаються структура й загальні властивості наукової інформації, є закономірності створення інформації, а саме: технології аналізу, синтезу, передання і приймання інформаційних даних з метою їх використання в різних сферах людської діяльності. Матеріальною базою інформаційних технологій є апаратні й програмні засоби оброблення інформації, що містять насамперед увесь комплекс сучасних РЕЗ – від найпростіших побутових пристроїв до надскладних систем і комплексів цивільного й воєнного призначення. Стан і технічний рівень цих засобів визначається електронною компонентною базою (ЕКБ). Номенклатуру ЕКБ умовно групують за такими напрямками:

- вироби мікроелектроніки;
- вироби НВЧ-електроніки;
- радіодеталі й радіокомпоненти;
- електротехнічні вироби.

Перший з цих напрямів є ключовим в апаратних засобах оброблення інформації: виробництво мікроелектроніки входить в усі види апаратури, що використовується в техніці вторинного оброблення інформаційних сигналів і технологіях аналізу й синтезу інформаційних даних.

У другій половині ХХ століття в радіоелектроніці здійснилися дві технічні революції: в електроніці – розроблення й виробництво напівпровідникових (твердотільних) приладів, а в радіотехніці – розвиток принципів цифрових методів оброблення інформації та їх застосування. Застосування напівпровідників сприяло зменшенню масогабаритних показників та енергоспоживання апаратури в декілька десятків разів, а застосування цифрових методів оброблення інформації покращило такі важливі, з точки зору споживача, показники апаратури, як усталеність роботи, завадозахищеність, швидкість оброблення даних і якість інформації. Це дало змогу створити багатофункціональні пристрої, розроблення яких із застосуванням аналогових принципів оброблення інформації було б неможливим. Унаслідок цих революційних перетворень в радіоелектроніці, з одного боку, сформувалася певна номенклатура напівпровідникових приладів для реалізації цифрових методів оброблення інформації в апаратурі різного призначення, а з іншого – було розроблено схемотехнічні рішення, у яких найбільш повно використовуються можливості створеної номенклатури електронних приладів.

Розвиток електронних приладів став можливим завдяки фундаментальним відкриттям у галузі напівпровідникової електроніки, квантової та оптичної електроніки, а також розробленню принципово нових технологій і привів, своєю чергою, до розвитку радіотехніки, телемеханіки, кібернетики, медицини, метрології і взагалі всіх галузей діяльності людини.

Високі темпи реалізації нових досягнень у радіоелектроніці, розширення функціональних можливостей радіотехнічних пристроїв, підвищення їх надійності при одночасному зниженні енергоспоживання, мініатюризація апаратури, застосування цифрових методів оброблення інформації та їх реалізація, нові принципи відображення й оброблення інформації – результат органічного злиття радіотехніки й електроніки.

Будь-які суттєві зміни властивостей і конструкції виробів електронної техніки (ВЕТ) приводили зазвичай до змін у схемотехніці й умовах застосування їх в апаратурі.

Є приклади і зворотного впливу нових схемних рішень і принципів конструювання на властивості й характеристики ВЕТ. Так, поява друкованого монтажу і мікроскладання привела до створення й випуску ВЕТ спеціальної конструкції, що дають змогу застосовувати нові методи монтажу.

На розвиток радіотехніки й електроніки в інтересах радіозв'язку, радіолокації і телебачення значно впливають на результати досліджень у тих областях електроніки, у яких як носії інформації використовуються електромагнітні коливання оптичного діапазону: квантова електроніка й оптоелектроніка.

1.2. Покоління радіоелектронних засобів

Відкриття й досягнення в радіотехніці й електроніці сприяли зміненню РЕЗ і розширенню їх функціональних можливостей. З іншого боку, необхідність збільшення дальності передання радіосигналів шляхом збільшення потужності передавальних пристроїв привело до створення магнетронних генераторів, клістронних підсилювачів та інших приладів НВЧ-діапазону.

З розвитком електровакуумних ламп суттєво покращилися експлуатаційні характеристики приймальних пристроїв – збільшилися робочий діапазон частот і коефіцієнт підсилення каскадів, зменшився коефіцієнт власних шумів, збільшився динамічний діапазон вхідних сигналів тощо. Необхідність покращання якості зображення телевізійних сигналів привела до розроблення і вдосконалення перетворення зображення на електричний сигнал.

Одночасно з підсилювальними й генераторними (активними) електронними приладами розроблялася і вдосконалювалася номенклатура пасивних виробів (резисторів, конденсаторів, електричних з'єднувачів, комутаційних виробів та ін.), що забезпечували можливість застосування активних електронних приладів в оптимальних електричних режимах.

На певних етапах розвитку створювалася функціонально повна номенклатура електронних виробів, що давала змогу в цей період вирішувати всі завдання з проектування та створення РЕЗ на основі наявних принципів конструювання й технології монтажу.

Це покоління функціонально повної номенклатури електронних виробів характеризувалося конструктивними й експлуатаційними властивостями, а також способом їх монтажу в апаратурі. Така номенклатура електронних виробів визначалася як покоління, а апаратура на її основі – як апаратура відповідного покоління.

Наступні покоління апаратури відрізнялися від попереднього більш високими функціональними можливостями, експлуатаційними характеристиками й технічними параметрами.

Сьогодні умовно виокремлюють такі покоління РЕЗ.

Перше покоління (1950–1960 рр.) – це покоління електровакуумних ламп, навісного (об'ємного) ручного монтажу елементів схеми з паянням елементів на монтажних стояках з реалізацією окремих функцій у багатокаскадному виконанні.

Це РЛС, ЕОМ, радіоапаратура й апаратура зв'язку, вимірювальна апаратура.

Друге покоління (1960–1970 рр.) – покоління напівпровідникових діодів, транзисторів, навісного монтажу з паянням на монтажних стояках і друкованих платах з реалізацією функцій в однокаскадному модульному виконанні.

Це РЛС, ЕОМ, радіоапаратура, апаратура зв'язку, вимірювальна й біомедична апаратура.

Третє покоління (1970–1980 рр.) – покоління напівпровідникових діодів, транзисторів і мікросхем малого ступеня інтеграції, навісного монтажу з паянням на друкованих платах (функціональні модулі) з реалізацією функцій в одно- і багатокаскадному виконанні.

Це РЛС, ЕОМ, радіоапаратура й апаратура зв'язку, вимірювальна й біомедична апаратура.

Четверте покоління (1980–1985 рр.) мікросхем середнього й великого ступенів інтеграції з автоматичним монтажем, груповим паянням елементів на друкованих платах із застосуванням товстоплівкової технології монтажу та реалізацією окремих функціональних пристроїв в об'ємі одного кристала мікросхеми.

Це РЛС, ЕОМ, радіоапаратура й апаратура зв'язку, вимірювальна й біомедична апаратура, апаратура геоінформаційних систем.

П'яте покоління (1990–2000 рр.) – покоління мікросхем великого й надвеликого ступенів інтеграції з елементами самоналаштування й елементами штучного інтелекту, електронних пристроїв з високим рівнем функціональної інтеграції.

Це РЛС, ЕОМ, радіоапаратура й апаратура зв'язку, вимірювальна й біомедична апаратура, апаратура споживачів супутникових навігаційних систем.

Шосте покоління (з 2005 р.) – покоління пристроїв і систем на одному кристалі.

Це всі види апаратури.

Зазначені часові інтервали поколінь є орієнтовними й залежать від розвитку апаратури конкретного напрямку, ступеня застосування нових технологій апаратобудівними підприємствами та від часу появи конкретного класу апаратури.

Необхідно зазначити, що починаючи з третього покоління визначальну роль у принципах конструювання апаратури та втіленні групових технологій монтажу стала відігравати мікроелектроніка, включаючи мікросхеми, напівпровідникову НВЧ-електроніку, фотоелектроніку, квантову й оптичну електроніку. Нові принципи конструювання й монтажу апаратури сприяли не тільки реалізації багатфункціональної малогабаритної апаратури, але й визначально вплинули на динаміку радіоелектроніки в цілому.

Починаючи з четвертого покоління, особливо в п'ятому і шостому поколіннях здійснюється перенесення схемотехнічних функцій, що раніше виконувалися вузлами, блоками і навіть пристроями РЕА на ЕКБ.

Проектування функціонально складних інтегральних мікросхем і електронних модулів на ранніх стадіях їх створення без участі схемотехніків і конструкторів РЕА стало неможливим. На всіх етапах проектування була необхідною реалізація процесів відповідної технічної інтеграції, де кожного разу оцінюються потрібні схемотехнічні варіанти побудови виробів, їх вихідні параметри і зіставляються з можливостями інтегральної технології.

Узагальнену наочну характеристику поколінь РЕА наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Характеристика поколінь РЕА

Покоління РЕА	Основні види ВЕТ	Способи монтажу	Щільність компонування, г/см ³	Питома споживана потужність, Вт/дм ³	Функціональна складність, кількість функцій/дм ³	Інтенсивність відмов на один елемент ненадійності, відмов/год
I 1950-1960	ЕВП, дискретні елементи	Об'ємний	0,1	10...30	1...5	10 ⁻³
II 1960-1970	НПП, дискретні елементи	Друкований	0,5	10...30	3...10	10 ⁻⁵
III 1970-1980	УС, МЗБ, дискретні елементи	Багат шарові друковані плати	2,0	10...30	10...50	10 ⁻⁶
IV 1980-1985	ВІС, МЗБ, ВФЕ	Поверхневий	10	10...30	20...100	10 ⁻⁷
V 1990-2000	ЗВІС, комплексні вироби	Плати 4-го, 5-го класів точності	20	10...30	100...500	10 ⁻⁸
VI	Системи на кристали		>10 ⁴	>10 ⁴	>10 ⁴	10 ⁻¹⁰

1.3. Особливості сучасних РЕЗ

Аналіз поколінь розвитку РЕЗ та їх сучасних властивостей дає змогу описати основи особливості сучасних РЕЗ:

1. РЕЗ реалізують складні алгоритми функціонування, що пояснюється необхідністю виконання ними як сервісних функцій (наприклад, захист від стрибків струму або теплового перевантаження; приєднання резервних елементів, вузлів, трактів на основі автоматичного діагностування), так і складних функцій основного керування підсистемами для вирішення технічних завдань за призначенням.

2. Має місце тенденція підвищення вимог до якості й надійності апаратури.

3. РЕЗ характеризуються високими масогабаритними показниками (щільність компонування).

4. До складу РЕЗ можуть входити одночасно як цифрові пристрої (пристрої автоматики, телеметрії, цифрового оброблення сигналів і т. ін.), так і аналогові й гібридні пристрої (пристрої електроживлення, приймально-передавальні пристрої, підсилювальні й вимірювальні пристрої тощо), які функціонують в широкому інтервалі частот (від часток та одиниць герців до десятків гігагерців), напруг (від часток вольтів до кількох кіловольтів) і струмів (від кількох мікроамперів до сотень амперів).

5. На РЕЗ діє широкий спектр дестабілізаційних факторів. У загальному випадку РЕЗ мають функціонувати за умови дії на них динамічно змінюваних факторів, що динамічно змінюються, і явищ навколишнього середовища, об'єкта розміщення, внутрішніх факторів.

6. РЕЗ мають велику кількість можливих конструкторсько-технологічних реалізацій, що базуються на різних принципах конструювання: моноблоковому; функціонально-блоковому; функціонально-модульному; функціонально-вузловому. При цьому застосовується широкий асортимент елементів ЕКБ, зокрема мікроелектроніки.

7. Широкий спектр дестабілізаційних факторів і високі вимоги до надійності РЕЗ потребують застосування спеціальних схемно-конструкторських заходів щодо забезпечення насамперед відмовостійкості, що здійснюється шляхом вжиття апаратно-програмних заходів пасивного й активного резервування. Останні, наприклад, повинні:

- виявляти порушення роботоздатності окремих складових частин РЕЗ;
- відновлювати роботоздатність пристрою внаслідок змінення його структури (реконфігурації);
- здійснювати перевірку правильності відновлення роботоздатності.

8. Для забезпечення стійкості й витривалості РЕЗ від дії ЗДФ застосовуються такі схемотехнічні й конструкторські рішення:

- **радіаційна стійкість** РЕЗ на схемотехнічному рівні забезпечується: захистом ЕРЕ від проходження в них додаткових струмів; захистом від перенапруги; збереженням основних даних у стійкій до радіації пам'яті; запобіганням запиранню дискретних схем; вибором ВЧ НПП; розробленням схем, що допускають великі заходи параметрів в ЕРЕ; мінімізацією чутливості схем до змінення параметрів і т. ін.;

- **стійкість РЕЗ до електромагнітного випромінювання** на схемотехнічному рівні забезпечується таким: гальванічна розв'язка за колами живленням й заземлення; ліквідація наскрізних струмів у НПП; приєднання до силових кабельних кіл живлення газових розрядників і спеціальних фільтрів; уведення для окремих елементів спеціальних схем захисту від перенавантажень за струмом і напругою і т. д.;

- **тепловитривалість** окремих вузлів та елементів на схемотехнічному рівні забезпечується введенням теплокомпенсувальних кіл, зміненням (зниженням) частоти перемикання потужних НПП тощо;

- **конструкторські заходи** полягають у використанні: спеціальних захисних екранів як на рівні окремих елементів, так і на рівні приладів і цілих відсіків; радіокомпонентів з прозорими для йонізуювальних випромінювань корпусами; спеціальних систем контурів теплових шин, теплових труб і теплостоків; вібропоглинальних матеріалів; віброудароізоляторів та амортизаційних платформ; розгалужених систем повітроводів; термостатувальних плит і контурів з водним охолодженням; спеціальних методів компонування вузлів і приладів в цілому.

9. Реалізація РЕЗ з високими питомими масогабаритними показниками в сукупності з мікромініатюризацією приводить до тісного взаємозв'язку фізичних процесів (електричних, електромагнітних, електрохімічних, теплових, механічних тощо), що відбуваються в елементах і конструкціях і спричиняють явища зношення, старіння, деградації.

10. Широке застосування в складі РЕЗ обчислювальних засобів, таких як контролери, мікро- і міні-ЕОМ, потребує оптимального розподілу функцій між апаратними й програмними засобами і забезпечення безвідмовності щодо відмов збійного і програмного характеру.

Перелічені особливості дають змогу зробити такі **висновки**:

- сучасні РЕЗ являють собою складні в схемотехнічному та конструктивному плані системи, що характеризуються невизначеністю станів і характеристик;
- ця невизначеність підсилюється різними дестабілізаційними факторами навколишнього середовища, об'єкта розміщення та внутрішніх деградаційних процесів;
- створення практично придатних РЕЗ потребує зняття цієї невизначеності при проектуванні, виробництві й експлуатації РЕЗ, зокрема, з допомогою експериментальних методів їх дослідження.

1.4. Показники якості РЕЗ і методи їх оцінювання

Проблема якості радіоелектронних засобів, що виникла останнім часом, зумовлена різким ускладненням РЕЗ і їх широким застосуванням у всіх сферах наукових досліджень, виробництві та керуванні.

Підвищення якості пов'язане з удосконаленням системи організаційно-технічних, конструкторсько-технологічних і експлуатаційних заходів, спрямованих на забезпечення споживчих властивостей РЕЗ.

Методологічною базою цього є застосування **системного підходу** до проектування РЕЗ, основою якого є:

- урахування всіх етапів життєвого циклу системи, що розробляється (проектування, виробництва, експлуатації, утилізації);
- урахування історії, особливо перспектив розвитку систем такого самого й подібного класів;

- урахування взаємодії системи із зовнішнім середовищем – взаємодії з іншими системами певного ієрархічного рівня, обміну інформацією, енергією, речовиною, сигналами, завадами, впливу температури, вологості, тиску, механічних навантажень, радіації тощо;

- урахування розвитку елементної бази;
- виокремлення головного показника якості.

Основним питанням більшості проектних завдань є визначення одиничних показників якості, а на їх основі – комплексних та інтегральних.

Відомо, що всі показники якості поділяють за властивостями виробів на такі групи:

- призначення (точність, завадостійкість, масогабаритні характеристики тощо);
- надійності (безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності, комплексні);
- ергономічні;
- естетичні;
- технологічності;
- уніфікації;
- патентно-правові;
- економічні;
- безпеки.

Ці показники якості залежать від багатьох факторів, що впливають на виріб (рис. 1.1). Ця класифікація є умовною, оскільки на рисунку не відображено реально існуючі зв'язки між зовнішніми та внутрішніми, внутрішніми та суб'єктивними факторами.

Не вдаючись до детальної характеристики факторів, яку наведено в курсі «Основи проектування РЕЗ», опишемо їх основні риси:

- апріорна невизначеність їх параметрів;
- випадковість характеристик і наслідків дії;
- складний взаємозв'язок і взаємообумовленість.

Оцінювання якості виробів є неможливим без кількісного оцінювання показників якості. Для цього застосовуються такі методи.

1. **Вимірювальний**, який базується на інформації, що отримується з допомогою засобів вимірювання й контролю.

2. **Реєстраційний**, який базується на інформації, що отримується на основі реєстрації й підрахунку певних подій.

3. **Розрахунковий**, що здійснюється на основі використання теоретичних і (або) емпіричних залежностей показників якості виробів від їх параметрів. Цей метод застосовується головним чином при проектуванні, коли вироби ще не можуть бути об'єктами експериментальних спостережень. Цим же методом визначаються залежності між комплексними, інтегральними й одиничними показниками.

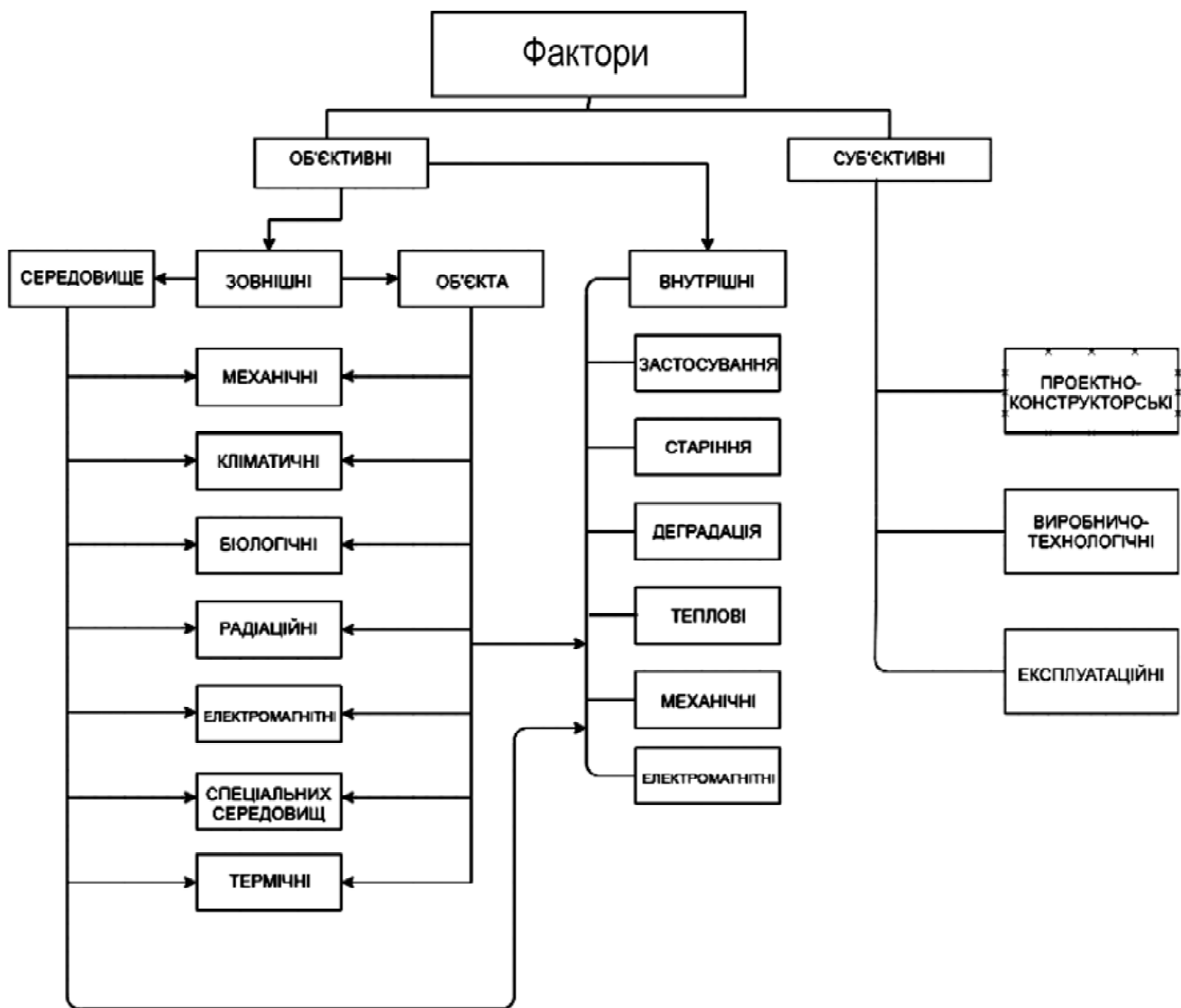


Рис. 1.1. Фактори, що зумовлюють якість РЕЗ

4. **Органолептичний**, який базується на аналізі сприйняття органів чутливості людини.

5. **Експертний**, що здійснюється на основі висновків і рішень, які приймають експерти.

6. **Соціологічний**, що здійснюється на основі аналізу суджень фактичних споживачів продукції.

7. **Статистичний**, що ґрунтується на методах математичної статистики.

На різних етапах створення й застосування виробів для конкретних їх видів застосовують різні сполучення зазначених методів. Значна частина з них пов'язана з проведенням експериментальних досліджень властивостей РЕЗ.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть означення терміна «радіоелектроніка».
2. Якими є складові радіоелектроніки?
3. Назвіть основні групи електронної компонентної бази сучасних РЕЗ.
4. Які дві технічні революції в області радіоелектроніки ви знаєте? Якими є їх наслідки?
5. Охарактеризуйте взаємозв'язок між властивостями виробів електронної техніки та схемотехнічними й конструкторськими рішеннями.
6. Охарактеризуйте покоління РЕЗ.
7. Опишіть особливості сучасних РЕЗ.
8. Чим узагальнено визначається невизначеність властивостей сучасних РЕЗ?
9. Назвіть основні складові системного підходу до проектування РЕЗ.
10. Які групи показників якості ви знаєте?
11. Наведіть класифікацію факторів, що впливають на якість РЕЗ.
12. Назвіть методи кількісного оцінювання показників якості.
13. Поясніть діалектичну суть взаємодії теоретичного й експериментального підходів до проектування.

2. КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ ЯК ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Якість РЕЗ обумовлюється їх конструктивними, технологічними, економічними, ергономічними та іншими показниками. Якість як властивість закладається в процесі розроблення й виготовлення РЕЗ, а реалізується і найбільш об'єктивно оцінюється в процесі експлуатації. Але інформація щодо якості РЕЗ, отримана на етапі експлуатації, по-перше, є недостатньою, оскільки не всі параметри РЕЗ, необхідні для оцінювання якості, визначаються в процесі експлуатації, а по-друге, є запізнілою, оскільки на виготовлення РЕЗ уже витрачено значні зусилля й кошти. Ця проблема посилюється із подальшою мікромініатюризацією РЕЗ, коли цілі блоки виконуються у вигляді інтегральних схем і є невідновними.

Одним із джерел оцінювання якості є теоретичні розрахунки. Однак розрахункові оцінки потребують експериментального підтвердження, оскільки вихідні дані в принципі є наближеними. Більш того, з розвитком мікромініатюризації й ускладненням РЕЗ створення адекватних моделей стає проблематичним.

За цих обставин суттєвий обсяг інформації щодо якості РЕЗ отримують шляхом контролю їх параметрів і проведення випробувань на всіх етапах, починаючи з розроблення нормативно-технічної документації (НТД) і закінчуючи аналізом рекламацій і висновків споживача щодо якості завершених виробів.

На рис. 2.1 зображено послідовність процесів розроблення, виробництва та експлуатації РЕЗ, що узагальнено показує місце і значущість контрольних і випробувальних дій при створенні виробів.

Як видно із рис. 2.1, контроль якості здійснюється на всіх етапах: розроблення (усебічне дослідження всіх властивостей РЕЗ, що визначають якість виробів); виконання технологічних операцій при виготовленні РЕЗ (вхідний контроль параметрів ЕРЕ, операційний контроль, приймальний контроль тощо); випробування готових РЕЗ (включаючи атестаційні та сертифікаційні випробування, за результатами яких вироби відносять до певної категорії якості та встановлюють їх відповідність національним або міжнародним НТД); експлуатація (перевірка відповідності експлуатаційної якості РЕЗ вимогам НТД).

Питання проведення аналізу й контролю на тому або іншому етапі «життєвого циклу» РЕЗ (проекування, поставка на виробництво, виготовлення, експлуатація, ремонт, поставка на експорт, імпорتنі закупівлі та ін.) вирішуються в кожному конкретному випадку залежно від вимог до РЕЗ і можливостей здійснення контролю.

Метою цього розділу є більш предметний (згідно з ДСТУ 3021–95) розгляд суті контролю, випробувань РЕЗ, їх взаємозв'язку та завдань із забезпечення якості РЕЗ.

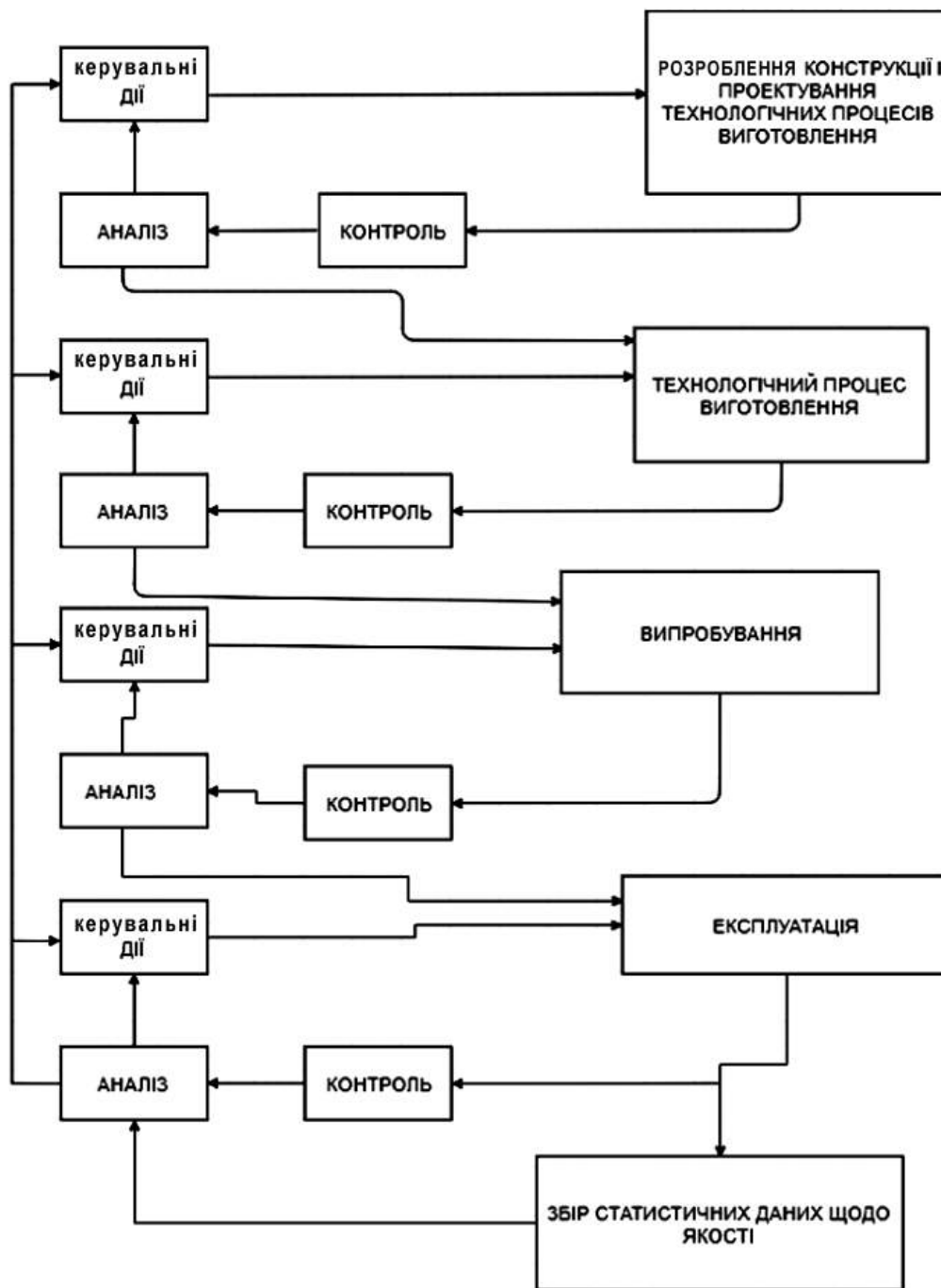


Рис. 2.1. Контроль при розробленні, виробництві й експлуатації РЕЗ

2.1. Технічний контроль і контроль якості РЕЗ

Розрізняють технічний контроль і контроль якості продукції.

Технічний контроль (*inspection*) – це перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

Об'єктами технічного контролю можуть бути продукція, процеси її створення, застосування, транспортування, технічного обслуговування та ремонту, а також відповідна документація, що підлягає контролю.

Технічний контроль складається з двох основних етапів:

1. Одержання інформації щодо фактичного стану деякого об'єкта. Ця інформація є первинною.

2. Порівняння первинної інформації з раніше встановленими вимогами, нормами, критеріями, тобто виявлення відповідності або невідповідності фактичних даних даним, що потребуються (очікуваним). Інформація щодо непогодження фактичних і потрібних даних є вторинною.

У подальшому вторинна інформація використовується для вироблення відповідних керувальних дій на об'єкт, що підлягає контролю, тобто будь-який контроль завжди є активним, і, крім того, вторинна інформація використовується для вдосконалення розроблення, виробництва й експлуатації продукції, підвищення її якості.

На стадії розроблення продукції технічний контроль полягає, наприклад, у перевірці відповідності дослідного зразка та (або) розробленої технічної документації правилам оформлення й технічному завданню.

На стадії виготовлення технічний контроль охоплює якість, комплектність, упаковку, маркування і кількість пропонованої продукції, проходження (стан) виробничих процесів.

На стадії експлуатації продукції технічний контроль полягає, наприклад, у перевірці виконання вимог експлуатаційної й ремонтної документації.

Контроль якості продукції (*product quality inspection*) – це контроль кількісних і (або) якісних характеристик властивостей продукції.

При цьому характеристики можуть **контролюватися** (контроль якості збігається з технічним контролем) або **оцінюватися** – визначатися із заданою точністю та (або) достовірністю.

Контроль може здійснюватися за кількісною або якісною ознакою (особливий випадок – альтернативна ознака).

Контроль за кількісною ознакою (*inspection by variables*) – це контроль, що полягає у вимірюванні кількісних характеристик кожного виробу (об'єкта) у сукупності або за вибіркою, узятій із сукупності.

Контроль за якісною ознакою (*inspection by quality*) – це контроль якості продукції, у процесі якого кожному перевірену її одиницю відносять до певної групи, а рішення щодо контрольованої сукупності або процесу приймають залежно від співвідношення кількості її одиниць, що потрапили до різних груп.

Контроль за альтернативною ознакою (*inspection by attributes*) – контроль, під час якого певні характеристики оцінюються й класифікуються як такі, що відповідають або не відповідають установленим вимогам без вимірювання.

Контроль здійснюється за певним **методом (*inspection method*)**, що містить правила використання певних принципів і засобів контролю.

Засіб контролю (*inspection means*) – це технічний пристрій, речовина і (або) матеріал для проведення контролю.

Параметр об'єкта, що використовується під час контролю, називають **контрольованим (*test parameter*)**. Місце розташування первинного джерела інформації про контрольований параметр об'єкта контролю називають **контрольною точкою (*point of inspection*)**.

Контрольна точка об'єкта контролю може бути частиною (елементом) контрольованого предмета або знаходитися на деякій відстані від нього (наприклад, контроль умісту окису вуглецю у вихлопних газах за його вмістом в атмосфері зовні труби). У контрольній точці зазвичай розміщують датчик, початок виводу від електричної схеми до вимірювального приладу і т. ін. Контрольною точкою є певне місце відбору проби речовини.

Характеристику об'єкта, що підлягає контролю, називають **контрольованою ознакою (*characteristic under control*)**.

Контрольний зразок (*reference specimen*) – це одиниця продукції або її частина, або проба, затверджені в установленому порядку, характеристики яких узяті за основу під час виготовлення й контролю такої ж продукції.

Контрольний зразок може використовуватися для нормування показників якості. При контролі якості допускається застосування дублікатів контрольних зразків.

Сукупність засобів контролю, виконавців і певних об'єктів контролю, що взаємодіють згідно з правилами, установлені у відповідних НТД, називають **системою контролю (*inspection system*)**. Існують такі види систем контролю:

- **системи відомчого контролю (*departmental management system*)** – системи контролю, який здійснюється органами міністерств або відомств;
- **автоматизовані системи контролю (*automated control system*)** – системи контролю, що забезпечують проведення контролю з частковою безпосередньою участю людини;
- **автоматичні системи контролю (*automatic control system*)** – системи контролю, що забезпечують проведення контролю без участі людини.

Детальну систематизацію видів контролю наведено в наступному розділі.

2.2. Випробування як основна форма контролю РЕЗ

Випробування (*test*) – це експериментальне визначення кількісних і (або) якісних характеристик властивостей об'єкта як наслідок дії на нього

під час його функціонування та при моделюванні об'єкта і (або) дій на нього.

Характеристики властивостей об'єкта при випробуваннях можуть оцінюватися, якщо завданням випробувань є отримання кількісних або якісних оцінок, а можуть контролюватися, якщо завданням випробувань є тільки встановлення відповідності характеристик об'єкта заданим вимогам. У цьому випадку випробування збігаються з контролем, тому багато видів випробувань є контрольними, у процесі проведення яких вирішується завдання контролю.

Найважливішими ознаками випробувань є:

- прийняття на основі їх результатів певних рішень;
- задання певних умов випробувань (реальних або модельованих), під якими розуміють сукупність дій на об'єкт і режимів функціонування об'єкта.

Визначення характеристик об'єкта при випробуваннях може здійснюватися: при його функціонуванні; без його функціонування; за наявності дій на нього; до чи після їх прикладання. Виходячи з викладеного можна зробити висновок, що, з одного боку, випробування є більш активною формою контролю якості, оскільки обов'язково пов'язані з дією на об'єкт, з іншого – контроль є обов'язковою частиною випробувань.

Таким чином, зв'язок між контролем і випробуваннями – складний і взаємний.

Основними цілями випробувань РЕЗ є таке:

1. Експериментальне підтвердження теоретичних розрахунків, прийнятих припущень і гіпотез, заданих показників якості РЕЗ в умовах, близьких до експлуатаційних, а також отримання оцінок, що дають змогу визначати резерви підвищення якості конструкторсько-технологічних рішень і надійності.

2. Контроль якості технології й організації виробництва, виконання під час виробництва й експлуатації вимог НТД.

3. Усунення дефектів взаємодії складових частин (СЧ) РЕЗ у системі.

Виділяють три групи завдань, що вирішуються під час проведення випробувань:

- отримання емпіричних даних, необхідних для проектування РЕЗ;
- установлення відповідності виробу вимогам НТД;
- визначення можливих відмов і граничних станів у процесі експлуатації.

Цілі випробувань є різними на різних етапах проектування, виготовлення й експлуатації. Вони визначаються об'єктом, випробувальною базою та іншими умовами.

Випробування є ефективним засобом підвищення якості РЕЗ, оскільки дають змогу виявити:

- недоліки конструкції й технології виготовлення РЕЗ, що можуть призвести до відмов під час експлуатації;
- відхилення від вибраної конструкції або прийнятої технології під час виробництва;
- дефекти матеріалів та елементів конструкції, що неможливо виявити наявними методами технічного контролю;
- резерви підвищення якості й надійності конструкторсько-технологічного варіанта виробу, що проектується.

За результатами випробувань розробники РЕЗ визначають причини зниження якості. Якщо ці причини встановити не вдається, то вдосконалюють методи й засоби контролю виробів або в цілому технологічний процес.

2.3. Стандартизація з контролю та випробувань – обов’язкова умова їх ефективності

При організації й проведенні контролю та випробувань, оцінюванні їх результатів підприємства, організації, їх окремі підрозділи, посадові особи є виробниками, випробувачами, споживачами РЕЗ. Нормальна взаємодія між ними є можливою лише тоді, якщо застосовуються єдині вимоги:

- технічні мови (термінологія, класифікація методів і засобів контролю й випробувань);
- форма і склад спеціальних НТД (стандартів, методик, програм, висновків, протоколів і т.ін.)
- вимоги до методів і засобів випробувань залежно від видів випробувань і РЕЗ;
- порядок проведення випробувань, що визначається відповідною стадією життєвого циклу РЕЗ;
- положення про права й обов’язки підприємств, організацій, підрозділів та окремих посадових осіб при проведенні випробувань.

Усі перелічені організаційні вимоги є об’єктами стандартизації. Стандарти, методи й методики з них утворюють групу основоположних організаційно-методичних документів.

Ці документи розробляються насамперед на міжнародному рівні такими організаціями, як ISO (Міжнародна організація зі стандартизації) і IEC (Міжнародна електротехнічна комісія), після чого гармонізуються з державними стандартами, розвиваються й доповнюються на рівнях галузей та окремих підприємств.

Стандартизації підлягають:

- вимоги до випробувань продукції;
- процеси організації випробувань;
- методи й засоби випробувань;
- планування випробувань.

Необхідно зазначити, що підвищення ефективності контролю процесів проектування й технологічних процесів виготовлення виробів призводить до зниження ролі випробувань готової продукції. Правильно організований автоматизований контроль технологічних процесів дає змогу зменшити обсяг випробувань готової продукції.

Детальну класифікацію випробувань і розгляд питань їх організаційно-методичного забезпечення буде наведено в наступних розділах цього навчального посібника.

2.4. Проблеми проведення випробувань РЕЗ

Усі властивості, що визначають якість продукції, можна поділити на два класи:

1) ті, що виявляються за дуже короткий час (зовнішній вигляд, їх геометрія, маса), а також характеризуються параметрами виробів, що суттєво не змінюються в часі;

2) ті, що виявляються під час роботи виробів під навантаженням протягом певного часу.

До другого класу належать **потенційно ненадійні** вироби. Метою випробувань РЕЗ може бути виявлення цих виробів, оскільки явно дефектні вироби легко можуть бути відбраковані за результатами разового вимірювання контрольованих параметрів і порівняння їх з вимогами НТД.

При організації випробувань виробів другого класу виникає дві проблеми: адекватність умов випробувань реальним умовам експлуатації РЕЗ і зниження трудомісткості випробувань.

Проблема адекватності умов випробувань реальним умовам експлуатації РЕЗ. Дослідження, аналіз і досвід експлуатації РЕЗ показують, що існує суттєва розбіжність між показниками надійності, які отримують в умовах експлуатації й розрахунковим шляхом або при випробуваннях у лабораторних і виробничих умовах. Ця розбіжність обумовлена трьома основними причинами:

- невідповідність зовнішніх дій, що моделюються при лабораторних випробуваннях, реальним зовнішнім діям на РЕЗ;

- різні методики встановлення критеріїв відмов при лабораторних випробуваннях і в експлуатації;

- відмінність експлуатаційних режимів роботи РЕЗ від режимів при випробуваннях.

Проблему адекватності умов випробувань реальним умовам експлуатації РЕЗ вирішують, усуваючи, якщо можливо, зазначені причини. При цьому особливо складною є перша причина. Це пов'язано з тим, що ступінь відповідності модельованих зовнішніх дій реальним діям визначається не тільки повнотою знань щодо багатofакторних умов експлуатації, але й технічними можливостями їх моделювання (випробувальні стенди та камери, контрольно-вимірювальна апаратура). З ускладненням РЕЗ суттєво підвищуються вимоги до засобів випробувань. Але вдосконалення останніх є не тільки складною технічною, але й економічною проблемою. Наприклад, засоби для випробувань РЕЗ на широкосмугову випадкову вібрацію, що забезпечують високу адекватність експлуатаційних і випробувальних дій, коштують у 100 разів дорожче засобів для випробувань на синусоїдальну вібрацію. Тому на практиці при організації системи випробувань шукають компромісне рішення між вартістю випробувального устаткування й адекватністю умов випробувань реальним умовам експлуатації. Це потребує серйозних досліджень і обґрунтувань.

Проблема зниження трудомісткості випробувань насамперед пов'язана з експериментальним підтвердженням високих показників надійності виробів. Так, для того щоб підтвердити для сучасних виробів значення інтенсивності відмов $\lambda \sim 10^{-7}$ год⁻¹, необхідно випробувати 1000 виробів протягом 10 років. Не тільки трудомісткість, але й вартість таких випробувань є неймовірно великою, а інформація щодо реальної надійності неприйнятно запізнюється.

Напрями вирішення проблеми:

- розвиток математичних, фізичних і фізико-статистичних методів пришвидшення випробувань на надійність;
- розвиток методів неруйнівного контролю РЕЗ, що забезпечують формування високоінформативних ознак відмов за короткий час спостереження.

Тут як приклад було розглянуто дві проблеми, пов'язані з випробуванням на надійність. Інші проблеми й шляхи їх подолання будуть характеризуватися в міру розгляду конкретних питань щодо контролю й випробувань.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому інформація щодо якості РЕЗ, що отримується на етапі експлуатації, усе ж таки є недостатньою для забезпечення високої якості?
2. Охарактеризуйте завдання контролю, що вирішуються на різних етапах життєвого циклу РЕЗ.

3. Поясніть дію блока «Аналіз» на рис. 2.1 для різних етапів існування РЕЗ.
4. Поясніть дію блока «Керувальні дії».
5. Чим технічний контроль відрізняється від контролю якості?
6. У чому полягає відмінність між кількісною, якісною й альтернативною ознаками?
7. Що є засобом контролю?
8. Наведіть приклади контрольної точки об'єкта.
9. Охарактеризуйте поняття «контрольний зразок».
10. Чим випробування принципово відрізняються від контролю?
11. Назвіть основні цілі випробувань.
12. Які основні результати випробувань щодо підвищення якості РЕЗ ви знаєте?
13. Чим можна пояснити необхідність стандартизації в області випробувань і контролю?
14. Чим визначається проблема адекватності умов випробувань реальним умовам експлуатації?
15. Яким чином може бути вирішена проблема зниження трудомісткості випробувань на надійність?

3. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАНЬ

Питання контролю та випробувань технічних засобів є одним з найважливіших при їх проектуванні. Їх описано з огляду на міжнародні (ISO – Міжнародна організація зі стандартизації, IEC – Міжнародна електротехнічна комісія) і вітчизняні стандарти, де розвинуто певні погляди, означення й системи класифікації, що є предметами дослідження цього розділу.

3.1. Систематизація видів контролю

Існує така класифікація видів контролю за основними ознаками:

1. За стадією створення й існування продукції:

- *контроль проектування* (project inspection) – контроль процесу проектування, конструкторської та (або) технологічної документації на стадії розроблення продукції;
- *виробничий* (manufacturing supervision) – контроль виробничого процесу та його результатів на стадії виготовлення;
- *контроль технологічного процесу* (technological process inspection) – контроль режимів, характеристик, параметрів технологічного процесу;
- *експлуатаційний* (field inspection) – контроль об'єктів, що експлуатуються, і процесів технічного обслуговування, ремонту, зберігання та транспортування.

2. За етапом процесу виробництва:

- *вхідний* (incoming inspection) – контроль продукції постачальника, споживача або замовника для використання при виготовленні, ремонті або експлуатації продукції;
- *операційний* (operational inspection) – контроль продукції або процесу під час виконання або після завершення технологічної операції;
- *приймальний* (acceptance inspection) – контроль продукції, за результатом якого приймається рішення щодо її придатності до поставки та (або) використання;
- *інспекційний* (inspection check-up) – контроль, що здійснюється спеціальними уповноваженими особами для перевірки ефективності раніше виконаного контролю.

3. За повнотою охоплення:

- *суцільний* (100% inspection) – контроль кожної одиниці продукції в партії;

- *вибірковий* (sampling inspection) – контроль вибірок або проб із партії або потоку продукції.

4. За ознакою часу:

- *статистичний* (statical control) – контроль якості, при якому використовуються статистичні методи;

- *раптовий* (casual inspection) – контроль, що проводиться зненацька – у випадкові моменти часу;

- *безперервний* (continious inspection) – контроль, при якому інформація щодо контрольованих параметрів надходить через певні інтервали часу.

5. За впливом на об'єкт контролю:

- *руйнівний* (destructive inspection) – контроль, при якому може порушитися придатність продукції до її використання за призначенням;

- *неруйнівний* (non-destructive inspection) – контроль, який порушує придатність продукції до її використання за призначенням.

