

# 3 Технічні засоби системи захисту інформації. Стандартизація та метрологічне забезпечення систем ТЗІ. Визначення відповідності засобів ТЗІ

УДК 006.86(045)

## НОВІТНІ ПРИНЦИПИ ДОСЯЖНОСТІ ЯКОСТІ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ. СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД

Лариса Кошева

Національний авіаційний університет

*Анотація:* Показано, що для досягнення високого рівня якості результатів випробувань необхідно змінювати методологію організації та проведення лабораторних випробувань, керуючись сучасними принципами менеджменту та впроваджуючи статистичний підхід до оцінювання отриманих результатів.

*Summary:* We show that for a range of high quality test results to modify the methodology and organization of laboratory tests in accordance with modern principles of management and introducing a statistical approach to the evaluation of the results.

*Ключові слова:* Менеджмент якості, статистичні методи, лабораторні випробування, точність результатів.

### Вступ

Підтвердити якість продукції неможливо без ефективно функціонуючих випробувальних лабораторій, у тому числі лабораторій захисту інформації. Для забезпечення якості випробувань у лабораторну практику усе ширше впроваджується система керування якістю (СКЯ), що охоплює процеси адміністративного менеджменту, керування якістю робіт та технічного забезпечення [1]. Практичне застосування СКЯ сприяє створенню впевненості в якості лабораторних випробувань, що визначається, насамперед, якістю їх результатів, якими є інформація про об'єкт випробувань, одержувана лабораторією й передана замовникові. Оскільки на етапі випробувань одночасно присутні інтереси замовника й постачальника, то особливий інтерес викликає вірогідність результатів, якою має характеризуватися якість результату випробування [2], іншими словами, інформація, отримана лабораторією, має бути надійною. У постійно зростаючих вимогах до якості продукції лабораторії мають забезпечити якість результатів, наданих випробувальною лабораторією. Необхідність використання статистичних методів при цьому викликана мінливістю, що наявна в процесі випробувань та впливає на результати навіть за умови уявної стабільності процесу. Така мінливість може проявлятися у вимірюваннях характеристик процесів та продукції на різних етапах її життєвого циклу. Статистичні методи можуть допомогти при формуванні кращого розуміння плинності, строків та причин мінливості навіть за наявності обмеженого статистичного матеріалу, а в подальшому – при вирішенні і навіть попередженні проблем, пов'язаних з такого роду мінливістю.

### Постановка проблеми

Нині для реалізації економічних відносин у плані усунення бар'єрів при здійсненні взаємин у виробничих та невиробничих сферах, пов'язаних з різними оцінками показників точності випробувань у постачальників і споживачів, стає необхідним впроваджувати нові підходи до організації, планування та проведення випробувального процесу в лабораторіях. Сучасні тенденції до організації та проведення випробувального процесу в цілому, і зокрема, до встановлення та оцінювання характеристик точності результатів випробувань, полягають у відході від ідеології призначення їх припустимих меж та приймання розробленої методикою на підставі вимірювань організації-розроблювача, а вимагають нових принципів до їх нормування.

Для досягнення порівнянності отриманих результатів різними лабораторіями необхідно виходити із реальних можливостей лабораторій щодо організації випробувань. Сучасний підхід не може декларувати «будь-яка лабораторія при вимірюванні за даною методикою повинна мати похибку, що не перевищує приписану даною методикою». Можна скільки завгодно підвищувати вимоги до точності результатів випробувань, але це не буде об'єктивною характеристикою технічних та організаційних можливостей

лабораторії. Тому необхідно кардинально змінювати підходи до нормування показників точності випробувань та встановлювати а потім нормувати їх на підставі статистичного підходу.