6. За використовуваними засобами контролю:

- *вимірювальний* (control by measurement) – контроль, що здійснюється з використанням засобів вимірювання;

- *допусковий* (range control) – контроль, при якому встановлюється факт знаходження дійсного значення параметра відносно його гранично допустимих значень без вимірювання;

- *реєстраційний* (registration control) – контроль, що здійснюється на основі результатів підрахунку та (або) реєстрації певних подій або якісних ознак продукції;

- *органоліптичний* (organoleptic inspection) – контроль, при якому первинна інформація сприймається лише через органи чутливості без урахування числових значень;

- *візуальний* (visual inspection) – органоліптичний контроль, що здійснюється лише через органи зору;

- *технічний огляд* (technical check-up) – контроль, що здійснюється в основному через органи чутливості та, якщо необхідно, з допомогою засобів контролю, номенклатура яких встановлюється у відповідній документації.

Систематизація видів випробувань

Наведемо класифікацію видів випробувань за такими ознаками:

1. За призначенням:

- *дослідні* (investigation test) – випробування, що проводяться для вивчення певних властивостей об'єкта (визначення або оцінювання показників якості функціонування при певних умовах застосування; вибір найкращих режимів застосування об'єкта або найкращих характеристик властивостей об'єкта; порівняння можливих варіантів реалізації об'єкта при проектуванні або атестації; побудова математичної моделі функціонування об'єкта або оцінювання параметрів математичної моделі; вибір суттєвих факторів, що впливають на показники якості функціонування об'єкта; вибір виду математичної моделі об'єкта серед заданої множини варіантів);

- *контрольні* (check test) – випробування, що проводяться для контролю якості об'єкта;

- *порівняльні* (comparative test) – випробування аналогічних за характеристиками або однакових об'єктів, що проводяться в ідентичних умовах для порівняння їх характеристик або властивостей;

- *визначальні* (determinative test) – випробування, що проводяться для визначення значень характеристик об'єкта із заданими значеннями показників точності та (або) достовірності.

2. За рівнем проведення:

- *державні* (state test) – випробування встановлених найважливіших видів продукції, що проводяться державною комісією або випробувальною організацією, якій надано право їх проведення;

- *міжвідомчі* (interdepartmental test) – випробування, що проводяться комісією, до складу якої входять представники декількох зацікавлених відомств, або приймальні випробування складових частин об'єкта, що розробляється декількома відомствами;

- *відомчі* (departmental test) – випробування, що проводяться комісією від зацікавленого відомства.

3. За етапами розроблення продукції:

- *довідні* (developmental test) – дослідні випробування, що проводяться під час розроблення продукції з метою оцінювання впливу внесених змін для досягнення заданих значень показників її якості;

- *попередні* (preliminary test) – контрольні випробування дослідних зразків та (або) дослідних партій продукції, що проводяться з метою визначення можливості їх подання на приймальні випробування;

- *приймальні* (acceptance test) – контрольні випробування дослідних зразків, дослідних партій продукції або виробів одиничного виробництва, що проводяться згідно з метою вирішення питання доцільності постановки цієї продукції на виробництво та (або) застосування за призначенням.

4. За випробуваннями готової продукції:

- *кваліфікаційні* (qualification test) – контрольні випробування установчої серії або першої промислової партії, що проводяться з метою оцінювання готовності підприємства до випуску продукції певного типу в заданому обсязі;

- *пред'явницькі* (predelivery test) – контрольні випробування продукції, що проводяться службою технічного контролю підприємства-виробника перед пред'явленням її для приймання представником замовника, споживача або інших органів приймання;

- *приймально-здавальні* (approval test) – контрольні випробування продукції при приймальному контролі;

- *періодичні* (periodical test) – контрольні випробування продукції, що проводяться в обсягах та в терміни, які встановлено в НТД, з метою контролю стабільності якості продукції і можливості продовження її виготовлення;

- *інспекційні* (inspection test) – контрольні випробування певних видів продукції, що проводяться вибірково з метою контролю стабільності якості продукції спеціально уповноваженими організаціями;

- *типові* (type test) – контрольні випробування продукції, які проводяться з метою оцінювання ефективності й доцільності змін, унесених у конструкцію, рецептуру або технологічний процес;

- *атестаційні* (evaluation test) – випробування, що проводяться для оцінювання рівня якості продукції при її атестації за категоріями якості;

- *сертифікаційні* (certification test) – контрольні випробування продукції, що проводяться з метою встановлення відповідності характеристик її властивостей національним та (або) міжнародним НТД.

5. За умовами й місцем проведення:

- *лабораторні* (laboratory test) – випробування об'єкта, що проводяться в лабораторних умовах;

- *стендові* (bench test) – випробування, що проводяться на випробувальному устаткуванні;

- *полігонні* (ground test) – випробування об'єкта, що проводяться на випробувальному полігоні;

- *натурні* (verification test in situ) – випробування об'єкта в умовах, що відповідають умовам його використання за прямим призначенням, з безпосереднім оцінюванням або контролем характеристик властивостей об'єкта, що визначаються;

- *випробування з використанням моделей* (test with modeling) – випробування, що полягають у проведенні розрахунків на математичних або фізико-математичних моделях об'єкта випробувань і (або) дій на нього сумісно з натурними випробуваннями об'єкта та його СЧ, а також у застосуванні фізичної моделі об'єкта випробувань або його СЧ;

- *експлуатаційні* (field test) – випробування об'єкта при його експлуатації (дослідна експлуатація, підконтрольна експлуатація).

6. За тривалістю випробувань:

- *нормальні* (normal test) – випробування, методи й умови проведення яких забезпечують отримання необхідного обсягу інформації щодо характеристик властивостей об'єкта за такий же інтервал часу, що й у передбачених умовах експлуатації;

- *прискорені* (accelerated test) – випробування, методи й умови проведення яких забезпечують отримання необхідної інформації щодо характеристик властивостей об'єкта за більш короткий термін, ніж при нормальних випробуваннях;

- *скорочені* (reduced test) – випробування, що проводяться за скороченою програмою.

7. За видом дії зовнішніх факторів (проводяться для перевірки роботоздатності та (або) збереження зовнішнього вигляду виробів у межах, установлених у НТД, в умовах дії факторів та (або) після неї):

- *механічні* (mechanical test) (вібрація, прискорення та ін.);

- *кліматичні* (environmental test) (вологість, температура, сонячне випромінювання та ін.);

- *термічні* (thermal test) (тепловий удар, нагрівання, вибух, аеродинамічне нагрівання, тепловий потік, полум'я, тертя);

- *радіаційні* (radiation test);

- *електричні* (electric test);

- *електромагнітні* (electromagnetic test);

- *магнітні* (magnetic test);

- *хімічні* (chemical test);

- *біологічні* (biological test);

- *спеціальних середовищ* (special environments test) (неорганічні й органічні сполуки, мастила, розчинники, паливо, робочі розчини та ін.).

8. За результатом дії:

- *неруйнівні* (non-destructive test) – випробування, які не повинні порушити роботоздатність і спричинити руйнування об'єкта, причому допускається застосування неруйнівних методів контролю;

- *руйнівні* (destructive test) – випробування, що можуть порушити роботоздатність і цілісність об'єкта, причому застосування неруйнівних методів контролю не допускається;

- *на міцність* (strength test) – випробування, що проводяться для визначення значень діючих факторів, що спричиняють втрату роботоздатності об'єкта та його руйнування;

- *на стійкість* (stability test) – випробування, що проводяться для контролю роботоздатності об'єкта під час і після дії на нього певних факторів;

- *на витривалість* (durability test) – випробування, що проводяться для контролю роботоздатності об'єкта під час дії на нього певних факторів.

9. За характеристиками об'єкта, що визначаються або контролюються:

- *функціональні* (functional test) – випробування для визначення показників призначення об'єкта;

- *на надійність* (reliability test) – випробування для визначення або контролю показників надійності (безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності та комплексних) на різних етапах життєвого циклу об'єкта;

- *на безпеку* (safety test) – випробування для визначення або контролю показників безпеки виготовлення, застосування, збереження, утилізації об'єкта;

- *на транспортабельність* (transportability test) – випробування для визначення або контролю показників призначення, надійності, безпеки при певних умовах транспортування об'єкта;

- *граничні* (marginal test) – випробування, що проводяться для визначення залежності між гранично допустимими значеннями параметрів об'єкта й режимом експлуатації;

- *технологічні* (in-process test) – випробування, що проводяться під час виготовлення об'єкта для оцінювання його технологічності.

Розглянуті поняття й терміни щодо контролю та випробувань технічних засобів відповідають міжнародним стандартам і національному стандарту ДСТУ 3021–95, тому їх застосування в НТД і НТКД є обов'язковим.

Випробування можуть мати дві і більше ознак із числа розглянутих одночасно. Якщо необхідно, найменування випробувань може містити перелік цих ознак видів випробувань, наприклад, міжвідомчі періодичні стендові випробування на надійність і т. ін.

Широке коло видів випробувань об'єднують у категорії випробувань, що характеризуються організаційними ознаками їх проведення: рівнем (державні, міжвідомчі, відомчі, внутрішньозаводські), етапами розроблення (попередні, приймальні), різними видами випробувань готової продукції (кваліфікаційні, приймально-здавальні, періодичні, типові тощо).

За результатами всіх цих випробувань здійснюється оцінювання об'єкта в цілому і приймається відповідне рішення щодо можливості подання виробу на приймальні випробування, щодо поставки виробу на

виробництво, щодо закінчення планування серійного виробництва, щодо можливості його продовження, щодо присвоєння виробу сертифіката тощо.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1. Скласти словник англomовних термінів розглянутих означень з контролю й випробувань.
2. Навести декілька прикладів назв випробувань гіпотетичних об'єктів різних категорій.
3. Підготувати відповіді на контрольні запитання.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що є об'єктом контролю на стадіях:
 - а) проектування;
 - б) виробництва;
 - в) експлуатації?
2. Для чого здійснюється вхідний контроль продукції?
3. Які рішення приймаються за результатами приймального контролю?
4. Які існують види контролю за повнотою охоплення?
5. Чим руйнівний контроль відрізняється від неруйнівного?
6. У чому полягає реєстраційний контроль?
7. Наведіть приклади ергономічного контролю в галузі радіoeлектроніки.
8. З якою метою здійснюють дослідні випробування РЕЗ?
9. Назвіть види випробувань за рівнем проведення.
10. Якими є цілі приймальних випробувань продукції?
11. Для чого проводяться типові випробування?
12. Назвіть ознаки випробувань з використанням моделей.
13. Що таке прискорені випробування, чим вони відрізняються від скорочених?
14. Для чого проводяться випробування на зовнішні дії?
15. Чим руйнівні випробування відрізняються від неруйнівних?
16. У чому полягає відмінність між випробуваннями на міцність, стійкість і витривалість?
17. Що таке функціональні випробування технічних засобів?
18. Дайте означення випробувань на транспортабельність.
19. У чому полягають граничні випробування технічних засобів?
20. Назвіть різновиди випробувань технічних засобів на надійність.

4. ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПРИНЦИПИ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ

Метою цього розділу є дослідження основних організаційно-методичних принципів, що є основою побудови систем випробувань РЕЗ.

4.1. Процес випробувань як система

Як впливає із означення, термін «випробування» можна тлумачити як процес взаємодії:

- а) об'єкта випробувань;
- б) підсистеми формування умов випробувань;
- в) підсистеми оцінювання стану та характеристик об'єкта випробувань;
- г) підсистеми визначення властивостей об'єкта випробувань і прийняття рішень щодо нього.

Усі ці підсистеми функціонують при методологічному й організаційно-методичному забезпеченні та через проектування, виробництво й експлуатацію (як зворотний зв'язок) впливають на властивості об'єкта випробувань.

Описану систему взаємодії зображено на рис. 4.1.

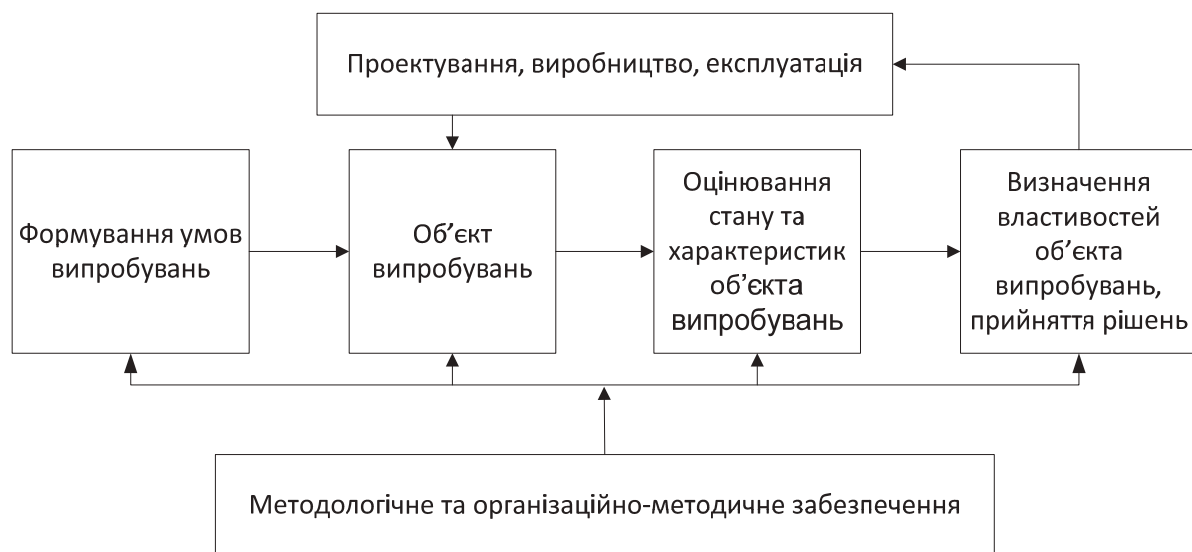


Рис. 4.1. Система взаємодії процесу випробувань

4.1.1. Об'єкт випробувань

Об'єктом випробувань є продукція, що підлягає випробуванню. Об'єктом випробувань може бути:

- зразок для випробувань;
- дослідний зразок;

- модель для випробувань;
- макет для випробувань.

Зразок для випробувань – це продукція або її частина чи проба, що безпосередньо піддається експерименту при випробуваннях.

Дослідний зразок – зразок продукції, виготовлений за заново розробленою робочою документацією для перевірки шляхом випробувань відповідності його заданим технічним вимогам з метою прийняття рішення щодо можливості постановки на виробництво та (або) використання за призначенням.

Модель для випробувань – виріб, процес, явище або математична модель, що відповідає об'єкту випробувань та (або) діям на нього і може заміщувати їх у процесі випробувань.

Макет для випробувань – це виріб, що є спрощеним відтворенням об'єкта випробувань або його частини, який призначено для випробувань.

Головною ознакою об'єкта випробувань є те, що за результатами його випробувань приймається те або інше рішення щодо його придатності або забракування, можливості подання на наступні випробування, можливості серійного випуску тощо.

Залежно від виду продукції й програми випробувань об'єктом випробувань може бути:

- одиничний виріб;
- партія виробів, що підлягають суцільному або вибірковому контролю;
- окремий зразок;
- партія продукції, від якої береться певна проба.

При виборі об'єкта випробувань ураховують такі вимоги:

- необхідність підтвердження роботоздатності виробу в умовах експлуатації, визначених у НТД;
- необхідність підтвердження відповідності параметрів надійності виробу (виробів) значенням за НТД;
- мінімальна вартість випробувань (включаючи витрати на випробувальне устаткування);
- мінімальна тривалість випробувань;
- наявність відповідного устаткування й оснащення для забезпечення проведення випробувань;
- необхідність забезпечення взаємозамінності окремих функціональних частин і блоків;
- можливість забезпечення оптимального контролю технічних процесів випробувань.

Слід звернути увагу на суперечливий характер перших чотирьох вимог. Так, при сучасних тенденціях мікромініатюризації комплектувальних виробів РЕЗ підвищується трудомісткість повної перевірки їх роботоздатності. Отримання більш об'єктивних показників надійності

виробів пов'язане зі збільшенням їх кількості й тривалості їх випробувань. Це також здорожує випробування.

4.1.2. Формування умов випробувань

Умови випробувань – це сукупність діючих факторів і (або) режимів функціонування об'єкта при випробуваннях.

До умов випробувань належать:

- зовнішні діючі фактори (природні та штучно створені);
- внутрішні дії, що викликаються функціонуванням об'єкта (наприклад, нагрівання через тертя або проходження електричного струму);
- режими функціонування;
- способи й місця встановлення, монтажу, кріплення, швидкість переміщення тощо;
- сукупність корисних і перешкоджальних сигналів.

Нормальні умови випробувань установлюються в НТД на методи випробувань певного виду продукції.

Для формування умов випробувань використовують:

- засоби випробувань;
- випробувальне устаткування;
- випробувальні полігони;
- носії об'єктів для експлуатаційних випробувань.

Засіб випробувань – це технічний пристрій, речовина та (або) матеріал для проведення випробувань.

Поняття засобу випробувань охоплює будь-які технічні засоби, що застосовуються при випробуваннях. Насамперед це випробувальне устаткування, під яким розуміють засоби відтворення умов випробувань.

До засобів випробувань належать засоби вимірювань, вбудовані в випробувальне устаткування, а також ті, що застосовуються при випробуваннях для вимірювання тих чи інших характеристик об'єкта або контролю умов випробувань, – імітатори сигналів і завад.

До засобів випробувань слід відносити також допоміжні технічні пристрої для кріплення об'єктів випробувань, реєстрації й оброблення даних та основні й допоміжні речовини і матеріали (реактиви тощо), що використовуються під час випробувань.

Випробувальний полігон – спеціальна територія й випробувальні споруди на ній, оснащені засобами випробувань, що забезпечують випробування об'єкта в умовах, близьких до умов експлуатації.

Полігони можуть бути відкритими, закритими, зокрема на базі безлунних камер.

Носіями об'єктів для експлуатаційних випробувань можуть бути літаки, автомобілі, залізничні та морські засоби, оснащені спеціальною випробувальною й діагностичною апаратурою.

Дії, що формуються для випробувань, мають відповідати таким вимогам:

- адекватність умовам експлуатації;
- розміщення дій за рівнем впливу на об'єкт;
- урахування й забезпечення незмінності механізму розвитку відмов;
- урахування всіх елементів конструкції об'єкта.

4.1.3. Оцінювання стану й характеристик властивостей об'єкта. Прийняття рішень щодо об'єкта

Дані випробувань – це значення характеристик властивостей об'єкта та (або) умов випробувань, наробків, а також інших параметрів, що реєструються при випробуваннях і є вихідними для подальшого оброблення.

Дані випробувань фіксують у протоколі, який має містити:

- дату проведення випробувань та їх тривалість, місце, посади й прізвища співробітників, що проводили випробування;
- найменування й позначення атестованої методики випробувань;
- значення даних випробувань, включаючи значення характеристик властивостей зразків і параметрів, значення відтворюваних при випробуваннях умов, дій і режимів функціонування, а також показника точності даних випробувань.

Дані випробувань фіксують у тій формі, у тій послідовності, у якій їх було отримано. Попереднє групування, округлення даних та виключення окремих значень не допускаються. Якщо необхідно, проводять попереднє оброблення даних випробувань: виявлення викидів, перевірку однорідності, незалежності й виду розподілу.

Результат випробувань – оцінювання характеристик властивостей об'єкта, установлення відповідності об'єкта заданим вимогам, результати аналізу якості функціонування об'єкта в процесі випробувань.

Результати випробувань оформлюють у вигляді протоколів і висновків.

Протокол випробувань – це документ, що містить необхідні відомості про об'єкт випробувань, методи й засоби випробувань, що застосовувалися, умови випробувань, результати випробувань, а також висновки.

У деяких випадках допускається об'єднувати протокол даних випробувань з протоколом випробувань.

Результат випробувань характеризується:

- **точністю** (близькістю результатів до дійсних значень характеристик об'єкта);
- **достовірністю** (ступенем правильності результату);
- **відтворюваністю** (близькістю результатів повторних випробувань).

Результати випробувань подають у вигляді:

- точкових оцінок показників якості об'єкта випробувань із зазначенням показників точності цих оцінок (нижніх і (або) верхніх довірчих меж і відповідних довірчих імовірностей);
- інтервалу значень показника якості із зазначенням довірчої ймовірності;
- висновку щодо відповідності чи невідповідності продукції вимогам НТД із зазначенням імовірностей помилок при прийнятті рішень;
- експертного висновку;
- висновку щодо нормального функціонування випробувальної продукції в заданих умовах.

Протоколи випробувань зберігаються в організації, що проводила випробування, протягом установленого часу.

4.2. Організаційно-методичне забезпечення випробувань

Організаційно-методичне забезпечення випробувань складається з такого:

- метод випробувань;
- програма випробувань;
- методика випробувань.

Метод випробувань – це правила застосування певних принципів і засобів випробувань.

Методи випробувань описуються в стандартах для окремих видів продукції або видів спорідненої продукції (наприклад, для електротехнічних, електронних, оптоелектронних виробів).

Програма випробувань – це організаційно-методичний документ, обов'язковий для виконання, що визначає:

- об'єкт випробувань;
- мету випробувань;
- види, послідовність і кількість експериментів, що проводяться;

- порядок, умови, місце, строки проведення випробувань;
- забезпечення і звітність з випробувань;
- відповідальність за забезпечення.

Опис об'єкта випробувань у програмі випробувань містить стислу інформацію щодо об'єкта: термін його виготовлення, номери ТУ й паспорта для заводських виробів, особливості конструкції й технології; тактико-технічні характеристики, що підлягають вимірюванню чи визначенню за вимірами значень інших параметрів; критерії придатності й надійності, вимоги до зовнішнього вигляду, електричних та інших параметрів.

Мета випробувань розкриває їх призначення і має повністю відображатися в найменуванні випробувань.

Найменування випробувань має відображати таке:

- **призначення випробувань** (дослідні, визначальні, порівняльні, контрольні);
- **рівень випробувань** (державні, міжвідомчі, відомчі, внутрішньозаводські);
- **умови й місце проведення** (лабораторні, стендові, полігонні, натурні, з використанням моделей, експлуатаційні);
- **тривалість** (нормальні, прискорені, скорочені);
- **вид дії** (механічні, кліматичні, термічні, радіаційні, електричні, електромагнітні, магнітні, хімічні, біологічні);
- **результат дії** (неруйнівні, руйнівні, на стійкість, на міцність, на витривалість);
- **спрямованість на певну характеристику** об'єкта (функціональні, на надійність, на транспортабельність, граничні, технологічні).

Найменування може містити дві й більше з перелічених ознак.

Обсяг і методика випробувань – розділ програми, у якому наводяться такі відомості: кількість виробів, що випробовуються; загальна тривалість випробувань і тривалість випробувань при різних діючих факторах; режими випробувань, межі змінення напруг живлення тощо.

Для конкретних виробів види випробувань, їх обсяг і режими можна визначити за державними стандартами, де встановлюється мета проведення випробувань на дію різних об'єктивних факторів тощо.

План проведення випробувань – складова частина програми випробувань. У плані зазначаються роботи, які необхідно виконати для проведення випробувань і виготовлення зразків, приймання зразків ВТК,

вимірювання й визначення параметрів зразків, підготовки випробувального обладнання, проведення випробувань, оформлення результатів випробувань, узгодження й затвердження протоколу випробувань тощо.

Методика випробувань – це організаційно-методичний документ, у якому має бути зазначено таке:

- метод випробувань;
- засоби й умови випробувань;
- відбір проб;
- алгоритми виконання операцій з визначення однієї або декількох взаємозв'язаних характеристик властивостей об'єкта;
- форми подання даних та оцінювання точності, достовірності результатів;
- вимоги техніки безпеки й охорони навколишнього середовища.

Методика, що визначає по суті технічний процес проведення випробувань, може бути оформлена або як самостійний документ, або в складі програми випробувань, або в НТД на продукцію (стандарти, технічні умови).

Методика випробувань має бути атестована.

4.3. Методи й способи випробувань РЕЗ

4.3.1. Методи випробувань РЕЗ

Класифікацію методів випробувань РЕЗ зображено на рис. 4.2. **Фізичні** випробування РЕЗ можуть проводитися як при дії ЗДФ, що створюються штучно в лабораторних умовах із застосуванням спеціального обладнання, так при дії природних ЗДЧ.

Лабораторні й стендові випробування відрізняються від випробувань в умовах реальної експлуатації неможливістю відтворити всі зовнішні дії одночасно в тій же сукупності, що мають місце в реальній експлуатації. Зазвичай при лабораторних і стендових випробуваннях відтворюють один або декілька кліматичних, механічних та інших факторів.

Мета полігонних і натурних випробувань – дослідження комплексного впливу реальних природних та інших факторів на змінення параметрів РЕЗ, що спричиняють **оборотні та необоротні** відмови при експлуатації, та визначення тривалості консервації та зберігання.

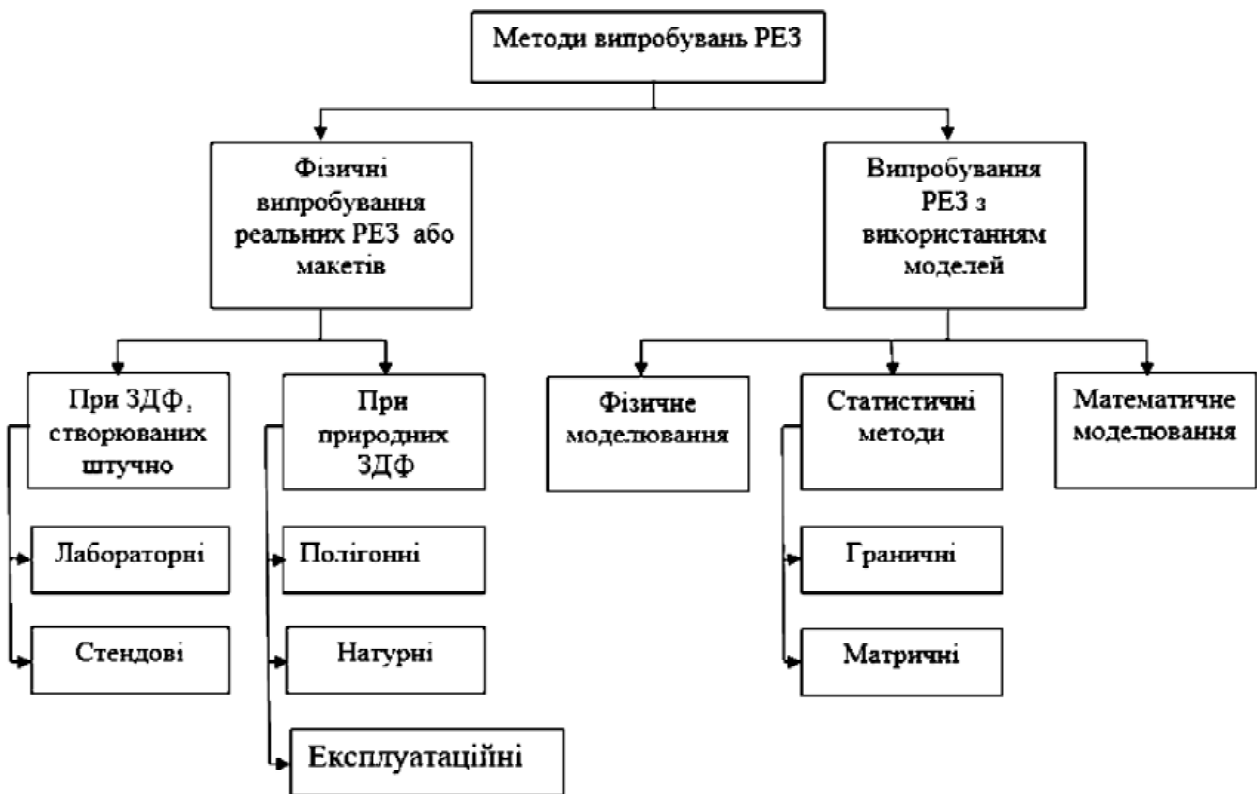


Рис. 4.2. Методи випробувань РЕЗ

За результатами полігонних і натурних випробувань визначаються рекомендації щодо способів захисту РЕЗ від дії ЗДФ.

До фізичних випробувань слід віднести також **експлуатаційні випробування**. Одним із основних їх видів є **дослідна експлуатація**. Інколи проводиться **підконтрольна експлуатація** РЕЗ, зазвичай у складі об'єктів розміщення, яку умовно можна віднести до експлуатаційних випробувань.

Випробування з використанням моделей здійснюються методами фізичного й математичного моделювання об'єктів випробувань і (або) дій на них у поєднанні з натурними випробуваннями об'єкта та його СЧ. Дані натурних випробувань використовуються як вихідні дані для моделювання, а також для перевірки правильності функціонування об'єкта випробувань.

4.3.2. Способи проведення випробувань

При лабораторних і стендових випробуваннях застосовуються такі способи проведення випробувань:

- послідовний;
- паралельний;
- послідовно-паралельний;
- комбінований.

При **послідовному способі** один і той же об'єкт випробувань послідовно піддається всім видам випробувань, які передбачено в програмі.

Першочерговому виявленню зазвичай підлягають найбільш грубі дефекти апаратури, такі як коротке замикання й обриви при проведенні, наприклад, приймально-здавальних випробувань.

Важливою умовою проведення послідовних випробувань є дотримання певного порядку дії зовнішніх факторів.

Якщо спочатку діють найбільш значні фактори, то найбільш швидко виявляються потенційно ненадійні зразки, і час випробувань зменшується. Але при цьому втрачається більша частина інформації про вплив інших факторів.

Тому рекомендується починати випробування з найменш жорстких факторів. Такий спосіб випробувань дає змогу точніше визначити причини відмов і місця потенційних дефектів.

З іншого боку, якщо найбільш небезпечні для об'єкта ЗДФ розмістити в кінці послідовності випробувань, то значно збільшується час їх проведення.

Оптимальна послідовність проведення випробувань залежить від призначення РЕЗ, місця їх установаження й можливих умов експлуатації.

При паралельному способі проведення випробувань зразок піддається одночасній дії декількох ЗДФ паралельно на декількох вибірках. Такий спосіб дає змогу одержати великий обсяг інформації за менший проміжок часу, ніж при послідовному способі, при мінімальному зношенні зразків, що випробовуються.

Однак цей спосіб потребує значно більшої кількості виробів для випробувань.

Послідовно-паралельний спосіб є певним компромісом між послідовним й паралельним способами і дає змогу в кожному конкретному випадку знаходити більш ефективні, найбільш оптимальні варіанти їх сполучення.

При послідовно-паралельному способі випробувань усі вироби, відібрані для випробувань, розбивають на декілька груп, які випробовуються паралельно. Усі види випробувань також розбивають на групи, їх кількість дорівнює кількості груп виробів, що випробовуються. Склад груп випробувань формується за видами випробувань із тих міркувань, щоб, з одного боку, тривалість випробувань в усіх групах була приблизно однаковою, а з іншого – щоб економічні витрати були мінімальними.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні підсистеми системи випробувань.
2. Поясніть суть зворотного зв'язку в системі випробувань.
3. Назвіть вимоги, які повинен задовольняти об'єкт випробувань.
4. Які засоби використовують для формування умов випробувань?
5. Яким вимогам мають відповідати дії на об'єкт при його випробуваннях?
6. Чим характеризується результат випробувань?
7. Що входить до складу організаційно-методичного забезпечення випробувань?
8. Назвіть складові програми випробувань.
9. Назвіть складові методики випробувань.
10. Назвіть методи фізичних випробувань РЕЗ.
11. Якими методами здійснюються випробування з використанням моделей?
12. Охарактеризуйте способи проведення випробувань.

5. СИСТЕМА ДЕРЖАВНИХ ВИПРОБУВАНЬ ПРОДУКЦІЇ. ЄДНІСТЬ ВИПРОБУВАНЬ

Завдання випробувань технічних об'єктів є настільки важливими, що держави з високим рівнем розвитку промисловості й науки беруть під свій контроль питання, що стосуються випробувань без огляду на форму власності розробника або виробника. У таких державах формується певна система контролю якості продукції, а результати випробувань використовуються на всіх рівнях керування народним господарством. Така система, що є системою державних випробувань продукції (СДВП), існує і в Україні.

5.1. Основні положення СДВП

Основною метою СДВП є отримання об'єктивної, достовірної інформації щодо фактичних значень показників якості продукції відповідно до НТД для прийняття відповідних рішень (див. підрозд. 2.3).

Технічною основою СДВП є засоби випробувань – випробувальне устаткування, засоби вимірювань та інші технічні засоби, що дають змогу проводити певні види випробувань продукції.

Організаційною основою СДВП є:

- головні організації з державних випробувань певних видів продукції, що затверджуються міністерствами, відомствами разом з Держстандартом України;
- випробувальні організації й підрозділи інших підприємств та організацій, що є відомчими та регіональними випробувальними центрами, опорними пунктами, базовими випробувальними організаціями або підрозділами, що працюють під методичним керівництвом головних організацій за закріпленими видами продукції або видами випробувань.

СДВП очолює Держстандарт України.

Нормативно-методичною основою СДВП є:

- комплекс стандартів, що регламентують організаційно-методичні й нормативно-технічні основи СДВП;
- комплекс стандартів системи розроблення й постановки продукції на виробництво;
- комплекс стандартів державної системи забезпечення єдності вимірювань (ДСВ);
- нормативно-технічні документи, що регламентують вимоги до продукції й методи її випробувань;
- нормативно-технічні документи, що регламентують вимоги до засобів випробувань і порядок їх використання.

Міністерства і відомства планують та організують усі роботи з державних випробувань у підвідомчих організаціях і на підприємствах, разом з Держстандартом затверджують головні організації з державних випробувань, сприяють розвитку матеріально-технічної бази і забезпечують кваліфікованими кадрами всі випробувальні організації та підрозділи.

Держстандарт атестує головні організації з державних випробувань, здійснює загальне методичне керівництво державними випробуваннями й контролює правильність їх проведення, приймає остаточне рішення щодо розбіжностей, які виникають під час проведення випробувань.

Випробувальні організації і підрозділи підприємств та організацій виконують свої функції відповідно до положень про них, що розробляються на основі нормативних документів Держстандарту.

Головні й базові організації міністерств і відомств розробляють державні й галузеві стандарти та інші НТД на методи випробувань закріплених видів продукції.

Територіальні органи Держстандарту:

- здійснюють методичне керівництво державними випробуваннями і контролюють їх проведення у випробувальних організаціях і підрозділах, розташованих на їх території;
- проводять їх попередню, періодичну й позачергову атестацію;
- беруть участь в атестації випробувального устаткування, контролюють стан і застосування засобів вимірювань, розроблення й атестацію методик випробувань;
- беруть участь у проведенні випробувань у межах державного нагляду за впровадженням і дотриманням стандартів на різних етапах життєвого циклу продукції.

Інститути Держстандарту розробляють науково-методичні основи організації, проведення та забезпечення єдності випробувань, базові державні стандарти та інші НТД, що регламентують організаційно-методичні й технічні основи проведення випробувань та їх метрологічне забезпечення.

5.2. Забезпечення єдності випробувань

Єдність випробувань – це властивість випробувань, що характеризується їх здатністю підтримувати точність, відтворюваність і (або) достовірність результатів.

Єдність випробувань забезпечується комплексом науково-технічних та організаційних заходів, що ставлять за **мету**:

- усунення неприпустимих розбіжностей у результатах повторних випробувань у постачальника і споживача;

- створення умов для взаємного визначення результатів випробувань у постачальника і споживача в кооперованому виробництві, внутрішньому й міжнародному товарообміні, національній і міжнародній сертифікації продукції;

- створення умов для зменшення кількості повторних випробувань.

Роботи із забезпечення єдності випробувань організуються під методичним керівництвом Держстандарту всіма організаціями й підрозділами, що являють собою організаційну основу СДВП.

Технічною основою забезпечення єдності випробувань є атестоване випробувальне устаткування та перевірені засоби вимірювань.

Нормативно-методичною основою забезпечення єдності випробувань є:

- стандарти СДВП;

- стандарти ДСВ;

- державні й галузеві стандарти, стандарти підприємств на методи випробувань продукції, розділи методів випробувань у стандартах і технічних умовах на продукцію;

- атестовані методи випробувань.

Основні принципи забезпечення єдності випробувань:

- допуски і граничні відхилення на параметри й показники якості продукції, що випробовується, мають визначатися з урахуванням можливості забезпечення потрібних точності та (або) достовірності результатів випробувань, нестабільності цих параметрів і неоднорідності якості продукції;

- стабільність параметрів та однорідність сировини, матеріалів і напівфабрикатів, а також технологія продукції, що підлягає випробуванням, мають забезпечувати потрібну відтворюваність результатів випробувань;

- випробування продукції мають здійснюватися за програмами й атестованими методиками на атестованому випробувальному обладнанні із застосуванням перевірених засобів вимірювань в атестованих підрозділах;

- показники й норми точності засобів випробувань, відтворюваності умов випробувань, способи оброблення даних випробувань, форми подання результатів випробувань, плани контролю при випробуваннях, контрольні нормативні й визначальні правила мають бути уніфікованими й відповідати встановленим вимогам;

- атестована методика випробувань має гарантувати отримання результатів випробувань із заданими характеристиками точності;
- атестоване випробувальне обладнання має забезпечувати відтворюваність необхідних умов випробувань з нормативною точністю;
- методи й засоби метрологічного забезпечення випробувань і контролю якості продукції, включаючи вимірювання параметрів продукції і діючих факторів, випробувальне обладнання й режими вимірювань мають забезпечувати отримання результатів випробувань з потрібною точністю та (або) достовірністю;
- атестація випробувальних організацій і підрозділів має засвідчити, що компетентність персоналу, технічна база і структура підрозділу забезпечують проведення випробувань у повній відповідності до вимог НТД.

5.3. Вимоги до розроблення й атестації методик випробувань

Методика випробувань установлює правила визначення однієї або декількох взаємозв'язаних характеристик властивостей об'єкта випробувань.

Методики випробувань можуть бути типовими або робочими.

Типова методика випробувань розробляється для групи однорідної продукції й має містити загальні вимоги до проведення випробувань.

Типова методика встановлює загальні вимоги до змісту робочих методик випробувань.

Робоча методика випробувань розробляється для випробувань певного виду продукції або окремого виробу, а також для груп продукції, проведення яких залежить лише від загальних властивостей групи продукції.

Робоча методика встановлює конкретні вимоги до засобів, умов, процедури випробувань і всі інші вимоги, що в сукупності забезпечують необхідну єдність випробувань.

Етапами створення методики випробувань є її розроблення й атестація.

Типовий склад методики випробувань наведено раніше в підрозд. 2.1.4.

Методики випробувань розробляють організації-розробники або організації-виробники продукції та (або) випробувальні організації.

Розроблена методика випробувань підписується розробником і затверджується після її атестації та узгодження з замовником (на його вимогу) керівником організації, де її розроблено.

Методика випробувань має бути атестована із застосуванням конкретних засобів випробувань і в конкретних умовах випробувань.

Атестацію методик випробувань проводять за програмою, затвердженою керівником атестаційної організації.

Результати атестації оформлюють у вигляді додатка до методики.

Методики випробувань атестуються повторно:

- при перегляді НТД, що містить її;
- при змінні або модернізації передбачених нею засобів випробувань;
- при змінні умов або процедури випробувань.

5.4. Категорії випробувального обладнання та його атестація

Залежно від області застосування існують такі категорії випробувального обладнання:

- загальнопромислового застосування;
- галузевого застосування;
- спеціального застосування (обладнання, що виготовляється в одиничних екземплярах, та обладнання, призначене для випробувань продукції, що випускається лише на даному підприємстві).

До експлуатації допускається випробувальне обладнання, яке за результатами атестації визнано придатним до застосування.

Випробувальне обладнання підлягає первинній, періодичній і, якщо необхідно, позачерговій атестації.

За призначенням первинна атестація випробувального обладнання відповідає метрологічній атестації, а періодична й позачергова атестація – періодичній і позачерговій перевіркам засобів вимірювань.

Первинна атестація випробувального обладнання здійснюється з метою визначення:

- можливості випробувального обладнання відтворювати й підтримувати режими й умови випробувань у заданих діапазонах, з заданою точністю і стабільністю, протягом установленого терміну;
- дійсних значень нормованих точнісних характеристик та їх відповідності НТД;
- переліку нормативних точнісних характеристик, що підлягають перевірці в процесі атестації;
- похибок вимірювання й реєстрації параметрів випробуваних режимів;
- методів і засобів проведення подальших атестацій та їх періодичності;
- виконання вимог безпеки й охорони навколишнього середовища.

Первинній атестації підлягає нове обладнання:

- дослідні зразки обладнання (проводить підприємство-розробник);
- серійні зразки обладнання (проводить підприємство-виробник);
- обладнання спеціального призначення, а також імпортне обладнання (проводить підприємство, що застосовує обладнання).

Періодична атестація випробувального обладнання проводиться в процесі його експлуатації випробувальними підрозділами з участю метрологічної служби з метою перевірки його відповідності вимогам НТД на обладнання.

Періодичність атестації визначається при первинній атестації з урахуванням стабільності параметрів, що перевіряються, умов та інтенсивності випробувань обладнання.

Позачергова атестація проводиться:

- у випадку введення в експлуатацію випробувального обладнання після транспортування й тривалого зберігання;
- після ремонту, модернізації, капітальної перебудови фундаменту, після переміщення випробувального обладнання, що встановлюється стаціонарно;
- у разі погіршення якості продукції, що випускається;
- за вказівкою представників Держстандарту, що здійснюють перевірку підприємства або випробувального підрозділу.
-

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що є технічною основою СДВП?
2. Охарактеризуйте організаційну основу СДВП.
3. Які компоненти входять до складу організаційно-методичної основи СДВП?
4. Чим забезпечується єдність випробувань?
5. Назвіть основні принципи єдності випробувань.
6. Охарактеризуйте типову й робочу методики випробувань.
7. Як атестують методики випробувань?
8. Назвіть різновиди випробувального обладнання.
9. Назвіть мету первинної атестації випробувального обладнання.
10. Коли здійснюється позачергова атестація випробувального обладнання?

6. ПЛАНУВАННЯ Й ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Метою визначальних випробувань є оцінювання якості об'єкта випробувань, тобто визначення числових значень показників якості виготовлених виробів, партій виробів, технологічних процесів. Якщо x – можливе значення параметра або показника якості виробу, то через об'єктивно існуючий статистичний розкид сукупність виробів подається законом розподілу (інтегральним $F(x)$ або диференціальним $f(x)$). Характеристики або параметри функції розподілу є показниками якості сукупності, які й підлягають оцінюванню під час визначальних випробувань.

У багатьох випадках можна обґрунтовано вказати вид закону розподілу з урахуванням апіорних відомостей, наприклад, унаслідок випробувань аналогічної продукції, аналізу фізичних явищ і т. ін. У цьому випадку визначальні випробування зводяться до параметричних. Планування цих випробувань та оброблення їх даних базуються на методах параметричного точкового й інтервального оцінювання математичної статистики.

6.1. Основні теоретичні передумови

Якщо вибірка даних X_1, X_2, \dots, X_n отримана при випробуваннях n виробів, є однорідною (породженою розподілом $f(x|\vec{\theta})$ з невідомим вектором параметрів $\vec{\theta} = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m\}$, то можна скористатися одним із відомих у теорії статистики методів **точкового оцінювання** (моментів, максимальної правдоподібності, максимуму апостеріорної ймовірності, байєсівським) та отримати точкові оцінки $\hat{\theta}_i$ параметрів θ_i у вигляді статистик

$$\hat{\theta}_i = \varphi_i(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad i = \overline{1, m}, \quad (6.1)$$

які зв'язують дані випробувань X_1, X_2, \dots, X_n і попередню інформацію про закон розподілу $f(x)$.

Оскільки дані випробувань X_1, X_2, \dots, X_n є випадковими реалізаціями, оцінки $\hat{\theta}_i$ являють собою випадкові величини з законами розподілу $f_n(\hat{\theta}_i)$, що залежать від обсягу вибірки перетворення (6.1), яке має приводити до оцінок $\hat{\theta}_i$, що задовольняють вимогам до *міцності*, *здатності*, *ефективності* та *достатності*. Таким же чином визначаються оцінки й інших характеристик, наприклад середніх значень, дисперсій, коефіцієнтів варіації тощо, які можуть використовуватися як показники якості.

Таким чином, отримані під час оброблення даних випробувань X_1, X_2, \dots, X_n точкові оцінки показників якості $\hat{\theta}_i$ принципово є випадковими величинами, і йдеться лише про визначення такого алгоритму (6.1) перетворення даних, який при тому ж самому n забезпечив би найкращі оцінки показників якості $\hat{\theta}_i$.