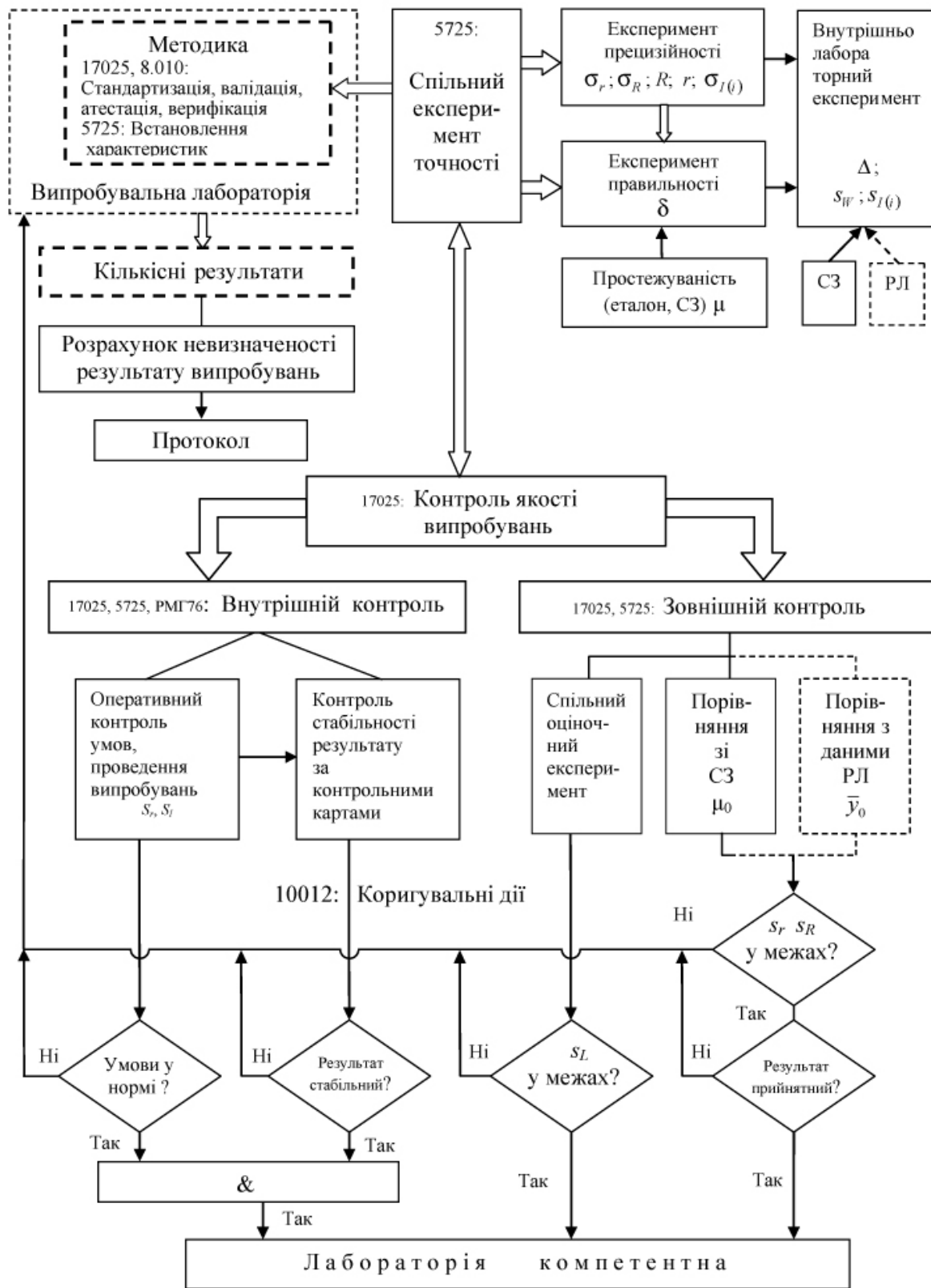


Рисунок 1 – Система забезпечення якості результатів випробувань

## I Система забезпечення якості лабораторних випробувань

Складові випробувального процесу, що впливають на якість результату (методика, випробувальне обладнання, умови, оператор) утворюють систему забезпечення якості результатів випробувань.

На рис. 1 з прив'язкою до методики випробувань наведено систему забезпечення якості результатів випробувань, що побудована на основі статистичного підходу, який застосовується при: встановленні характеристик точності методик випробувань та оцінюванні результатів випробувань, отриманих при їх реалізації; встановленні придатності стандартизованих методик; оцінюванні прийнятності результатів випробування; оцінюванні професійного рівня лабораторій; підтриманні процесу одержання результатів випробувань на заданому рівні; формуванні співдружності лабораторій, що виконують випробування у певній галузі [3]; встановленні метрологічних характеристик лабораторії з урахуванням індивідуальних особливостей та відмінностей організації випробувального процесу в них, що не мають кількісної оцінки, та урахуванні їх при оцінюванні результатів, отриманих у лабораторії при реалізації методики випробувань.

При описі характеристик властивостей об'єкта випробувань, доцільно використовувати статистичні показники точності результатів (правильності та прецизійності), рекомендовані стандартом [4], що спроможні оцінити впливи як випадкових, так систематичних ефектів, і для оцінювання яких не потрібно встановлення причинно-наслідкових зв'язків.

## II Методика випробувань

Особливе значення при випробуваннях мають методики їх проведення як технологічного процесу, що містить у собі сукупність процедур, послідовне виконання яких спрямовано на одержання результату випробувань із гарантованою точністю і/чи вірогідністю [5], тобто якість методик випробувань та їхня реалізація із очевидністю впливають на якість результатів випробувань. Надійність результатів випробувань забезпечується як на етапі атестації та оцінювання придатності (валідації) методики випробувань, так і на етапі робочого застосування цієї методики.

На етапі оцінювання придатності методики перевіряється можливість застосування методики для об'єктів, що підлягають випробуванням, включаючи впливові фактори; можливість застосування методики в зазначеному діапазоні; відповідність прецизійності й правильності результатів, що характеризують результати, отримані лабораторією, наведеним у методиці тощо [6].

На етапі робочого застосування методики здійснюється контроль прийнятності результатів, постійний контроль стабільності результатів із застосуванням технології контрольних карт та інші способи контролю точності результатів, включаючи участь у міжлабораторних випробуваннях [7].

Раніше для оцінювання метрологічних характеристик вимірювань при випробуванні об'єкта досить було провести внутрішньолабораторний експеримент. Але при цьому можна було говорити про точність результатів, отриманих даною лабораторією. Для зіставлення результатів, встановлення довіри до них, цього не достатньо. Сучасний регламент атестації методик вимагає переходити до інших форм оцінювання характеристик методики, зокрема, до спільного міжлабораторного експерименту.

## III Спільний експеримент точності

В основу системи забезпечення якості результатів випробувань (рис. 1) покладено спільний експеримент точності, що є фізичною моделлю реалізації процедури випробувань, який враховує можливі сполучення умов випробувань в лабораторії, і дозволяє встановлювати характеристики методики, адекватно оцінювати показники точності випробувань, виконаних відповідно до методики, а також здійснювати порівняльну оцінку діяльності лабораторій. Крім того, спільний експеримент дозволяє реалізувати сучасний підхід до оцінювання показників точності випробувань шляхом створення асоціацій лабораторій у певній галузі [3].

Правильно організовані спільні експерименти з оцінювання характеристик точності, як прецизійності, так і правильності, спрямовані на визначення вірогідних характеристик повторюваності, проміжної прецизійності, відтворюваності й правильності методик, що атестуються. При цьому використовуються відповідні статистичні моделі [8], від яких залежить від мети та номенклатури показників точності, що визначаються.

## IV Експеримент прецизійності

У міжлабораторних порівняльних випробуваннях приймають участь  $p$  лабораторій. Оцінюваною величиною є результати вимірювань, отримані лабораторіями в заданих умовах. На підставі отриманих результатів проводиться оцінювання стандартних відхилень повторюваності  $s_r$  та відтворюваності  $s_R$ . При цьому визначається міжлабораторна розбіжність, тобто виконання умови відтворюваності в лабораторіях,

для чого попередньо необхідно перевірити однорідність лабораторних дисперсій, визначених в умовах повторюваності [4].