Точкове оцінювання не забезпечує практичних рекомендацій щодо вибору необхідної кількості випробувань n і не дає відповіді на запитання про точність (близькість до істинного значення) і достовірність (ступінь правильності) отриманих оцінок $\hat{\theta}_i$. Для цього виконується **довірче оцінювання** з використанням спеціальних характеристик.

Інтервал $[\theta_H, \theta_E]$, який з імовірністю γ покриває невідоме значення оцінюваного параметра θ , називають довірчим. При відомому законі $f_n(\hat{\theta})$ величини $\gamma, \theta_H, \theta_E$ зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \int_{\theta_H}^{\theta_E} f_n(\hat{\theta}) d\hat{\theta} = P\{\theta_H \leq \theta \leq \theta_E\}. \quad (6.2)$$

Довірчі інтервали вигляду $[\theta_H, \infty]$, $[-\infty, \theta_E]$ називають **односторонніми**. Їх зіставляють з ймовірностями

$$\gamma_E = \int_{-\infty}^{\theta_E} f_n(\hat{\theta}) d\hat{\theta} \quad \text{і} \quad \gamma_H = \int_{\theta_H}^{\infty} f_n(\hat{\theta}) d\hat{\theta}. \quad (6.3)$$

Очевидним є такий взаємозв'язок:

$$\gamma_H + \gamma_E = \gamma + 1 \quad \text{або} \quad \gamma = \gamma_H + \gamma_E + 1. \quad (6.4)$$

Часто вважають, що

$$\gamma_H = \gamma_E = 0,5(1 + \gamma).$$

Визначимо величини θ_H, θ_E :

$$\theta_H = \hat{\theta} - \delta_H \theta, \quad \theta_E = \hat{\theta} + \delta_E \theta, \quad \delta_E > 0, \quad \delta_H > 0. \quad (6.5)$$

Тоді (6.2) можна записати у вигляді

$$P\{\theta(1 - \delta_E) \leq \hat{\theta} \leq \theta(1 + \delta_H)\} = \gamma. \quad (6.6)$$

Величини $\delta_B = (\theta_B - \hat{\theta})/\theta$, $\delta_H = (\hat{\theta} - \theta_H)/\theta$ являють собою безрозмірні міри точності оцінки показника θ . Зазвичай вважають, що $\delta = \delta_H = \delta_B$ або $\delta = \max(\delta_H, \delta_B)$. Величина $\delta_H + \delta_B$ характеризує відносну довжину довірчого інтервалу.

Таким чином, показники δ і γ характеризують відповідно точність і достовірність оцінювання. Ці величини зв'язані співвідношенням

$$\gamma = \gamma(\delta, n, f_n(\hat{\theta})), \quad (6.7)$$

яке залежить від обсягу вибірки й розподілу точкової оцінки (від статистики $\hat{\theta}(X_1, X_2, \dots, X_n)$) і є еквівалентним співвідношенням (6.2) і (6.6). Цей взаємозв'язок дає змогу за одними величинами визначити інші:

- за заданими δ, γ і відомою $f_n(\hat{\theta}) - n$ і $[\theta_H, \theta_B]$;
- за заданими n, γ і відомою $f_n(\hat{\theta}) - \delta$ і $[\theta_H, \theta_B]$;
- за заданими n, δ і відомою $f_n(\hat{\theta}) - \gamma$.

Отже, задаючись будь-якими двома із величин δ, γ, n , можна отримувати третю. Наприклад, якщо задано обсяг вибірки, то неможливо одночасно задати вимоги і до точності ε (довжини довірчого інтервалу), і до достовірності γ . Підвищення вимог до точності неминуче приводить до зниження достовірності, якщо тільки не підвищувати розмір вибірки.

На практиці при плануванні випробувань (обґрунтування обсягу й алгоритму оброблення даних) для відомого закону розподілу $f(x)$ необхідно, використовуючи стандарти, методики та інші нормативно-методичні документи, підбирати необхідні співвідношення (6.1) і (6.7) у вигляді робочих формул і таблиць.

Продемонструємо методологію використання теоретичних положень, розглянутих вище, на прикладі конкретних законів розподілу.

6.2. Випробування при експоненціально розподіленій ознаці

Експоненціально розподілена ознака має неперервний розподіл вигляду $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ з $M(x) = 1/\lambda = T$ і $D(x) = 1/\lambda^2$.

Нехай існує вибірка даних X_1, X_2, \dots, X_n . Тоді функція правдоподібності вибірки

$$\omega(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i) = \lambda^n e^{-\lambda \sum_{i=1}^n x_i} = \lambda^n e^{-\lambda x_\Sigma}.$$

Замінивши функцію правдоподібності її логарифмом, складаємо рівняння максимальної правдоподібності:

$$\frac{\partial \ln \omega}{\partial \lambda} = \frac{n}{\lambda} - x_{\Sigma} = 0,$$

звідки знаходимо точкові оцінки

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{x_{\Sigma}} \quad \text{та} \quad \hat{T} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{x_{\Sigma}}{n}.$$

Аналіз властивостей оцінок \hat{T} та $\hat{\lambda}$ показує, що оцінка \hat{T} є незміщеною, ефективною й достатньою. Оцінка ж $\hat{\lambda}$ є зміщеною. Усунути цей факт можна переходом до оцінки $\hat{\lambda} = (n - 1)/x_{\Sigma}$.

Для довірчого оцінювання скористаємося тим, що випадкова величина

$$\frac{2n}{T} x_{\Sigma} = \frac{2n\hat{T}}{T},$$

яка являє собою нормовану суму n незалежних експоненціально розподілених величин, розподіляється за законом χ^2 з двома ступенями свободи.

Скориставшись співвідношенням (6.2) і підставивши замість $\hat{\theta}$ величину \hat{T} , отримуємо вираз

$$P = \left\{ 2n(1 - \delta_{\epsilon}) < \frac{2n\hat{T}}{T} < 2n(1 + \delta_{\epsilon}) \right\} = \gamma.$$

Для односторонніх довірчих імовірностей $(1 - \gamma_H)$ і γ_B величини $2n(1 - \delta_B)$ та $2n(1 + \delta_H)$ є відповідними квантилями (абсциса кривої розподілу, при якій частина площі під кривою, що знаходиться лівіше), що дорівнюють заданій імовірності χ^2 -розподілу з $2n$ ступенями свободи:

$$\chi^2_{1-\gamma_H}(2n), \quad \chi^2_{\gamma_B}(2n).$$

З урахуванням цього односторонні довірчі межі для λ та T будуть такими:

$$\lambda_H = \frac{\hat{\lambda} \chi^2_{1-\gamma_H}(2n)}{2n}, \quad \lambda_B = \frac{\hat{\lambda} \chi^2_{\gamma_B}(2n)}{2n},$$

$$T_H = \frac{\hat{T} \cdot 2n}{\chi^2_{\gamma_B}(2n)}, \quad T_B = \frac{\hat{T} \cdot 2n}{\chi^2_{1-\gamma_H}(2n)}.$$

Двосторонній довірчий інтервал для T при $\gamma_H = \gamma_B = \frac{1+\gamma}{2}$ має вигляд

$$\frac{2n\hat{T}}{\chi^2_{\frac{1+\gamma}{2}}(2n)} \leq T \leq \frac{2n\hat{T}}{\chi^2_{\frac{1-\gamma}{2}}(2n)}.$$

Таким чином, при заданих n , γ і точкових оцінках $\hat{\lambda}$, \hat{T} , знайдених за наведеними співвідношеннями, визначаються довірчі оцінки параметрів λ і T .

Покажемо, як визначають необхідний обсяг випробувань за заданими довірчою ймовірністю γ та граничною відносною помилкою δ . Розглянемо верхню односторонню межу T_e . Із співвідношень (6.5) випливає рівняння

$$\delta = \frac{\theta_e - \hat{\theta}}{\theta} = \frac{\frac{2nT}{\chi^2_{1-\gamma}(2n)} - T}{T} = \frac{2n}{\chi^2_{1-\gamma}(2n)} + 1,$$

що являє собою взаємозв'язок $\gamma(\delta, n)$, з якого за заданими двома параметрами визначається третій.

6.3. Випробування за нормально розподіленою ознакою

Нормально розподілена ознака також має безперервний розподіл зі щільністю

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-0,5 \frac{(x - m)^2}{\sigma^2}\right\},$$

де $M(x) = m$ – математичне сподівання, $D(x) = \sigma^2$ – дисперсія ознаки.

Логарифм функції правдоподібності даних невідомих залежних випробувань X_1, X_2, \dots, X_n визначається формулою

$$\ln \omega(X_1, X_2, \dots, X_n) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2.$$

Розглянемо декілька випадків.

1. Оцінка m при відомій величині σ . З рівняння максимальної правдоподібності $\partial \ln \omega / \partial m = 0$ отримуємо

$$\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - m) = 0 \quad \text{або} \quad \hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_{\Sigma}}{n}.$$

Оцінка \hat{m} є незміщеною, спроможною і ефективною, являє собою середнє арифметичне нормальних випадкових величин і має нормальний розподіл із середнім m і дисперсією σ^2/n . Отже, можна побудувати інтервальну оцінку, перейшовши від \hat{m} до її нормованого відхилення $\varepsilon = \sqrt{n}(\hat{m} - m)/\sigma$, яке підпорядковується стандартному нормальному розподілу $N(0, 1)$. З огляду на симетрію нормального розподілу можна записати співвідношення

$$P \left\{ \left| \frac{\hat{m} - m}{\sigma} \sqrt{n} \right| < \varepsilon_{\gamma} \right\} = \gamma,$$

де ε_{γ} – квантиль нормованого нормального розподілу порядку γ .

Для інтегральної функції нормального розподілу (інтеграла Лапласа) запишемо

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

Довірче співвідношення можна переписати як

$$P \left\{ |\hat{m} - m| < \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}} \right\} = \Phi(\varepsilon_{\gamma})$$

або

$$P \left\{ \hat{m} - \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}} < m < \hat{m} + \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}} \right\} = \Phi(\varepsilon_{\gamma})$$

Ширину довірчого інтервалу визначаємо із формули

$$\hat{m} + \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}} - \hat{m} + \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}} = 2 \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}}.$$

За заданою абсолютною похибкою $\delta = \frac{\varepsilon_{\gamma} \sigma}{\sqrt{n}}$, яка являє собою в цьому випадку взаємозв'язок $\gamma(\delta, n)$, знайденим із довідкових таблиць значенням ε_{γ} квантиля розподілу порядку γ і відомою дисперсією σ^2 можна визначити необхідний обсяг випробувань:

$$n = \frac{\varepsilon^2 \gamma \sigma^2}{\delta^2}.$$

2. Оцінка σ^2 при відомій величині m . Із рівняння максимальної правдоподібності отримуємо точкову оцінку

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2.$$

Виберемо як нижню та верхню довірчі межі величини $\varepsilon_{H\hat{\sigma}^2}$, $\varepsilon_{B\hat{\sigma}^2}$, тоді при довірчій ймовірності γ будемо мати

$$P\{\varepsilon_{H\hat{\sigma}^2} \leq \sigma^2 \leq \varepsilon_{B\hat{\sigma}^2}\} = P\left\{\frac{n}{\varepsilon_B} \leq \frac{n\hat{\sigma}^2}{\sigma^2} \leq \frac{n}{\varepsilon_H}\right\} = \gamma.$$

Оскільки випадкова величина $n\hat{\sigma}^2/\sigma^2$ підпорядковується χ^2 -розподілу з n ступенями свободи, то

$$\frac{n\hat{\sigma}^2}{\chi^2_{\frac{1-\gamma}{2}}(n)} \leq \sigma^2 \leq \frac{n\hat{\sigma}^2}{\chi^2_{\frac{1+\gamma}{2}}(n)},$$

де χ^2_q – q -квантілі χ^2 -розподілу з n ступенями свободи.

Відносна помилка в цьому випадку визначається рівнянням

$$2\delta = n \left(\frac{1}{\chi^2_{\frac{1+\gamma}{2}}(n)} - \frac{1}{\chi^2_{\frac{1-\gamma}{2}}(n)} \right),$$

що являє собою співвідношення $\gamma(\delta, n)$, необхідне для n випробувань.

3. Спільна оцінка m і σ . Точкові оцінки цих параметрів із рівняння максимальної правдоподібності будуть такими:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2, \quad \hat{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Для усунення зміщення оцінки $\hat{\sigma}^2$ її слід визначати як

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2.$$

Величина $t = (\hat{m} - m)\sqrt{n}/\hat{\sigma}$ є розподіленою за законом Стюдента з $(n-1)$ ступенями свободи. Задавши довірчу ймовірність, за таблицями можна визначити квантиль $t_\gamma(n-1)$, такий, що

$$P\left\{\frac{|\hat{m} - m|\sqrt{n}}{\hat{\sigma}} < t_\gamma\right\} = \gamma,$$

або

$$P\left\{\hat{m} - \frac{t_\gamma \hat{\sigma}}{\sqrt{n}} < m < \hat{m} + \frac{t_\gamma \hat{\sigma}}{\sqrt{n}}\right\} = \gamma.$$

Це співвідношення визначає довірчий інтервал для параметра m та абсолютну похибку його оцінювання.

Знайдемо довірчий інтервал для дисперсії, використовуючи статистику $\frac{\hat{\sigma}^2(n-1)}{\sigma^2} = \chi^2(n-1)$, яка підпорядковується χ^2 -розподілу з $(n-1)$ ступенями свободи.

Довірчий інтервал, як і в попередньому випадку, визначається формулою

$$\frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\chi^2_{\frac{1-\gamma}{2}}(n-1)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)\hat{\sigma}^2}{\chi^2_{\frac{1+\gamma}{2}}(n)},$$

а відносна похибка

$$2\delta = (n-1)\left(\frac{1}{\chi^2_{\frac{1+\gamma}{2}}(n-1)} - \frac{1}{\chi^2_{\frac{1-\gamma}{2}}(n-1)}\right).$$

Слід зазначити, що при заданих n і γ довірчий інтервал для m буде більшим, ніж в першому випадку. Це є вимушеною платою за незнання величини дисперсії.

Завдання визначення довірчих інтервалів для m і σ при довільній кількості дослідів вирішено лише для випадку нормально розподіленої ознаки. Для інших неперервних розподілів розроблено лише деякі часткові інтервальні оцінки.

6.4 Випробування при якісній ознаці

Розглянемо біноміально розподілену якісну ознаку випробуваної продукції з дискретним розподілом

$$P(m) = C_n^m Q^m (1 - Q)^{n-m},$$

де $P(m)$ – імовірність появи m додатних або від'ємних результатів у серії незалежних випробувань n одиниць виробів; Q – апіорна ймовірність появи результату;

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Якщо при проведенні випробувань спостерігалось m^* реалізацій потрібного результату, то функція правдоподібності

$$\omega(m^*) = P(m^*) = C_n^{m^*} Q^{m^*} (1 - Q)^{n-m^*}.$$

Після розв'язання рівняння правдоподібності $\partial\omega(m^*)/\partial Q = 0$ приходимо до точкової оцінки параметра розподілу:

$$\hat{Q} = \frac{m^*}{n}.$$

Дисперсія оцінки \hat{Q} , що характеризує її точність, визначається формулою

$$D(\hat{Q}) = \frac{m^*(n-m^*)}{n^2(n-1)}.$$

Імовірність того, що дискретна випадкова величина m є меншою від цілого невід'ємного числа a , визначається так:

$$P(m \leq a) = \sum_{i=0}^a P(i) = \sum_{i=0}^a C_n^i Q^i (1 - Q)^{n-i}.$$

З урахуванням цього можна знайти довірчі значення Q_H і Q_B .

Імовірність γ_B отримати не більше m^* результатів визначається таким чином:

$$\sum_{i=1}^{m^*} P(i) = P(m \leq m^*) = \gamma_B,$$

звідки знаходимо величину Q_H :

$$\sum_{i=0}^{m^*} C_n^i Q_H^i (1 - Q_H)^{n-i} = \gamma_B.$$

Імовірність γ_H отримати не менше m^* результатів визначається так:

$$\sum_{i=m^*+1}^n P(i) = 1 - \sum_{i=0}^{m^*} P(i) = \gamma_H,$$

звідки знаходимо величину Q_B :

$$\sum_{i=m^*+1}^n C_n^i Q_B^i (1 - Q_B)^{n-i} = \gamma_H.$$

Щоб розрахувати величини Q_H і Q_B за зафіксованим значенням m^* , використовують таблиці, побудовані відповідно до наведених співвідношень для різних значень m^* , $n - m^*$ або Q і n , при односторонній довірчій імовірності γ з ряду значень: 0,8; 0,9; 0,95; 0,975; 0,99; 0,995; 0,9975; 0,999.

За довірчими межами Q_H , Q_B , знайденими при односторонніх довірчих імовірностях γ_H і γ_B відповідно, будують один з таких довірчих інтервалів:

- $[0, Q_B]$ – з довірчою ймовірністю γ_B ;
- $[Q_H, 1]$ – з довірчою ймовірністю γ_H ;
- $[Q_H, Q_B]$ – з довірчою ймовірністю $\gamma^* = \gamma_H + \gamma_B - 1$.

Необхідно зазначити, що в таблицях можуть наводитися значення $1 - Q_H = P_B$, $1 - Q_B = P_H$. Ці ж таблиці дають змогу визначати необхідний обсяг випробувань за очікуваними значеннями довірчого інтервалу $[Q_H, Q_B]$, точковою оцінкою \hat{Q} і заданою довірчою ймовірністю γ .

Розглянемо важливий окремий випадок бездефектних випробувань, коли $m^* = 0$.

Очевидно, що $\hat{Q} = \hat{Q}_H = 0$ або $\hat{P} = \hat{P}_B = 1$.

Зі співвідношення $\gamma_H(m^*, Q_B, n)$ маємо

$$\gamma_H = 1 - (1 - Q_B)^n \quad \text{або} \quad \gamma_H = 1 - P_H^n,$$

звідки знаходимо

$$Q_B = 1 - (1 - \gamma_H)^{\frac{1}{n}} \quad \text{або} \quad P_H = (1 - \gamma_H)^{\frac{1}{n}}.$$

Останнє співвідношення дає змогу обґрунтувати кількість n бездефектних випробувань, що здійснюються один за одним і є необхідними для підтвердження односторонньої довірчої межі Q_B або P_H з коефіцієнтом довіри γ_H :

$$n = \frac{\log(1 - \gamma_H)}{\log(1 - Q_B)} = \log(1 - \gamma_H) / \log P_H.$$

6.5. Методологія планування й оброблення даних параметричних визначальних випробувань

Планування випробувань

1. Визначення ознаки випробовуваних об'єктів (якісна чи кількісна) і показників якості, що підлягають оцінюванню.

2. Обґрунтування шляхом аналізу інформації про результати випробувань аналогічних виробів або фізичних закономірностей виду розподілу $f(x|\vec{\theta})$ ознаки.

3. Узгодження або обґрунтування початкових даних γ і δ .

4. Визначення за γ і δ необхідної кількості випробувань n і узгодження її з можливостями реального виділення виробів для випробувань. Перевизначення (якщо необхідно) початкових даних γ і δ та перерахунок n .

Якщо з якихось умов величина n є визначеною заздалегідь, то розраховуються величини γ , δ .

5. Визначення на основі стандартів, НТД, довідників та іншої літератури алгоритмів отримання точкових оцінок показників якості у вигляді

$$\hat{R} = R(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

або

$$\hat{R} = R(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_n), \quad \text{де} \quad \hat{\theta}_i = \theta_i(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

6. Визначення алгоритмів отримання довірчих меж показників якості у вигляді

$$R_H(\hat{R}, \gamma, \delta, n), \quad R_E(\hat{R}, \gamma, \delta, n)$$

або

$$R_H(\theta_{iH}, \theta_{iE}), \quad R_E(\theta_{iH}, \theta_{iE}),$$

де θ_{iH}, θ_{iE} – величини, що визначаються за алгоритмами $\theta_{iH}(\hat{\theta}_i, \gamma, \delta, n)$, $\theta_{iE}(\hat{\theta}_i, \gamma, \delta, n)$.

7. Розроблення методики й програми випробувань, які затверджуються в установленому порядку.

Проведення випробувань

Випробування проводяться за затвердженою програмою із забезпеченням незалежності отриманих реалізацій ознаки X_i , унаслідок чого формується вибірка даних випробувань X_1, X_2, \dots, X_n , що фіксується в протоколі даних випробувань.

Оброблення даних випробувань

Попереднє оброблення може складатися з таких етапів:

1) відбраковка значень x_i (викидів), що різко виділяються на основі статистичних критеріїв Діксона або Ірвіна, Смирнова;

2) перевірка однорідності вибірових даних на основі критеріїв рівності дисперсій, середніх, належності незалежних вибірок до єдиної генеральної сукупності.

Під час остаточного оброблення визначаються:

1) за вибраними алгоритмами – точкові оцінки показників якості:

$$\hat{R} = R(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad \hat{R} = R(\hat{\theta}_i), \quad \hat{\theta}_i = \hat{\theta}_i(X_1, X_2, \dots, X_n);$$

2) за знайденими точковими оцінками \hat{R} і вибраними алгоритмами – довірчі межі R_H, R_E .

Результати попереднього й остаточного оброблення заносять до протоколу випробувань.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому точкові оцінки параметрів розподілів ознак випробуваної продукції є випадковими величинами?
2. Чим характеризується точність і достовірність оцінювання параметрів?
3. Назвіть основні завдання планування й оброблення даних параметричних визначальних випробувань.
4. Чим відрізняються розподіли якісної та кількісної ознак?
5. Запишіть функцію правдоподібності для якісної та кількісної ознак.
6. Поясніть принцип формування довірчих меж для параметра експоненціально розподіленої ознаки.
7. Охарактеризуйте суть варіантів визначальних випробувань об'єктів з нормально- розподіленою ознакою.
8. Чому дорівнює нижня довірча ознака для ймовірності від'ємного результату при бездефектних випробуваннях та чи існує верхня довірча оцінка?
9. Перелічіть основні етапи методики планування, проведення й оброблення даних параметричних визначальних випробувань.
10. Назвіть вихідні дані для планування визначальних параметричних випробувань.

7. ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ РЕЗ ТА ОБРОБЛЕННЯ ЇХ ДАНИХ

Контрольні випробування зводяться, по суті, до контролю якості та проводяться, коли встановлено вимоги до показників якості продукції, з метою їх підтвердження. Зазвичай усі випробування, що проводяться на етапі виробництва РЕЗ, є контрольними. Основою планування таких випробувань та оброблення їх даних є теорія статистичних рішень.