Проведення спільних експериментів дозволяє дослідити проміжні показники прецизійності окремо за впливовими факторами або деякої їхньої сукупності із застосуванням схем повністю вкладеного та східчато-вкладеного експериментів дисперсійного аналізу [9]. Хоча даний аналіз і елементарний, він корисний для дослідження проміжної прецизійності, наприклад, за впливовим фактором «час», коли день за днем виконується по одному вимірюванню на тому самому устаткуванні. Основною передумовою при аналізі проміжних показників прецизійності шляхом міжлабораторних експериментів є припущення, що вплив окремого фактора в усіх лабораторіях однаковий, наприклад, зміна оператора в одній лабораторії має той самий ефект, що й в іншій. Тому перед проведенням аналізу обов'язково необхідно застосовувати статистичні критерії, що підтверджують або, навпаки, виявляють невиконання цих передумов шляхом виявлення викидів в отриманих експериментальних даних та їх вилученні при подальшому обробленні даних.

## V Експеримент правильності

На сьогодні в рамках сучасних моделей менеджменту потрібно оцінювати стан кожної конкретної лабораторії. Тільки в цьому випадку може бути забезпечена довіра до результатів, отриманих у різних лабораторіях. Гарантією порівнянності результатів випробувань, отриманих у різних лабораторіях, поряд з прецизійністю, є їхня правильність, для забезпечення якої, в першу чергу, необхідно виконання умови протестування отриманих результатів.

Для статистичного оцінювання зміщення результату, викликаного недосконалістю методики випробувань  $\delta$  (надалі зміщення методики), необхідно виходити із умов спільного міжлабораторного експерименту, тому що при оцінюванні показників правильності методики треба виключити вплив лабораторної похибки, обумовленої організацією експерименту в лабораторії, яка для лабораторії залишається постійною, але не відомою, або такою, що не підлягає контролю. При оцінюванні правильності, зокрема, характеристики зміщення методики використовуються показники прецизійності, тому експерименту правильності має передувати експеримент прецизійності.

## VI Внутрішньолабораторний експеримент

Раніше, відповідно до вимог нормативних документів, кожному результату вимірювання приписували похибку, розраховану при метрологічному дослідженні методики й встановлену при її атестації. Зараз стандартом [4] введено нове поняття – похибка лабораторії (лабораторія розглядається як деякий комплексний «засіб вимірювань», який включає і оператора), і тим самим виникає можливість оцінити похибку, з якою отримано результат у конкретній лабораторії.

При оцінюванні характеристик похибки результату, викликані організацією випробувального процесу в конкретній лабораторії, (надалі лабораторного зміщення  $\Delta$ ) та лабораторної складової зміщення результату  $B$ , що здійснюється при внутрішньолабораторному експерименті, використовуються показники точності, встановлені в методиці, при цьому в лабораторії мають виконуватися умови повторюваності.

Програма внутрішньолабораторного експерименту з оцінки лабораторного зміщення має збігатися з програмою лабораторії при її участі в проведенні міжлабораторного експерименту [10].

## VII Достатність статистичних показників

Статистичний підхід застосовується не тільки для встановлення кількісних мір та їхніх показників (правильність, повторюваність, відтворюваність), що характеризують точність визначення власно вимірюваної величини, але й для кількісної оцінки спостережуваних розсіювань, що характеризує надійність оцінки вибіркової дисперсії і, отже, надійність зіставлення різних лабораторій за показником стабільності.

Будь-яке значення дисперсії прецизійності, отримане для даної методики випробувань, буде статистично значущим лише при достатній кількості спостережень у лабораторії та кількості лабораторій, що брали участь у їхньому виконанні. Тому проблемним питанням є визначення мінімально необхідної кількості лабораторій  $p$ , залучених до експерименту, та спостережень  $n$ , виконаних ними. Вирішення цього питання забезпечує достатність статистичних показників.

За наявності залежності варіації оцінки дисперсії  $V(s^2)$  від  $n$ , можна визначати кількість спостережень, необхідних для одержання спроможних оцінок дисперсії, тобто таких оцінок  $s^2$ , для яких дисперсія  $V(s^2)$  буде достатньо малою. Для нормованої й центрованої величини довірчий інтервал зміни нормованого вибіркового стандартного відхилення  $s$ , що охоплює 95% його значень, визначається відповідно до співвідношення:

$$P[-A < (s - \sigma) / \sigma < +A] = 0,95. \quad (1)$$

Для  $p$  лабораторій розсіювання характеризується оцінкою СКВ повторюваності, для варіації якої справедливе співвідношення:

$$V(s_r) = \frac{\sigma_w^2}{2p(n-1)}.$$

Тоді у виразі (1) параметр  $A = A_r$  і прийме значення:

$$A_r = \frac{1,96}{\sqrt{2p(n-1)}}.$$

При оцінюванні половини довірчого інтервалу, що характеризує точність оцінки стандартного відхилення при виконанні випробувань в умовах відтворюваності  $A_R$ , необхідно враховувати дисперсію повторюваності та міжлабораторну дисперсію. З урахуванням цього в виразі (1) параметр  $A = A_R$  і прийме значення:

$$A_R = 1,96 \sqrt{\left\{ p \left[ 1 + n(\gamma^2 - 1) \right]^2 + (n-1)(p-1) \right\} / \left[ 2\gamma^4 n^2 (p-1)p \right]}, \quad (2)$$

де  $\gamma = \sigma_R / \sigma_r$ .

Як правило, значення  $\gamma$  не відоме, але можна одержати попередні оцінки внутрішньолабораторних та міжлабораторних стандартних відхилень у процесі стандартизації методики випробувань.

Вираз (2) буде справедливим не тільки для дисперсії відтворюваності, але й для проміжних мір прецизійності – у всіх випадках, коли для оцінки показників прецизійності залучаються дані ряду лабораторій.

З аналізу залежності (2) випливає, що при міжлабораторному експерименті при  $p > 20$  збільшення кількості лабораторій практично не змінює невизначеність оцінок. При цьому при  $n > 2$  спостерігається незначне зменшення невизначеності. Для того, щоб невизначеність оцінок не перевищувала 15... 30%, кількість лабораторій має перебувати у інтервалі  $8 \leq p \leq 15$ . У разі залучення невеликої кількості лабораторій до спільного експерименту ( $p = 5$ ) невизначеність оцінок може сягати 60%. У кожному конкретному випадку при виборі  $p$  і  $n$  необхідно зіставляти вигреш у точності оцінок з додатковими витратами на експеримент.

Визначення достатності статистичних показників актуально не тільки при визначенні дисперсій оцінювання різних показників прецизійності, але й середніх значень для оцінки різних показників правильності [10].

Метою спільного експерименту є не тільки оцінювання зміщення методики вимірювання  $\delta$ , але й встановлення, чи є ця оцінка статистично значущою. Якщо встановлено, що  $\delta$  статистично значуща, то необхідно визначити максимальне значення  $\delta_m$ , що з певною ймовірністю могло б залишатися невиявленим у результатах експерименту. Значення  $\delta_m$  є мірою необхідної достатності вимірювального експерименту з визначення зміщення методики. Так, дисперсія загального середнього значення результатів міжлабораторних випробувань набуде вигляду:

$$\sigma^2(\bar{y}) = V(\hat{\delta}) = \frac{\left( n\sigma_R^2 - \frac{\sigma_R^2}{\gamma^2} \right) + \frac{\sigma_R^2}{\gamma^2}}{pn} = \left[ \frac{n(\gamma^2 - 1) + 1}{\gamma^2 pn} \right] \sigma_R^2. \quad (3)$$

З виразу (3) випливає, що дисперсія оцінки зміщення методики, а значить і  $\delta_m$ , залежать від дисперсії відтворюваності  $\sigma_R^2$ , параметра  $\gamma$ , а також кількості  $p$  лабораторій, що беруть участь у спільному експерименті й кількості  $n$  повторних спостережень, проведених у кожній з них в умовах повторюваності. Отже, невизначеність оцінки зміщення методики може бути представлена довірчим інтервалом:

$$P\left\{ \delta - A\sigma_R \leq \hat{\delta} \leq \delta + A\sigma_R \right\} = 0,95,$$