7.1. Основні теоретичні положення

Контрольні випробування проводяться при відомому законі розподілу ознаки продукції $f(x|\theta_1, \dots, \theta_m)$. Параметри розподілу $\theta_1, \dots, \theta_m$, що визначають вигляд кривої розподілу, відповідають придатній або непридатній продукції. Надалі будемо розглядати лише один з параметрів – θ_i , що визначає якість продукції. Показником якості може бути або цей параметр θ , або ж інший показник R , що є функцією $R(\theta)$ цього невідомого параметра.

Планування контрольних випробувань передбачає, що одо показника якості θ (або $R(\theta)$) мають бути поставлені певні вимоги, які зводяться до встановлення приймального θ_0 або бракувального θ_1 значення.

Під час проведення випробувань формується вибірка X_1, X_2, \dots, X_n незалежних даних, за якою можна визначити функцію правдоподібності

$$\omega(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n f(X_i / \theta).$$

Що стосується значень показника θ , можна сформулювати два твердження (дві гіпотези) про належність θ підмножині допустимих значень А або підмножині недопустимих значень В:

$$\begin{aligned} H_0: \theta \in A, \\ H_1: \theta \in B. \end{aligned}$$

Гіпотеза H_0 визначається як основна, H_1 – як альтернативна. Прийняття однієї з них означає відхилення іншої. За результатами контрольних випробувань приймається тільки одне з двох рішень: віднести об'єкти до категорії "придатних" (гіпотеза H_0) або "бракованих" (гіпотеза H_1).

Якщо $H_0: \theta = \theta_0$, $H_1: \theta = \theta_1$, то це – випадок простої гіпотези при простій альтернативі. У практиці випробувань можуть мати місце й випадки складних гіпотез:

$$H_0: \theta = \theta_0, H_1: \theta < \theta_0; H_0: \theta = \theta_0, H_1: \theta > \theta_0; H_0: \theta = \theta_0, H_1: \theta \neq \theta_0; \\ H_0: \theta > \theta_0, H_0: \theta > \theta_0; H_0: \theta < \theta_0, H_0: \theta < \theta_0.$$

Оскільки гіпотези H_0, H_1 є альтернативними, достатньо розглядати лише одне рішення – або прийняття, або відхилення контрольованої сукупності об'єктів, тобто рішення γ_0 або γ_1 .

Рішення γ_0 або γ_1 мають прийматися за результатами оброблення вибірових спостережень X_1, X_2, \dots, X_n . Це є еквівалентним тому, що весь можливий простір вибірових значень W поділяється на два неперетинних підпростори W_0 і W_1 . Тоді рішення приймаються за схемою

$$\begin{cases} \vec{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \in W_0 \rightarrow \gamma_0, \\ \vec{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} \in W_1 \rightarrow \gamma_1. \end{cases} \quad (7.1)$$

Рівняння поверхні $D(X_1, \dots, X_n)$, що розділяє підпростори W_0 і W_1 , і є аналітичним виразом вирішального правила при контролі якості.

Через випадковий характер вибірки \vec{X} можуть бути помилкові рішення, коли при приймальному рівні якості θ_0 виноситься рішення γ_1 і, навпаки, при θ_1 виноситься рішення γ_0 . Такі ситуації називають **помилками першого і другого роду** відповідно. Помилки характеризуються ймовірностями

$$\alpha = P\left(\frac{\gamma_1}{\theta_0}\right) \quad \text{і} \quad \beta = P\left(\frac{\gamma_0}{\theta_1}\right),$$

які називають **ризиками постачальника й замовника** відповідно.

Очевидно, що при відомих W_0 і W_1 імовірності α і β можна обчислити таким чином:

$$\alpha = \int_{W_0} \omega(X_1, \dots, X_n / \theta_0) dX_1 \dots dX_n = \int_{W_1} \omega(\vec{X} / \theta_0) d\vec{X}, \quad (7.2)$$

$$\beta = \int_{W_0} \omega(\vec{X} | \theta_1) d\vec{X} = 1 - \int_{W_1} \omega(\vec{X} / \theta_1) d\vec{X}.$$

У теорії статистичного контролю ймовірність прийняття рішення γ_0 як функцію параметра θ називають **оперативною характеристикою** $L(\theta)$, зв'язаною з α і β співвідношеннями

$$\alpha = 1 - L(\theta_0) \quad \text{і} \quad \beta = L(\theta_1). \quad (7.3)$$

Для заданої кількості вибірки n неможливо вибрати правило прийняття рішення зі скільки завгодно малими α і β , оскільки для зменшення α необхідно зменшити критичну область W_1 , що неминуче приведе до збільшення β . Суперечності між постачальником і споживачем при визначенні α і β вирішуються з урахуванням конкретних завдань контрольних випробувань.

Значення α і β визначають достовірність контрольних випробувань.

Початковими даними для планування контрольних випробувань є вимоги до якості у вигляді θ_0, θ_1 (або $R_{\text{ПР}}(\theta_0), R_{\text{БР}}(\theta_1)$ – приймального й бракувального значень показника якості) і достовірності контролю у вигляді α і β .

Залежно від умов організації й проведення контрольних випробувань використовуються різні методи отримання вибірових даних X_1, X_2, \dots, X_n . Якщо рішення про якість приймають за однією вибіркою, то це – **одноступеневий** контроль. Якщо для прийняття рішення використовують дві вибірки, то це – **двоступеневий** контроль, який при тих же $\alpha, \beta, \theta_0, \theta_1$ потребує в середньому меншого обсягу вибірки, ніж одноступеневий контроль.

Нарешті, рішення про якість може прийматися при послідовному вимірюванні ознаки продукції X . Це – **послідовний** контроль. Планування контрольних випробувань у кожному з методів може ґрунтуватися на різних критеріях, якими можуть бути: сумарні економічні, трудові або часові витрати на випробування; середні витрати, пов'язані з помилковими рішеннями при контролі; достовірності прийнятих рішень у вигляді α і β ; імовірність забракування продукції, виготовленої в умовах розладнання виробництва та ін.

Контрольні випробування можуть проводитися при якісній і кількісній ознаках x . Якісна ознака пов'язана з контролем кожного випробуваного виробу за принципом "придатний – непридатний" (порівняння ознаки x з допуском D) або фіксації успішного або неуспішного результату. Параметром якості при цьому є частка неуспішних результатів випробувань P , яка визначає розподіл числа m від'ємних результатів $P(m)$.

Істинний розподіл $f(x)$ при цьому може бути й невідомим. При кількісній ознаці x має бути відомим закон її розподілу $f(x|\theta)$ параметричного вигляду. Контрольні випробування за кількісною ознакою при тих же α і β потребують меншої кількості n , тобто є більш

інформативними. Але за це необхідно «платити» апріорною інформацією у вигляді розподілу $f(x|\theta)$.

У практиці випробувань РЕЗ в основному застосовуються одноступеневий метод контролю й метод послідовних випробувань.

Крім того, при монотонних залежностях $P(\theta)$ вирішальні правила, сформульовані для простих гіпотез, можна застосовувати для перевірки складних гіпотез.

7.2. Критерії прийняття рішень

Байєсівський критерій. Припустимо, що відомими є $f(x|\theta)$, θ_0 , θ_1 та апріорні ймовірності постановки на випробування якісної ($\theta = \theta_0$) і бракованої ($\theta = \theta_1$) продукції p і $q=1-p$ відповідно.

Помилкові рішення при контрольних випробуваннях можуть спричинити втрати C_α і C_β , пов'язані з відповідними ризиками.

Байєсівський критерій, пов'язаний з мінімізацією середніх втрат від помилкових рішень, визначається формулою

$$\bar{C} = C_\alpha p \alpha + C_\beta (1 - p) \beta. \quad (7.4)$$

Підставляючи вирази для α і β із (7.2) у (7.4) і зводячи інтеграли до одного, будемо мати

$$\bar{C} = \int_{W_1} [p C_\alpha \omega(\vec{X}|\theta_0) - q C_\beta \omega(\vec{X}|\theta_0)] d\vec{X} + q C_\beta.$$

Мінімум \bar{C} забезпечується при від'ємності підінтегральної функції, що є еквівалентним співвідношенню

$$\frac{\omega(\vec{X}|\theta_1)}{\omega(\vec{X}|\theta_0)} = l(\vec{X}) > \frac{p C_\alpha}{q C_\beta} = \mu C_0 = K, \quad (7.5)$$

де $\mu = \frac{p}{q}$, $C_0 = \frac{C_\alpha}{C_\beta}$, а $l(\vec{X})$ – відношення правдоподібності гіпотез.

Рівняння $l(\vec{X}) = K$ визначає поверхню $D(\vec{X})$, що розділяє підпростори W_0 і W_1 .

Таким чином, рішення γ_0 , γ_1 можуть прийматися двома шляхами:

– віднесенням вибірки \vec{X} до одного з підпросторів W_0 і W_1 :

$$\vec{X} \in W_0 \rightarrow \gamma_0, \quad \vec{X} \in W_1 \rightarrow \gamma_1; \quad (7.6)$$

– за відношенням правдоподібності $l(\vec{X})$:

$$l(\vec{X}) > K \rightarrow \gamma_1, \quad l(\vec{X}) < K \rightarrow \gamma_0. \quad (7.7)$$

Оскільки значення $l(\vec{X})$, що залежить від випадкової вибірки, є випадковим, то з (7.7) з урахуванням (7.2) впливають й інші співвідношення для α і β :

$$\alpha = \int_K^{\infty} f(l/\theta_0) dl, \quad \beta = \int_{-\infty}^K f(l/\theta_1) dl, \quad (7.8)$$

де $f(l/\theta_0)$, $f(l/\theta_1)$ – закони розподілу відношення правдоподібності l при двох значеннях параметрів якості θ_0 і θ_1 .

Оскільки $f(l/\theta)$ залежить від кількості вибірки n , співвідношення (7.8) дають змогу обґрунтовано вибрати n за значеннями α і β .

Критерій максимуму апостеріорної ймовірності. Припустимо, що втрати C_α і C_β є невідомими. У цьому випадку рішення приймається за більшою з двох апостеріорних ймовірностей $p(\theta_0/\vec{X})$, $p(\theta_1/\vec{X})$, які розраховуються за формулою Байєса:

$$p(\theta_0/\vec{X}) = \frac{p(\vec{X}/\theta_0)}{p(\vec{X}/\theta_0) + q(\vec{X}/\theta_0)}, \quad p(\theta_1/\vec{X}) = \frac{p(\vec{X}/\theta_1)}{p(\vec{X}/\theta_1) + q(\vec{X}/\theta_1)}$$

тобто

$$\max(p(\theta_i/\vec{X})) = \gamma_i, \quad i = 0, 1, \quad (7.9)$$

що є еквівалентним вирішальному правилу

$$q\omega(\vec{X}/\theta_1) - p\omega(\vec{X}/\theta_0) > 0: \text{ так} \rightarrow \gamma_1, \text{ ні} \rightarrow \gamma_0. \quad (7.10)$$

Це, своєю чергою, є еквівалентним (7.5) за $K = \mu$, тобто за $C_0 = 1$.

Цей критерій мінімізує загальну ймовірність прийняття помилкових рішень

$$P_{\text{пом}} = p\alpha + q\beta. \quad (7.11)$$

Критерій максимуму правдоподібності використовується при невідомомих C_α , C_β , p і q зводиться до алгоритму

$$l(\vec{X}) > 1: \text{ так} \rightarrow \gamma_1, \text{ ні} \rightarrow \gamma_0. \quad (7.12)$$

Цей критерій забезпечує вибір того рішення, імовірність якого за результатами вибірки даних є найбільшою.

Для двох останніх критеріїв справджуються співвідношення (7.8) при підстановці в K відповідно $C_0 = 1$ або $C_0 = 1, \mu = 1$.

Критерій Неймана – Пірсона. Якщо умови є такими, що $\mu = 1$, $C_0 = 1$, то для побудови плану контрольних випробувань використовується критерій Неймана – Пірсона. Відповідно до цього критерію алгоритм прийняття рішення має вигляд

$$l(\vec{X}) > C: \text{ так} \rightarrow \gamma_1, \text{ ні} \rightarrow \gamma_0, \quad (7.13)$$

де C – постійний поріг, який можна визначити з рівняння

$$P(l(\vec{X}/\theta_0) \leq C) = \int_C^\infty f(l/\theta_0) dl = \int_{W_1}^\infty \omega(\vec{X}/\theta_0) dx \leq \alpha.$$

Критерій Неймана – Пірсона забезпечує мінімальне значення ризику споживача β при умові, що ризик постачальника не перевищує заданого значення α . Цей критерій добре відображає інтереси споживача.

7.3. Одноступеневий і послідовний методи контрольних випробувань РЕЗ

Як уже зазначалося раніше, залежно від умов формування вибірових значень контрольні випробування можуть бути одно-, дво- і багатоступеневими або послідовними.

Усі ці методи передбачають різні схеми відбору виробів для випробувань. При одноступеневому методі приймають рішення про контрольований об'єкт випробувань на основі тільки однієї вибірки з фіксованою кількістю.

При дво-, багатоступеневому й послідовному методах необхідна кількість випробувань для прийняття рішень про якість об'єкта випробувань є випадковою величиною. Випадковість кількості вибірки n у плановому виробництві обумовлює необхідність мати додаткові потужності та деякий обсяг незавершеного виробництва.

При одноступеневому контролі план залишається незмінним і не залежить від результатів контрольних випробувань виробів у вибірці. Постійне значення кількості вибірки n дає змогу заздалегідь спланувати процес виробництва і випробувань. Крім того, одноступеневий метод випробувань дає змогу скоротити час на випробування, оскільки в принципі допускається паралельне в часі випробування всіх n виробів.

Одноступеневі контрольні випробування проводяться за певним планом, у якому передбачаються вид контролю (за якісною чи кількісною ознакою), необхідна кількість вибірки, контрольні нормативи й вирішальні правила.

Завдання розрахунку планів контрольних випробувань за одноступеневим методом полягає в тому, щоб при заданих значеннях контрольних нормативів θ_0, θ_1 і достовірності контролю α, β визначити потрібну кількість вибірки n та вирішальні правила прийняття рішень.

З аналізу критеріїв прийняття рішень випливає, що статистика відношення правдоподібності $l(\vec{X})$ є універсальною для всіх критеріїв, тому загальна структура правила прийняття рішень має вигляд

$$l(\vec{X}) > K: \text{ так} \rightarrow \gamma_1, \text{ ні} \rightarrow \gamma_0, \quad (7.13)$$

де K – різні значення для конкретних критеріїв.

Нерівність (7.13) можна перетворити, зокрема, шляхом застосування взаємооднозначного монотонного перетворення типу \ln . У будь-якому випадку залишається залежність вирішального правила від величини n .

На основі (7.2) можна стверджувати, що ймовірності α, β є функціями кількості випробувань n і порогу прийняття рішення K :

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha(n, k), \\ \beta &= \beta(n, k). \end{aligned} \quad (7.14)$$

За співвідношеннями (7.13), (7.14) можна побудувати п'ять різновидів одноступеневих планів контролю:

- 1) план, що забезпечує задане значення ризику постачальника α ;
- 2) план, що забезпечує задане значення ризику споживача β ;
- 3) план, що гарантує задані значення ризиків α і β ;
- 4) план при постійному приймальному значенні K ;
- 5) план при постійній кількості вибірки n .

У першому випадку зі співвідношень (7.13), (7.14) за заданим α визначається необхідна величина n , за якою далі обчислюють K і β .

Аналогічно ведеться розрахунок параметрів і другого плану.

Для третього плану необхідна кількість n визначається шляхом спільного розв'язання рівнянь (7.14), після чого обчислюється величина K .

Для четвертого плану з допомогою рівнянь (7.14) розраховується необхідна кількість n при заданому K .

У багатьох випадках у технічних умовах кількість випробувань указують виходячи з накопиченого досвіду або за сформованою практикою, і розрахунок оптимального плану тоді полягає у визначенні величин K та α, β .

Для контрольних випробувань виробів вищої якості вимоги полягають у неприпустимості дефектних виробів у вибірці. Випробувальний об'єкт приймається лише тоді, коли у вибірці не зафіксовано жодного дефектного виробу. Таке завдання розглядається при контрольних випробуваннях за якісною ознакою.

Послідовні контрольні випробування. Теорія статистичного контролю доводить, що плани багатоступеневого й послідовного контролю в загальному випадку є більш економічними порівняно з одно- і двоступеневим контролем. При цьому найбільш економічним у середньому буде послідовний план, який і використовується при випробуваннях РЕЗ.

При послідовному методі випробувань розмір вибірки заздалегідь не обумовлюється, а обмежують цю величину в процесі спостережень, виконуючи послідовні випробування одиничних або невеликих груп виробів.

Процедура прийняття рішень при цьому стає багатокроковою. На кожному кроці приймається одне з трьох рішень:

- 1) γ_0 : прийняти гіпотезу H_0 ;
- 2) γ_1 : відкинути гіпотезу H_0 ;
- 3) $\gamma_{пр}$: продовжувати випробування.

Процедура прийняття рішень базується на порівнянні статистики відношення правдоподібності $l(\vec{X})$ з порогами C_0, C_1 у такому алгоритмі:

$$\begin{aligned} C_0 < l(X_1, X_2, \dots, X_{n-1}) < C &\rightarrow \gamma_{пр}, \\ l(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq C_0 &\rightarrow \gamma_0, \\ l(X_1, X_2, \dots, X_n) \geq C_1 &\rightarrow \gamma_1, \end{aligned} \quad (7.15)$$

де, як показав А. Вальд, пороги C_0, C_1 повинні задовольняти співвідношенням

$$\begin{aligned} C_1 &\leq \max \left\{ \frac{\beta}{1-\alpha}, \frac{1-\beta}{\alpha} \right\}, \\ C_0 &\geq \min \left\{ \frac{\beta}{1-\alpha}, \frac{1-\beta}{\alpha} \right\}, \end{aligned} \quad (7.16)$$

які при $\alpha, \beta < 0,5$ перетворюються на рівності

$$C_1 = \frac{1 - \beta}{\alpha}, \quad C_0 = \frac{\beta}{1 - \alpha}. \quad (7.17)$$

Правило вибору рішення при послідовному аналізі є еквівалентними розподілу на кожному кроці випробувань простору вибірок відповідної кількості вимірювань на три неперетинні області $W_0, W_1, W_{\text{ПР}}$. При потраплянні до однієї з них вибіркового вектора \vec{X} і приймається відповідне рішення.

Для всіх правил прийняття рішення, для яких ризики α і β не повинні перевершувати заданих, вальдове правило забезпечує найменші середні кількості випробувань до прийняття остаточних рішень γ_0 або γ .

З метою скорочення продовження випробувань послідовні плани обмежують кількістю випробувань n , розрахованою за методом одноступеневого контролю. Такий комбінований метод, що поєднує в собі економічність послідовних випробувань і можливість планування обсягів випробувань з одноступеневим методом, називають методом усічених послідовних випробувань. Суть його полягає в такому:

1. Знаходять максимальний розмір вибірки за методом одноступеневого контролю n_0 .

2. Визначають параметри плану послідовних випробувань C_0, C_1 за (7.17) і проводять послідовні випробування з прийняттям відповідних рішень.

3. Якщо контроль послідовним методом не закінчився при $n = n_0$, то проводять оцінювання результатів за методом одноступеневого контролю.

Саме цей метод поряд з методом одноступеневого контролю рекомендується стандартами до використання під час випробувань апаратури. Його раціонально застосовувати, якщо немає жорстких вимог на час проведення випробувань.

7.4. Контрольні випробування з використанням довірчого оцінювання

Контроль якості продукції при випробуваннях можна здійснювати і на основі використання довірчих оцінок необхідного показника якості R . Така ситуація виникає, якщо за організаційно-технічними міркуваннями неможливо забезпечити необхідний планами випробувань об'єм. У той же час можна використовувати результати визначальних випробувань, поєднуючи їх з даними підконтрольної експлуатації.

Задаються двома рівнями контрольованого показника $R_{\text{ПР}}, R_{\text{БР}}$.

Передбачається, що є відомим спосіб визначення верхньої і нижньої довірчих меж $R_H(\hat{R}, n, \gamma_H)$ і $R_B(\hat{R}, n, \gamma_B)$ для контрольованого показника з односторонніми довірчими ймовірностями γ_H, γ_B і точковою статистикою \hat{R} .

Після закінчення спостережень визначають довірчий інтервал $[R_H, R_B]$, при цьому значення γ_H, γ_B підбирають так, щоб виконувалась одна з умов:

$$R_H(\gamma_H) = R_{БР}, \quad R_B(\gamma_B) > R_{ПР}; \quad (7.18)$$

$$R_H(\gamma_H) < R_{БР}, \quad R_B(\gamma_B) = R_{ПР}. \quad (7.19)$$

Змінюючи γ_H, γ_B , слід дотримуватися заздалегідь вибраного співвідношення між ними (рекомендується $\gamma_H = \gamma_B$).

Якщо виконується умова (7.18), то приймається рішення γ_0 з ризиком споживача $\beta = 1 - \gamma_B$.

Якщо виконується умова (7.17), то приймається рішення γ_1 з ризиком постачальника $\alpha = 1 - \gamma_H$.

7.5. Методологія планування контрольних випробувань

Планування контрольних випробувань у загальному випадку складається з двох етапів:

1. *Планування в широкому сенсі:*

а) визначення виду ознаки контролю продукції – якісної або кількісної з обґрунтуванням закону розподілу ознаки;

б) обґрунтування методу контролю (одноступеневий, послідовний, на основі довірчих меж, виходячи з обмежень за часом і обсягом випробувань та можливостей випробувальної бази);

в) вибір початкових даних для планування у вузькому сенсі у вигляді значень ризиків постачальника та замовника α і β , установлених норм приймання й бракування $\theta_0, \theta_1, R_{ПР}, R_{БР}$, імовірностей пред'явлення на випробування придатної і непридатної продукції p, q , втрат, пов'язаних з помилками першого й другого роду C_α і C_β .

2. *Планування у вузькому сенсі:*

а) визначення необхідної кількості випробувань n для одноступеневого методу, характеристики правила прийняття рішення K і структури самого алгоритму (залежно від прийнятого закону розподілу ознаки);

б) розроблення плану послідовних випробувань на основі заданих ризиків α і β і розрахунків для одноступеневого контролю.

Для планування в широкому сенсі часто необхідно багаторазово здійснювати планування у вузькому сенсі, так що планування контрольних випробувань в загальному випадку є ітеративним процесом.

Ризики α і β мають стандартизовані значення: 0,05; 0,1; 0,15; 0,2, і їх вибирають з цього ряду, виходячи із забезпечення мінімальних втрат від неправильних рішень (7.4) або мінімальної помилки (7.11).

Нетривіальним є вибір величин θ_0, θ_1 або $R_{ГР}, R_{БР}$. Пропонується значення показника якості R_3 , задане в технічних вимогах на об'єкт, поєднувати з $R_{БР}$ або $R_{ГР}$ і $R_{БР}$ визначати так, щоб значення R_3 було між ними. Загалом від вибору $R_{БР}, R_{ГР}$ або θ_0, θ_1 залежать величини $\bar{C}, \bar{P}_{0Ш}$ і кількість випробувань n , так що обґрунтування їх значень має характер послідовних ітерацій.

Під час використання методу контролю за довірчими межами часто задають вимоги лише на один ризик споживача β , поєднуючи $R_{БР}$ і R_3 .

Розглянемо методологію визначення втрат C_α, C_β .

Під час контролю якості на ознаку продукції встановлюється в загальному випадку двосторонній допуск $D = [x_H, x_B]$. Оскільки межі x_H, x_B у загальному випадку можуть бути несиметричними відносно номінальної точки x_0 , то перенесемо початок координат на середину поля допуску Δ .

Можливі витрати від використання дефектного виробу назвемо втратами й визначимо їх як функцію $\Pi(\Delta x)$, де

$$\Delta x = x - (x_0 + \Delta).$$

Оскільки x_0 і Δ задаються в технічній документації, то кожному виміряному значенню x однозначно відповідає відхилення Δx .

Функція $\Pi(\Delta x)$ дає змогу кількісно оцінити небажаність виходу контрольованого показника якості x за межі допуску.

Функція втрат $\Pi(\Delta x)$ у загальному випадку може враховувати вартість заміни дефектного виробу, витрати на усунення дефекту у виробі, вартість заходів щодо забезпечення заданої точності показника x на наступних етапах виробництва або експлуатації виробу. Ця функція через величини C_α і C_β дає змогу обґрунтувати оптимальний план контрольних випробувань.

Розглянемо односторонній допуск $D = [0, x_B]$, при якому:

$$\begin{aligned} x \leq x_B & - \text{виріб придатний;} \\ x > x_B & - \text{виріб непридатний.} \end{aligned}$$

Середні витрати для дефектного виробу

$$\bar{C} = \int_{x_B}^{\infty} \Pi(\Delta x) f(x; \theta) dx$$

характеризують наслідки від застосування одного дефектного виробу, причому величина \bar{C} залежить від x_e і θ – показника якості продукції.

Якщо бракований рівень $\theta = \theta_1$, то середні витрати на один дефектний виріб

$$\bar{C}_1 = \int_{X_B}^{\infty} \Pi(\Delta x) f(x; \theta_1) dx.$$

При приймальному рівні $\theta = \theta_0$

$$\bar{C}_0 = \int_{X_B}^{\infty} \Pi(\Delta x) f(x; \theta_0) dx.$$

Розглянемо порядок обчислення C_α і C_β при прямокутній симетричній функції втрат, коли $\Pi(\Delta x) = 0$, якщо $|\Delta x| \leq \frac{\Delta}{2}$, $\Pi(\Delta x) = C$, якщо $|\Delta x| > \frac{\Delta}{2}$.

За результатами вибірки X_1, X_2, \dots, X_n партія виробів обсягом N з бракувальним рівнем θ_1 може бути помилково взята. У цих випадках втрати від використання партії можна брати пропорціональними обсягу N та середнім витратам на один дефектний виріб C_1 :

$$C_\beta = N\bar{C}_1 = NC_D \int_{X_B}^{\infty} f(x, \theta_1) dx = NC_D q_1,$$

де q_1 – бракувальний рівень дефектності в партії; C_D – витрати від використання одного дефектного виробу.

Під час випробувань партія з рівнем $\theta = \theta_0$ може бути помилково забракована, при цьому вона піддається суцільному розбракуванню або всі вироби відхиляються без розбракування.

При суцільному розбракуванні C_α буде визначатися сумою витрат на розбракування й дефектні вироби:

$$C_\alpha = NC_K + NC_B \int_{X_B}^{\infty} f(x; \theta_0) dx = N(C_K + C_B q_0),$$

де q_0 – приймальний рівень дефектності; C_K – вартість контролю одного виробу; C_B – вартість одного забракованого виробу.

Якщо партія відхиляється без суцільного розбракування, то

$$C_{\alpha} = NC_{\beta}.$$

Таким чином, використовуючи функцію втрат, можна обчислити величини C_{α} і C_{β} . Для якісної ознаки ці величини розраховують за тими ж кінцевими формулами з підстановкою заданих рівнів дефектності q_0 і q_1 .

Відношення $C_0 = C_{\alpha}/C_{\beta}$, що входить у (7.5), буде таким:

$$C_0 = \frac{C_K + C_B q_0}{C_D q_1}.$$

Планування контролю за оптимальними критеріями передбачає наявність апіорних імовірностей появи бракувального або приймального рівнів дефектності q , $p = 1 - q$ або їх співвідношення $\mu = p/q$.

Для серійного виробництва, коли партії виробів виготовляються і контролюються послідовно одна за одною, оцінювання апіорних імовірностей може проводитися за результатами контролю попередніх партій.

Залежно від однорідності попередніх та останньої вибірок можна використовувати декілька способів обчислення величини μ . Припустимо, що для контролю вибрано певну функцію щільності розподілу ознаки $f(x; \theta)$ і за результатами попереднього контролю отримано декілька груп вибірових даних. Тоді, використовуючи критерії перевірки однорідності, можна виокремити із цих груп однорідні і сформуванати єдину вибірку \vec{X} .

Контроль усіх попередніх партій здійснюється за єдиними значеннями показників θ_0 , θ_1 . Тоді, використовуючи формулу Байєса, можна визначити апостеріорну ймовірність того, що правильною є основна гіпотеза $H_0: \theta = \theta_0$, якщо спостерігалася єдина вибірка \vec{X} :

$$P(\theta_0) = \frac{pL(\vec{X}|\theta_0)}{pL(\vec{X}|\theta_0) + (1 - p)L(\vec{X}|\theta_1)},$$

де $L(\vec{X}|\theta_0)$, $L(\vec{X}|\theta_1)$ – функції правдоподібності гіпотез H_0 , H_1 .

Перетворимо наведене співвідношення відносно величини $\mu = p/q$:

$$\mu = \frac{l(\vec{X})}{p^{-1}(\theta_0) - 1},$$

де $l(\vec{X})$ – відношення правдоподібності, що вже розглядалося в підрозд. 7.2.

Для оцінювання апостеріорної ймовірності $P(\theta_0)$ прийняття партії з показником якості θ_0 можна використати частоту прийняття попередніх партій

$$P^*(\theta_0) = \frac{(S - S_{БР})}{S},$$

де S – кількість усіх проконтрольованих партій; $S_{БР}$ – кількість відхилених партій серед усіх проконтрольованих.

Наприклад, якщо розподіл $f(x|\theta)$ – нормальний з відомою дисперсією σ^2 , показником якості m і $m_1 > m_0$, то оцінка μ набуде вигляду

$$\mu^* = \frac{\exp\left\{\frac{m_1 - m_0}{\sigma^2}\right\} \sum_{i=1}^n X_i - \frac{n(m_1^2 - m_0^2)}{2\sigma^2}}{\frac{S - S_{БР}}{S} - 1}.$$

При контролі партій за альтернативною ознакою з розподілом Пуассона оцінка μ буде такою:

$$\mu^* = \frac{\left(\frac{q_1}{q_0}\right)^{m_\Sigma} \exp(-n_\Sigma (q_1 - q_0))}{\frac{S - S_{БР}}{S} - 1},$$

де n_Σ – загальна кількість проконтрольованих виробів у S попередніх партіях; m_Σ – загальна кількість дефектних виробів, виявлених у S попередніх партіях.

У тих випадках, коли попередні партії виробів приймалися ($S_{БР} = 0$), розрахунок за розглянутою схемою унеможлиблюється, оскільки оцінка μ стає нескінченною. За цих умов розрахунок μ можна проводити за схемою Пойя, згідно з якою величина P оцінюється за співвідношенням

$$P^* = \frac{P_\Pi + (S - S_{БР})g}{1 + Sg},$$

де $g > 0$ – параметр; P_Π – початкове значення апіорної ймовірності P .

Для $g > 0$ за цією схемою при відхиленні партії ймовірність P^* зменшується. Навпаки, якщо партія приймається, то P^* збільшується.

Для одержання розрахункової формули необхідно вибрати величину g . Як найобережнішу оцінку можна брати $P_\Pi = 0,5$ і $g = 0,5$. Тоді величина μ оцінюється як

$$\mu^* = \frac{0,5 + (S - S_{БР})0,5}{0,5 + 0,5S_{БР}}.$$

Ця формула дає змогу одержати оцінку величини μ у тих випадках, коли $S_{БР} = 0$. Її доцільно застосовувати і в разі невідомого в попередніх партіях закону розподілу ознаки $f(x|\theta)$.

Нарешті, вибірковий контроль може здійснюватися із заданими ризиками постачальника α і β . Оцінити апіорну ймовірність $P(\theta_0)$ можна за співвідношенням

$$P^*(\theta_0) = P(1 - \alpha) + (1 - P)\beta.$$

Використовуючи рівняння $P^*(\theta_0) = (S - S_{БР})/S$, знаходимо

$$P = \frac{P^*(\theta_0) - \beta}{1 - \alpha - \beta}, \quad \mu^* = \frac{P}{1 - P}.$$

Розрахунки за останніми формулами можна здійснювати і у випадку, якщо $S_{БР} = 0$.

Таким чином, за результатами попередніх вимірювань можна оцінити величину μ , що входить до алгоритму контролю. Величина μ^* є випадковою, але зі збільшенням кількості проконтрольованих партій її значення буде наближатися до істинного значення μ .

7.6. Приклади планування контрольних випробувань

Методику планування контрольних випробувань продемонструємо прикладами для кількісних і якісних ознак.

Кількісна ознака. Експоненціальний розподіл. Розподіл $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$, задано приймальний λ_0 і бракувальний λ_1 , $\lambda_0 < \lambda_1$ рівні параметра λ . Отримано вибірку даних випробувань X_1, X_2, \dots, X_n , на основі якої записуються функції правдоподібності

$$\omega(\vec{x}/\lambda_0) = \lambda_0^n e^{-\lambda_0 X_\Sigma} \quad \text{та} \quad \omega(\vec{x}/\lambda_1) = \lambda_1^n e^{-\lambda_1 X_\Sigma},$$

звідки логарифм відношення правдоподібності

$$\ln l(X) = n \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0} - (\lambda_1 - \lambda_0) X_\Sigma \geq \ln K.$$

Йому є еквівалентною нерівність

$$X_{\Sigma} \leq \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \ln \left[\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0} \right)^n \frac{1}{K} \right] = C,$$

яка й визначає алгоритм прийняття рішення при одноступеневому контролі

$$X_{\Sigma} \leq C: \text{ так} - \gamma_1, \text{ ні} - \gamma_0.$$

Величина $2\lambda X_{\Sigma}$, що являє собою суму n нормованих незалежних експоненціально розподілених величин, має χ^2 -розподіл з $2n$ ступенями свободи, тому

$$\alpha = P\{2\lambda_0 X_{\Sigma} \leq 2\lambda_0 C\}, \quad \beta = P\{2\lambda_1 X_{\Sigma} > 2\lambda_1 C\},$$

що є еквівалентним співвідношенням

$$\chi^2_{1-\alpha}(2n) = 2\lambda_0 C \quad \text{і} \quad \chi^2_{\beta}(2n) = 2\lambda_1 C,$$

де $\chi^2_p(2n)$ – квантиль рівня P розподілу $\chi^2(2n)$.

З останніх співвідношень маємо

$$\frac{\chi^2_{1-\alpha}(2n)}{\chi^2_{\beta}(2n)} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1},$$

що є еквівалентним співвідношенням (7.14). Останнє співвідношення дає змогу за заданими $\alpha, \beta, \lambda_0, \lambda_1$ визначити необхідну кількість випробувань $n_{\text{одн}}$ для одноступеневого контролю.

При послідовному методі контролю, замінюючи відношення правдоподібності й пороги C_0, C_1 логарифмами від них і здійснюючи, як і вище, виділення X_{Σ} , одержуємо алгоритм прийняття рішень:

$$\begin{aligned} \gamma_0: X_{\Sigma} &\geq h_0 + rS, \\ \gamma_1: X_{\Sigma} &\leq h_0 + rS, \\ \gamma_{\text{ПР}}: h_1 + rS &< X_{\Sigma} < h_0 + rS, \end{aligned}$$

де

$$S = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_0}; \quad h_0 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \ln \frac{1}{C_0}; \quad h_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} \ln \frac{1}{C_1};$$

r – поточна кількість випробовуваних виробів.

Наведені співвідношення відповідають двом паралельним прямим з коефіцієнтами нахилу S (рис. 7.1).

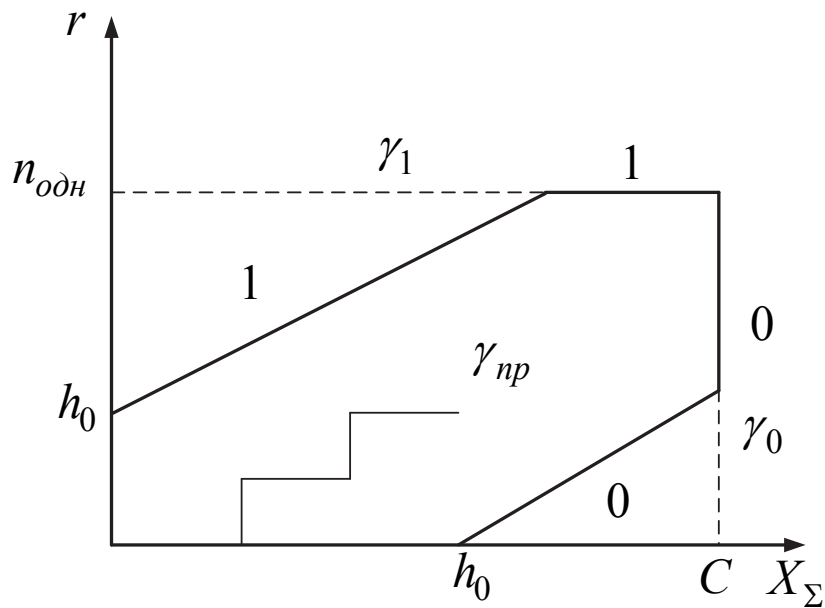


Рис. 7.1. Визначення поточної кількості випробовуваних виробів

Усічення плану послідовних випробувань проводиться за $r = n_{\text{одп}}$ і $X_{\Sigma} = C$, що й визначає остаточно план випробувань. Ділянки 1 і 0 визначають області прийняття рішень γ_1 , γ_0 , $\gamma_{\text{пр}}$. При проведенні випробувань будуються точки з координатами (X_{Σ}, r) і за розташуванням цих точок приймаються відповідні рішення. Вимоги до побудови графічного плану послідовних усічених випробувань обумовлені стандартами.

Якісна ознака. Біноміальний розподіл. Передбачаються заданими приймальний Q_0 і бракувальний Q_1 рівні дефектності. Логарифм відношення правдоподібності для цієї ознаки й алгоритм прийняття рішень мають вигляд

$$\ln l(m) = \frac{m \ln Q_1}{Q_0} + (n - m) \ln \frac{1 - Q_1}{1 - Q_0} \geq \ln K = C.$$

Перетворюючи це співвідношення, одержуємо алгоритм прийняття рішень

$$m > A: \quad \text{так} - \gamma_1, \quad \text{ні} - \gamma_0,$$

де

$$A = \left(C - n \ln \frac{1 - Q_1}{1 - Q_0} \right) / \left(\ln \frac{Q_1}{Q_0} - \ln \frac{1 - Q_1}{1 - Q_0} \right).$$

Таким чином, порівнюючи кількість від'ємних результатів випробувань з порогом A , приймаємо рішення про результат випробувань. Імовірності α і β з урахуванням дискретності розподілу:

$$\alpha = P\left(m > \frac{A}{Q_0}\right) = \sum_{i=A}^n P(i, Q_0),$$

$$\beta = P\left(m < \frac{A}{Q_1}\right) = \sum_{i=A}^n P(i, Q_1).$$

Останні співвідношення за заданими α і β при відомих Q_0 і Q_1 дають змогу визначити необхідну кількість випробувань $n_{\text{одн}}$ для одноступеневого контролю.

При послідовному контролі, аналогічно попередньому випадку, знаходять рівняння похилих прямих послідовного плану:

$$m = an + r_0, \quad m = a(n - n_0),$$

де

$$a = \frac{\ln(P_0/P_1)}{[\ln(Q_1/Q_0) + \ln(P_0/P_1)]}$$

$$r_0 = \frac{\ln C_1}{[\ln(Q_1/Q_0) + \ln(P_0/P_1)]}, \quad n_0 = \frac{\ln C_0}{\ln P_1 - \ln P_0}.$$

Усічення послідовного плану проводиться при $m_{\text{ус}} = A$ і $n = n_{\text{одн}}$. Графічний план послідовних усічених випробувань зображено на рис. 7.2.

Якісна ознака. Розподіл Пуассона використовують для партій виробів з малим рівнем дефектності Q або для високонадійних виробів.

Розподіл кількості від'ємних результатів має вигляд

$$P(m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a},$$

де $a = nQ$.

Відповідно до оптимальних критеріїв вирішальне правило при приймальному Q_0 і бракувальному Q_1 рівнях має вигляд

$$m \geq \frac{\ln K + n(Q_1 - Q_0)}{\ln Q_1/Q_0} = C.$$

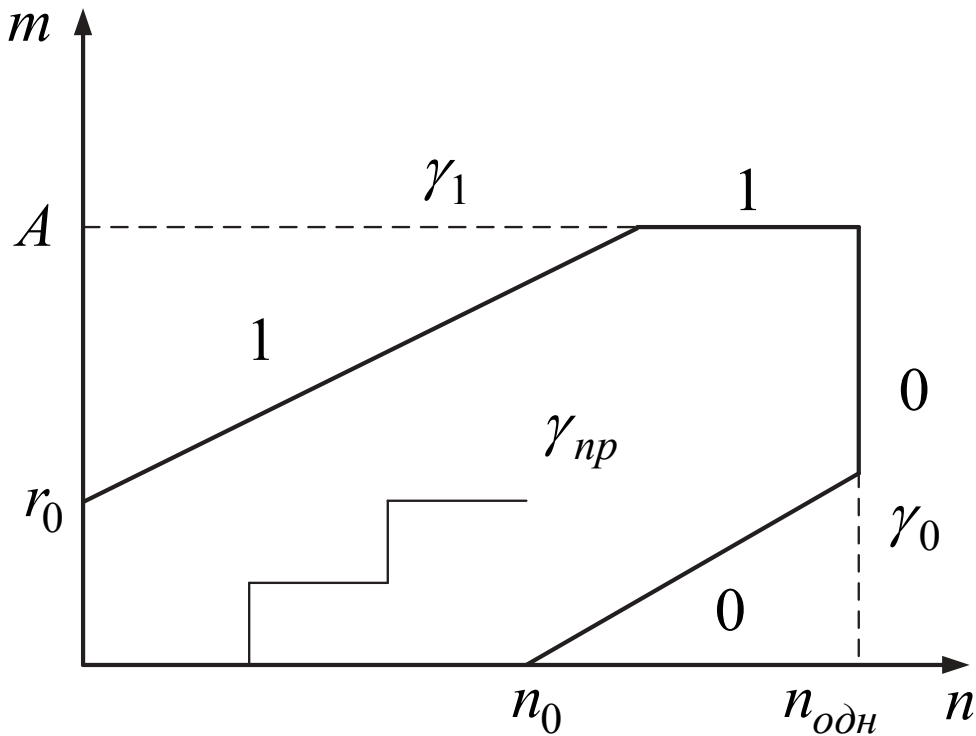


Рис. 7.2. Графічний план послідовних усічених випробувань

Для розрахунку ймовірностей α і β дискретний розподіл Пуассона зручніше замінити неперервним χ^2 -розподілом з кількістю ступенів свободи $2(C+1)$. З урахуванням цього рівняння для визначення α і β набувають вигляду

$$\chi^2_{\alpha}(2(C+1)) \geq 2nQ_0, \quad \chi^2_{\beta}(2(C+1)) \leq 2nQ_1.$$

Під час контрольних випробувань виробів високої якості зазвичай ставлять вимогу неприпустимості дефектних виробів у вибірці. Партія виробів приймається лише в тому випадку, коли у вибірці не виявлено жодного дефектного виробу. При умові $C = 0$ з вирішального правила маємо формулу для розрахунку необхідної кількості випробувань:

$$n = -\frac{\ln K}{Q_1 - Q_0}.$$

Необхідна кількість вибірки n є тільки додатною величиною. Тому, якщо $K \geq 1$, то контроль якості стає недоцільним, тобто вироби мають прийматися при будь-яких значеннях Q_1 і Q_0 .

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які види гіпотез використовуються під час статистичного контролю?
2. У чому полягає суть помилок першого й другого роду під час статистичного контролю?
3. Чому неможливо одночасно забезпечити скільки завгодно малі ризики постачальника і споживача?
4. Чим визначається достовірність контрольних випробувань?
5. Перелічіть початкові дані для планування контрольних випробувань.
6. Які різновиди планів контрольних випробувань ви знаєте?
7. Назвіть критерії прийняття рішень під час статистичного контролю.
8. У чому полягає універсальність критерію відношення правдоподібності?
9. З яких міркувань вибирають кількість випробувань при одноступеневому методі контролю?
10. У чому полягає суть послідовних та усічених послідовних контрольних випробувань?
11. У чому полягає статистичний контроль за методом довірчих меж?
12. Як спланувати контрольні випробування в широкому і вузькому сенсі?
13. Як установити приймальний і бракувальний рівні якості?

8. ПРИНЦИПИ ПЛАНУВАННЯ Й ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ НЕПАРАМЕТРИЧНИХ ВИЗНАЧАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

У практиці випробувань радіоелектронних засобів не часто, але виникають ситуації, коли вид закону розподілу $f(x)$ ознаки випробувальної продукції апріорно є невідомим, наприклад, при освоєнні нової продукції, корінній реконструкції виробничих процесів, під час переходу на нову елементну базу тощо.

Частіше така ситуація виникає при проведенні досліджень властивостей заново виготовленої апаратури.

Для визначення закону розподілу $f(x)$ у теорії статистики розроблено кілька методів оцінювання. Усі відомі методи можна розподілити на *параметричні* і *непараметричні*.