$$\text{де } A = 1,96 \sqrt{\frac{n(\gamma^2 - 1) + 1}{\gamma^2 pn}}.$$

Висновок про значущість отриманої оцінки  $\hat{\delta}$  залежить від взаємного розташування нуля й довірчого інтервалу на осі  $\delta$ . Оскільки в ідеальному випадку  $\delta = 0$ , то довірчий інтервал для різниці  $(\hat{\delta} - \delta)$ , що включає в себе нульове значення, свідчить про те, що при  $\alpha = 0,05$  зміщення методики статистично незначуще, інакше його варто вважати суттєвим. За аналогією вирішується завдання вибору кількості спостережень  $n$ , виконаних лабораторією при внутрішньолабораторному експерименті, що впливає на середнє значення, і спільне оброблення яких дозволяє реалізувати висунуті вимоги щодо встановлення значення  $\Delta_m$  лабораторного зміщення. Невизначеність в оцінці лабораторного зміщення при реалізації конкретної

методики випробувань також залежить від повторюваності методики  $\sigma_r$  та кількості отриманих спостережень  $n$ . Довірчий інтервал лабораторного зміщення визначається нерівністю з ймовірністю 95%

$$\hat{\Delta} - A_W \sigma_r \leq \Delta \leq \hat{\Delta} + A_W \sigma_r,$$

де  $A_W = \frac{1,96}{\sqrt{n}}$ .

У такий спосіб оцінювання лабораторного зміщення та його статистична значущість здійснюється в умовах лабораторії тільки після оцінювання статистичної значущості зміщення методики.

На питанні про достатність статистичних показників сформована ідеологія оцінювання точності результатів випробувань і визначаються основні вимоги до експериментів, що дозволяють забезпечити такі оцінки.

### VIII Внутрішній контроль якості результатів

Для підтвердження спроможності лабораторії одержувати вірогідні результати потрібно здійснювати постійний контроль процедури випробувань. Особливу роль відіграє внутрішній контроль якості результатів, що забезпечує прийнятність результатів випробувань, здійснює оперативний контроль в умовах повторюваності та при зміні умов проведення в лабораторії, тобто в умовах проміжної прецизійності. За цією інформацією контролюють стабільність процесу випробувань, і, якщо виявляються які-небудь відхилення при виконанні методики випробувань, то виробляються відповідні коригувальні дії, спрямовані на стабілізацію процесу випробувань. При оцінюванні якості випробувань виходять з того, що нормативні значення характеристик точності, встановлені в ході атестації методики, тобто при спільному міжлабораторному експерименті, відомі.

Традиційно, якщо при оцінюванні результатів випробувань умови їх виконання виконувались, робота лабораторії вважалася задовільною, і результатам випробувань приписувалася похибка, зазначена в методиці, незалежно від реальних метрологічних характеристик результату, отриманого в даній лабораторії.

У теперішній час суттєво змінюються методи контролю точності (правильності й прецизійності) результатів виконуваних випробувань. Визнання того факту, що результати випробувань, проведені в різних лабораторіях, мають метрологічні характеристики, які суттєво відрізняються, а також необхідність оцінювати й контролювати правильність і прецизійність виконуваних вимірювань не тільки на верхньому й нижньому (для прецизійності – відтворюваність і повторюваність), але й на проміжних рівнях спричиняють перегляд методології контролю.

Так, змінюються алгоритми оцінювання складових зміщення результату: визнається можливість появи вірогідних зміщень, властивих конкретній лабораторії, а не методиці.

Встановлення показників правильності в лабораторії можливе лише за наявності прийнятого опорного значення  $\mu$  для оцінюваного параметра, наприклад, із застосуванням стандартного зразка (СЗ). У такий спосіб лабораторне зміщення буде включати невизначеність стандартного зразка  $\Delta_{СЗ}$ , тому найперше, варто перевірити гіпотезу про суттєвість їхнього сумарного зміщення, використовуючи критерій Стьюдента. При цьому розраховується  $t$ -статистика:

$$t = \frac{\bar{y} - \mu}{\sqrt{\frac{A_W^2 s_W^2}{n} + \frac{\Delta_{СЗ}^2}{3}}},$$

де  $s_W^2$  – оцінка внутрішньолабораторної дисперсії.