8.1. Параметричні методи випробувань

До параметричних належать методи, що дають змогу із заданого класу шляхом оцінювання тих або інших параметрів вибрати розподіли, які найкращим чином відповідають вибірці даних випробувань. При цьому параметрами можуть бути моменти й параметри розподілу, коефіцієнти різних апроксимацій. До цієї групи належать методи відновлення функції розподілу за допомогою кривих Пірсона, методи, у яких використовуються ортогональні розвинення функції густини ймовірностей, метод Джонсона.

Метод кривих Пірсона ґрунтується на знаходженні сім'ї кривих, за допомогою яких можна задовільно подати розподіли, які трапляються на практиці. При цьому від характеристик емпіричного розподілу залежать можливий вид розподілу та його параметри. Система кривих Пірсона визначається рівнянням

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{(x-a)f(x)}{b_0 + b_1x + b_2x^2}. \quad (8.1)$$

Ця система містить 12 типів кривих (і нормальний закон розподілу включно), які охоплюють практично всі основні розподіли.

Для розпізнавання потрібного типу кривої за емпіричними даними X_1, X_2, \dots, X_n розраховують оцінки перших чотирьох моментів (центральных)

$$m_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad m_v = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_i)^v}{n}, \quad v = 2, 3, 4, \quad (8.2)$$

за якими визначають коефіцієнт асиметрії розподілу $\sqrt{\beta_1} = m_3/m_2^{3/2}$ і коефіцієнт ексцесу $\beta_2 = \frac{m_4}{m_2^2}$.

На площині (β_1, β_2) , яку називають площиною моментів, різним розподілом відповідають певні області або точки. Таким чином, за розраховуваними коефіцієнтами β_1^*, β_2^* можна визначити вид закону розподілу ознаки x .

Методи на основі на ортогональних розвинень функції розподілу розглянемо на прикладі розвинення Грама – Шарльє.

Розглянемо нормовану випадкову величину $z = (x - m_x)/\sigma_x$, її щільність $f(z)$ і функцію розподілу $F(z)$. Розвинемо щільність $f(z)$ у ряд вигляду

$$f(z) = \varphi(z) \sum_{i=0}^{\infty} C_i \psi_i(z), \quad (8.3)$$

де $\varphi(z)$ – задана (відома) щільність розподілу; $\psi(z)$ – система ортонормованих функцій (поліномів) з вагою $\varphi(z)$, тобто

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(z) \psi_i(z) \psi_j(z) dz = \begin{cases} 0 & \text{при } i \neq j, \\ a_{ij} & \text{при } i = j. \end{cases} \quad (8.4)$$

Як $\varphi(z)$ використовується розподіл $N(0,1)$. Тоді розвинення (8.4) набирає вигляду розвинення Грама – Шарльє

$$f(z) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(-1)^i}{\sqrt{i!}} C_i \varphi^{(i)}(z), \quad (8.5)$$

де

$$\begin{aligned} \varphi^{(i)}(z) &= \frac{d^i \varphi(z)}{dz^i}; & C_0 &= 1; & C_1 &= C_2 = 0; \\ C_3 &= \frac{m_3(z)}{\sqrt{3!}} = \frac{m_3(x)}{\sigma^3_x \sqrt{3!}}, & C_4 &= \frac{m_4(z) - 3}{\sqrt{4!}} = \frac{\frac{m_4(x)}{\sigma^4_x} - 3}{\sqrt{4!}}; \\ C_5 &= \frac{m_5(z) - 10m_3(z)}{\sqrt{5!}} = \frac{\frac{m_5(x)}{\sigma^5_x} - \frac{10m_3(x)}{\sigma^3_x}}{\sqrt{5!}}. \end{aligned}$$

Таким чином, права частина рівняння (8.5) визначається моментами $m_1, \sigma_{x_1}, m_3, m_4$ випадкової величини x . Ці моменти оцінюються за результатами оброблення даних випробувань X_1, X_2, \dots, X_n та алгоритмом

(8.2). При цьому з прийнятною точністю можуть бути оцінені лише перші три-чотири моменти (8.3).

Метод Джонсона базується на перетворенні, яке трансформує початкову випадкову величину x у нормовану нормальну величину z :

$$z = \gamma + \eta\tau(x; \varepsilon; \lambda), \quad (8.6)$$

де $\eta > 0, \gamma \in (-\infty, \infty), \lambda > 0, \varepsilon \in (-\infty, \infty)$.

Н. Джонсон запропонував три види функції $\tau(x; \varepsilon; \lambda)$:

а) $\tau_1(x; \varepsilon; \lambda) = \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right), \quad x \geq \varepsilon;$

б) $\tau_2(x; \varepsilon; \lambda) = \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right), \quad \varepsilon \leq x \leq \varepsilon + \lambda;$

в) $\tau_3(x; \varepsilon; \lambda) = \text{Arcsh}\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right), \quad x \in (-\infty, \infty).$

На основі такого перетворення методом зворотного переходу до величини x знаходять три сім'ї розподілів Джонсона:

$$S_L: f(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}(x-\varepsilon)} \exp\left\{-0,5\eta^2\left[\frac{\gamma}{2} + \ln(x-\varepsilon)\right]^2\right\};$$

$$S_B: f(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(x-\varepsilon)(\lambda-x+\varepsilon)} \exp\left\{-0,5\left[\gamma + \eta \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda-x+\varepsilon}\right)\right]^2\right\};$$

$$S_U: f(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{(x-\varepsilon)^2 + \lambda^2}} \exp\left\{-0,5\left[\gamma + \eta \ln\left\{\frac{x-\varepsilon}{\lambda} + \left[\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right)^2 + 1\right]^{1/2}\right\}\right]^2\right\}$$

Показано, що три сім'ї розподілів Джонсона охоплюють усі одно- і двомодальні розподіли, тобто на площині моментів (β_1, β_2) охоплюють усі різновиди розподілів. При цьому вид розподілу Джонсона однозначно визначається точкою (β_1^*, β_2^*) . Параметри розподілів $\varepsilon, \gamma, \eta, \lambda$ розраховують методами точкового оцінювання, що розглядалися вище.

Таким чином, параметричні методи зводяться до методів параметричного оцінювання перших чотирьох моментів розподілу ознаки x за вибірковими даними X_1, X_2, \dots, X_n . Обсяг вибірки n у цьому випадку визначається заданою точністю оцінювання моментів m_v і довірчою ймовірністю γ цих оцінок, що є критерієм достовірності визначення закону розподілу $f(x)$.

8.2. Непараметричні методи випробувань

Непараметричні методи полягають у виборі закону розподілу $f(x)$, який відповідає емпіричним даним X_1, X_2, \dots, X_n . При цьому використовуються критерії перевірки узгодження досліджуваного розподілу з теоретичним і графічний метод (імовірнісних сіток).

У методі на основі перевірки узгодження досліджуваного розподілу з теоретичним відповідно до ДСТУ 3433–96 використовуються односторонні критерії перевірки узгодження Колмогорова, χ^2 - і ω^2 -квадрати.

Суть цього методу полягає в знаходженні такого виду розбіжності $\Delta_n(F_n^*, F)$ між емпіричним F_n^* і теоретичним F законами розподілу, для якого можна визначити закон розподілу $f(\Delta)$, що не залежить від F_n^* .

Статистика Δ_n , що є функцією вибірових значень X_1, X_2, \dots, X_n , також є випадковою величиною. Правило перевірки гіпотези про узгодженість апріорного F_n^* і теоретичного F_Δ розподілів формулюється так, якщо

$$\Delta_n(F_n^*, F) > C,$$

то гіпотеза про узгодження F_n^* і F відкидається, якщо ж $\Delta_n < C$, – береться. Для визначення C установлюється деяка допустима ймовірність α (рівень значущості критерію) помилкового відхилення гіпотези про узгодженість F_n^* і F :

$$\alpha = P\{\Delta_n(F_n^*, F) > \Delta_\alpha\},$$

де Δ_α – α -відсоткова точка розподілу $f(\Delta)$. Таким чином, $C = \Delta_\alpha$.

Критерій Колмогорова застосовується при $n > 100$ і повністю відомому теоретичному розподілі $F(x)$.

За даними випробувань визначають варіаційний ряд

$$X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n,$$

розмах якого $X_n - X_1$ поділяється на r інтервалів.

Розраховують частоти m_i потрапляння спостережень в i -й інтервал.

Будують емпіричну функцію розподілу

$$F_n^*(X_i) = \frac{n_i}{n},$$

де $n_i = m_1 + m_2 + \dots + m_i$, і знаходять теоретичну функцію розподілу $F(X_i)$ у точці X_i .

Максимальне відхилення досліджуваного розподілу від функції теоретичного розподілу

$$D_n = \max|F_n^*(x_i) - F(x_i)|,$$

а величина $\Delta_n = D_n\sqrt{n}$, як показав А. М. Колмогоров, має певний розподіл.

Задаються довірчою ймовірністю $\gamma = P\{\Delta_n \leq C\}$ того, що відхилення Δ_n буде менше величини C , установленної для довірчої ймовірності γ відповідно до таблиці:

γ	0,99	0,95	0,90	0,80
C	1,63	1,36	1,22	1,07

Якщо $\Delta_n < C$, то гіпотеза про узгодженість розподілів F_n^* і F береться, в іншому випадку – відхиляється.

Критерій χ^2 також використовується при $n > 100$. Обчислюють розмах $X_n - X_1$, утворюється r однакових інтервалів $h = (X_n - X_1)/r$. Кількість інтервалів r вибирають залежно від обсягу вибірки n :

- при $100 < n < 200$ $r = 15 \dots 18$;
- при $n = 200$ $r = 18 \dots 20$;
- при $n = 400$ $r = 25 \dots 30$;
- при $n = 1000$ $r = 35 \dots 40$.

Підраховують частоти n_i потрапляння спостережень в i -й інтервал.

Для теоретичного закону розподілу $F(x)$ обчислюють теоретичну ймовірність P_i потрапляння величини x в i -й інтервал:

$$P_i = F(X_i) - F(X_{i-1}) \quad \text{або} \quad P_i = \int_{X_{i-1}}^{X_i} f(x) dx.$$

Розраховують величини np_i . При цьому, якщо $np_i < 10$, то слід об'єднати один або декілька сусідніх інтервалів в один так, щоб виконувалась умова $np_i \geq 10$.

Визначають відхилення

$$\Delta = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i},$$

яке має χ^2 -розподіл з $K = r - 1$ ступенями свободи.

Задаються довірчою ймовірністю $\gamma = P(\Delta \leq C)$ того, що величина Δ унаслідок випадкових відхилень досліджуваного розподілу F_n^* від теоретичного F буде менше значення C , установленого для ймовірності γ за таблицею квантиля χ^2 -розподілу з $K = r - 1$ ступенями свободи.

Якщо $\Delta < C$, то для взятої довірчої ймовірності γ гіпотеза про узгодженість F^* і F береться, в іншому випадку – відхиляється. Якщо від теоретичного розподілу $F(x)$ є відомим з точністю до l невідомих параметрів розподілу, то останні можуть бути отримані методами точкового оцінювання за тією ж вибіркою даних. Кількість ступенів свободи розподілу для знаходження χ^2 у цьому випадку буде такою: $K = r - l - 1$.

Критерій ω^2 може бути застосований при $n > 50$. У цьому випадку

$$\Delta = \int_{-\infty}^{\infty} [F_n^*(x) - F(x)]^2 \psi(F(x)) dF(x),$$

де $\psi(F(x))$ – вагова функція, яка зазвичай дорівнює $\psi(F) = 1$, якщо всі значення функції розподілу мають однакову вагу. Якщо $\psi(F) = \frac{1}{F(1+F)}$, то при цьому збільшується вага спостережень на «хвостах» розподілів. Функцію $\psi(F)$ другого виду використовувати краще, оскільки на практиці відмінність між розподілами є найбільш помітною в області крайніх значень випадкової величини.

У таблиці, наведеній у ДСТУ 3433–96, знаходять величину a , яка відповідає величині Δ .

Задають рівень значущості α . Якщо $a \geq (1 - \alpha)$, то гіпотезу про узгодженість F^* і F відкидають, якщо $a < (1 - \alpha)$, – беруть.

Графічний метод (метод імовірнісних сіток) застосовують для вибору апроксимувального розподілу з чотирьох найбільш часто використовуваних – нормального, експоненціального, Вейбулла, логарифмічно-нормального.

Цей метод потребує мінімальної кількості випробувань – $n \leq 30$. Суть його полягає в тому, що шукають такі перетворення функції розподілу $A(F(x))$ та її аргумента $B(x)$, щоб у перетворених координатах існувала лінійна залежність між новими аргументами і функцією. За експериментальними даними X_1, X_2, \dots, X_n будують залежність між $A(X_i)$ і $B(X_i)$ для чотирьох названих законів, і там, де точки (A_i, B_i) утворюють найкраще наближення до прямої лінії, робиться висновок про відповідний розподіл.

Розглянемо більш детально ці перетворення.

Нормальний розподіл

$$U(F(X)) = \frac{X - m}{\sigma}, \quad (8.7)$$

де U – квантиль нормованого й центрованого розподілів $N(0, 1)$.

Експоненціальний розподіл з параметром масштабу λ і параметром зсуву C

$$F(X) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda(x-c)} & \text{при } X \geq C, \\ 0 & \text{при } X < C; \end{cases} \quad (8.8)$$

$$-\ln(1 - F) = \lambda(X - C).$$

Логарифмічно-нормальний розподіл

$$F(X) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg(x-c)} e^{-\frac{(v-\mu)^2}{2\sigma^2}} & \text{при } X \geq C, \\ 0 & \text{при } X < C \end{cases}$$

з параметрами зсуву C , де $\lg(x-c)$ має нормальний розподіл з параметрами μ і σ :

$$U(F(X)) = \frac{\lg(X-c) - \mu}{\sigma}. \quad (8.9)$$

Розподіл Вейбулла

$$F(X) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{(x-c)^2}{a}} & \text{при } X \geq C, \\ 0 & \text{при } X < C, \end{cases}$$

де $a > C$, $b > 0$, C – параметр зсуву:

$$\ln[-\ln(1-F)] = b \ln\left(\frac{x-C}{a}\right) = 2,343b[\lg(x-C) - \lg a]. \quad (8.10)$$

Як бачимо, залежності (8.7)–(8.10) мають вигляд лінійних взаємозв'язків перетворених функцій $F(X)$ та аргументів.

Методика використання цього методу є такою.

Якщо $n < 30$, то як початкові дані для розрахунків $F^*(x_i)$ використовуються безпосередньо спостережувані дані X_1, X_2, \dots, X_n :

$$F(X_i) = \frac{i}{n+1},$$

де i – кількість реалізацій X_j , що знаходяться зліва від X_i .

Якщо $n > 30$, то рекомендується застосовувати групування даних. Вибирають величини $X^* < X_{\min}$, $X^{**} > X_{\max}$, $X_{\min} = \min\{X_j\}$, $X_{\max} = \max\{X_j\}$, а інтервал $[X^*, X^{**}]$ розбивають на K відрізків завдовжки $h = (X^{**} - X^*)/K$. При $30 \leq n \leq 200$ $7 \leq K \leq 20$.

Розраховують кількість n_i реалізацій X_j , що потрапили в i -й відрізок, а також визначають

$$F(X_m) = \sum_{j=1}^m \frac{n_j}{n+1},$$

де X_m – середина m -ї ділянки.

Якщо є точки, які потрапили на межу ділянок, то їх відносять порівну до двох сусідніх ділянок.

На ймовірнісні сітки з координатами

$$[X, U(F(X))], [x, -\ln(1 - F(X))], [\lg X, U(F(X))], [\lg X, \ln[-\ln(1 - F(X))]]$$

для зазначених законів наносять точки, $X_i, F^*(X_i)$. Потім за цими точками проводять пряму так, щоб точки відхилялися від неї якнайменше.

Якщо нанесені емпіричні точки мало відхиляються від проведеної прямої, то це свідчить про те, що дослідні дані не суперечать тому виду розподілу, для якого було побудовано сітку. При цьому необхідно враховувати, що на кінцях вибірки дослідні точки можуть більше відхилятися від прямої, ніж у середній частині графіка.

Якщо пряма не виходить, то гіпотеза про вибраний вид розподілу відхиляється.

Оцінки параметрів ймовірного розподілу й деякі статистичні характеристики визначають за допомогою точок перетину апроксимувальної прямої з відповідними осями координат. Наприклад, для експоненціального розподілу розташування точок в осях $[X, -\ln(1-F)]$ являє собою пряму $y = -\ln(1 - F) = kx + b$. При цьому оцінкою параметра зсуву C буде $\hat{C} = b$, а оцінкою параметра $\lambda - \lambda = K$.

Це дуже ефективний метод апроксимації закону розподілу, що широко застосовується в інженерній практиці.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Охарактеризуйте параметричні методи визначення відомих законів розподілу.
2. Назвіть непараметричні методи визначення законів розподілу.

3. У чому полягає суть графічного методу визначення законів розподілу? Для яких законів його застосовують?
4. У чому полягає суть методу кривих Пірсона?
5. Охарактеризуйте метод знаходження функції розподілу за розвиненням Грама – Шарльє.
6. Поясніть суть методу Джонсона для опису розподілу випадкової величини.
7. Охарактеризуйте суть вибору розподілу випадкової величини на основі критеріїв узгодження.
8. У чому полягає суть критерію Колмогорова?
9. Як застосовують критерій узгодження χ^2 ?
10. У чому полягає суть критерію узгодження ω^2 ?
11. Поясніть методологію застосування графічного методу для обґрунтування закону розподілу випадкової величини.
12. Назвіть переваги й недоліки графічного методу.
13. Порівняйте між собою експериментальні методи вибору закону розподілу випадкової величини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

ДСТУ 3021–95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. – Чинний з 1996-01-01. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 71 с.

ДСТУ 2864–94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – Чинний з 1996-01-01. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 30 с.

Бабаков, М. Ф. Планирование и обработка данных определительных и контрольных испытаний радиоэлектронных средств / М. Ф. Бабаков. – Харьков : ХАИ, 1990. – 67 с.

Бабаков, М. Ф. Моделі надійності радіоелектронної апаратури : навч. посіб. / М. Ф. Бабаков. – Харків : ХАІ, 2016. – 100 с.

Надежность технических систем : справочник : В 10 т. Т. 6 : Экспериментальная отработка и испытания / И. З. Аронов, Б. В. Бадин, В. А. Лайидус и др. – М. : Машиностроение, 1989. – 376 с.

Основи надійності цифрових систем : підручник / за ред. В. С. Харченка, В. Я. Жихарева. – Харків : ХАІ, 2004. – 572 с.

Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник : навч. посіб. / за ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – Київ : Вища шк., 1999. – 838 с.

Стрельников, В. П. Оценка и проектирование надежности электронных элементов и систем / В. П. Стрельников, А. В. Федугин. – Киев : Логос, 1996. – 486 с.

Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем : учеб. пособие / Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др. – М. : Логос, 2003. – 736 с.

Федоров, В. К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. К. Федоров, Н. П. Сергеев, А. А. Кондратенко. – М. : Техносфера, 2005. – 504 с.

ЗМІСТ

Передмова	3
1. Особливості сучасних РЕЗ і БМЗ як об'єктів проектування, виробництва й експлуатації і необхідність їх експериментального відпрацювання	4
1.1. Радіоелектроніка й радіоелектронні засоби – основи сучасних інформаційних технологій	4
1.2. Покоління радіоелектронних засобів	6
1.3. Особливості сучасних РЕЗ	8
1.4. Показники якості РЕЗ і методи їх оцінювання.....	10
Контрольні запитання.....	14
2. Контроль і випробування як шляхи забезпечення якості радіоелектронних засобів	15
2.1. Технічний контроль і контроль якості РЕЗ	16
2.2. Випробування як основна форма контролю РЕЗ	18
2.3. Стандартизація з контролю та випробувань – обов'язкова умова їх ефективності	20
2.4. Проблеми проведення випробувань РЕЗ	21
Контрольні запитання	22
3. Класифікація видів контролю та випробувань.....	24
3.1. Систематизація видів контролю.....	24
3.2. Систематизація видів випробувань	25
Завдання для самостійної роботи	30
Контрольні запитання	30
4. Організаційно-методичні принципи випробувань РЕЗ.....	31
4.1. Процес випробувань як система.....	31
4.1.1. Об'єкт випробувань	31
4.1.2. Формування умов випробувань.....	33
4.1.3. Оцінювання стану й характеристик властивостей об'єкта. Прийняття рішень щодо об'єкта	34
4.2. Організаційно-методичне забезпечення випробувань.....	35
4.3. Методи й способи випробувань РЕЗ	37
4.3.1. Методи випробувань РЕЗ	37
4.3.2. Способи проведення випробувань.....	38
Контрольні запитання	40
5. Система державних випробувань продукції. Єдність випробувань.....	41
5.1. Основні положення СДВП	41
5.2. Забезпечення єдності випробувань.....	42
5.3. Вимоги до розроблення й атестації методик випробувань.....	44
5.4. Категорії випробувального обладнання та його атестація	45
Контрольні запитання	46

6. Планування й оброблення даних параметричних визначальних випробувань	47
6.1. Основні теоретичні передумови	47
6.2. Випробування при експоненціально розподіленій ознаці	49
6.3. Випробування за нормально розподіленою ознакою	51
6.4. Випробування при якісній ознаці.....	54
6.5. Методологія планування й оброблення даних параметричних визначальних випробувань	57
Контрольні запитання.....	58
7. Планування контрольних випробувань РЕЗ та оброблення їх даних.....	60
7.1. Основні теоретичні положення	60
7.2. Критерії прийняття рішень.....	63
7.3. Одноступеневий і послідовний методи контрольних випробувань РЕЗ	65
7.4. Контрольні випробування з використанням довірчого Оцінювання.....	68
7.5. Методологія планування контрольних випробувань	69
7.6. Приклади планування контрольних випробувань.....	74
Контрольні запитання.....	79
8. Принципи планування й оброблення даних непараметричних визначальних випробувань	80
8.1. Параметричні методи випробувань	80
8.2. Непараметричні методи випробувань	82
Контрольні запитання.....	87
Бібліографічний список	89

Навчальне видання

Бабаков Михайло Федорович
Албул Олександр Сергійович

КОНТРОЛЬ І ВИПРОБУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ І БІОМЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ

Частина 1

**ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ,
ПЛАНУВАННЯ Й ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ
КОНТРОЛЮ ТА ВИПРОБУВАНЬ**

Редактор Т. О. Іващенко

Зв. план, 2020

Підписано до друку

Формат 60×84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,1. Обл.-вид. арк. 5,75. Наклад 30 пр.

Замовлення 285. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001