Розраховане значення  $t$  порівнюється з критичним значенням статистики Стьюдента  $t_{кр}$ . Якщо  $|t| \leq t_{кр}$ , то сумарне зміщення не суттєве. Інакше необхідно виявляти причину великого лабораторного зміщення. Однак, при цьому варто виділити складову, внесену тільки лабораторією, застосувавши дисперсійний аналіз.

Отримана оцінка лабораторного зсуву дійсна тільки на момент проведення експерименту. Щоб довести, що лабораторне зміщення при реалізації конкретної методики вимірювань не змінюється в часі, потрібно проведення подальших регулярних вимірювань при здійсненні внутрішнього контролю якості результатів. При цьому, відповідно до [1], необхідно перевірити виконання або підтримання умов, передбачених нормативними документами. Якщо при цьому застосовувати тільки внутрішній статистичний контроль, то оцінка стану процесу випробувань з'являється через деякий час (період проведення статистичного контролю) після випробування, коли результати вже передані замовнику.

Для запобігання такій ситуації здійснюється *оперативний контроль*, який полягає у перевірці розбіжності двох чи більше результатів, одержуваних у лабораторії, стосовно припустимих норм безпосередньо при проведенні експерименту. Оцінювання прийнятності отриманих результатів (розглянуто нижче) за

допомогою оперативного контролю доцільно проводити, коли випробування проводилися, наприклад, у різний час або ж різними операторами, тобто в умовах проміжної прецизійності.

Результати, отримані при оперативному контролі, є основою накопичування статистичних даних протягом тривалого часу, тобто базою для контролю стабільності результатів випробувань у часі для оцінки її діяльності в цілому та підтвердженні лабораторією компетентності в забезпеченні якості результатів випробувань.

При *контролі стабільності* результатів замість нормативних значень можуть використовуватися результати, накопичені даною лабораторією, що не виключає періодичної оцінки відповідності реальних характеристик точності нормативним вимогам.

При «налагодженій» методиці виконання випробувань результат повторного вимірювання того самого зразка коливається біля встановленого середнього значення в межах повторюваності  $r$ . Лабораторний контроль має бути спрямований на попередження отримання невірогідності результатів через «розладнання» процедури випробування. Оскільки процедура контролю охоплює досить тривалий період часу, то може мати місце зміна оператора, заміна устаткування або його перекалібрування, та й сам час проведення є непрямим впливовим фактором, що може призвести до невиконання умов повторюваності, тому варто розглядати дотримання умов проміжної прецизійності. Контроль стабільності результатів реалізується шляхом контролю й підтримання на необхідному рівні внутрішньолабораторної прецизійності, повторюваності й правильності.

Маючи у своєму розпорядженні сукупність статистичних критеріїв, можна побудувати правило прийняття попереджувального рішення про стан лабораторного випробувального процесу, не чекаючи повного його розладнання [7].

### IX Зовнішній контроль якості результатів

Зовнішній контроль залежно від можливості використання еталонних матеріалів може здійснюватися із застосуванням, у разі їх відсутності – із залученням референтної лабораторії або при проведенні спеціально організованого для цієї мети міжлабораторного оціночного експерименту, за якого отримують найкращі результати.

У випадках, коли в лабораторії немає можливості прийняти участь у такому експерименті, наприклад, через брак коштів, неможливість довгого очікування результатів експерименту або з якихось інших важливих причин, оцінювання професійного рівня лабораторії можна робити зіставленням результатів інспектованої лабораторії з результатами референтної лабораторії, що забезпечує прийнятну прецизійність і мале лабораторне зміщення при використанні даної методики випробувань.

Вихідними є дані двох масивів: референтної лабораторії  $y_{11}, \dots, y_{1n}$  та інспектованої лабораторії  $y_{21}, \dots, y_{2n}$ , на підставі яких одержують пари значень  $\bar{y}_1, S_{W1}$  та  $\bar{y}_2, S_{W2}$ . При цьому необхідно перевірити однаковість умов при проведенні випробувань у лабораторіях, наприклад, за критерієм Фішера. Якщо розглянути дисперсії однорідні, то наявні дані можна розглядати як вибіркові значення з однієї генеральної сукупності. Потім перевіряється гіпотеза  $H_0$ : зсув результатів у лабораторіях однаковий, а розбіжність між середніми значеннями  $\bar{y}_1$  й  $\bar{y}_2$  обумовлена лише впливом випадкових величин і обмеженим обсягом даних. Тоді відповідно до критерія Стьюдента розраховується  $t$ -статистика:

$$t = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|}{s(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)} = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|}{\sqrt{s_{W1}^2(n_1 - 1) + s_{W2}^2(n_2 - 1)}} \sqrt{n_1 + n_2 - 2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

і порівнюється з її критичним значенням  $t_{кр}$ . Кількість спостережень при випробуваннях в лабораторії вибирають, виходячи з можливості з заданою ймовірністю оцінити статистичну незначущість розходжень і виявлення несуттєвості зміщення результату.

### X Оцінювання прийнятності результатів

Статистичний підхід застосовується не тільки для встановлення показників точності оцінюваних величин, для кількісної оцінки спостережуваних розсіювань їх значень, перевірки гіпотез про приналежність дисперсій та середніх до однієї генеральної сукупності, але й для оцінювання прийнятності будь-яких отриманих результатів, що спостерігається, наприклад, при валідації методик, контролі стабільності випробувального процесу, порівнянні технічного рівня лабораторій тощо.

Отримання одиничного результату випробувань не є загальноприйнятим у практиці випробувань. За результатом одного спостереження неможливе проведення статистичного аналізу щодо прийнятності даного результату відносно встановленого значення повторюваності і прийняття рішення про можливість його подальшого використання. Тому необхідним є проведення щонайменше двох спостережень, що дозволяє застосовувати процедуру оцінювання прийнятності результатів, яка полягає у необхідності введення міри, близької до критичного значення, пов'язаного з раніше встановленим і нормованим значенням СКВ

повторюваності  $\sigma_r$ . Тобто, вирішити питання прийнятності результатів дозволяють знайдені для кожного конкретного випадку межі, які не повинні перевищувати отримані результати з деякою ймовірністю.

Як припустимі границі можливого розходження між отриманими в лабораторії значеннями за умови впливу тільки випадкових величин вводять деякі критичні значення, що обмежують так званий *критичний діапазон CD*. Під критичним розуміється діапазон, у який з обраною ймовірністю (найчастіше 0,95) у припущенні нормальності генерального розподілу потраплять  $n$  результатів із цієї сукупності. В основу розрахунку критичного діапазону покладена дисперсія суми або різниці  $n$  незалежних величин з передбачуваним однаковим законом розподілу.

Якщо при перевірці прийнятності результатів вважається, що розбіжність за абсолютним значенням не перевищує відповідний критичний діапазон, то результати випробувань, отримані за умов повторюваності, є прийнятними, і за кінцевий результат приймається їх середнє значення. Якщо абсолютне значення розбіжності результатів перевищує критичний діапазон або межу, тобто умови перевірки прийнятності не виконуються, то всі результати, що призвели до такої розбіжності мають бути проаналізовані для ухвалення відповідного рішення: або вони мають бути вилучені, або випробування необхідно повторити чи доповнити. За необхідності проводять коригувальні дії.

При оцінюванні прийнятності результатів під час проведення *оперативного контролю* необхідно встановити міру можливого розходження між середніми значеннями  $\bar{y}_1$  і  $\bar{y}_2$ , отриманими в двох групах випробувань в умовах проміжної прецизійності, обумовленого лише впливом випадкових величин (якщо виконується умова повторюваності) і обмеженими обсягами вибірок  $n_1$  і  $n_2$ . У цьому випадку здійснюється оцінювання суттєвості розходження середніх значень результатів, отриманих і на підставі результатів спостережень  $n_1$  і  $n_2$  відповідно [7]. У припущенні нормального розподілу результатів спостережень у лабораторії для ймовірності  $P = 0,95$  критичний діапазон для  $|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|$  буде складати:

$$CD_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2} = 2,8\sigma_{I(\cdot)}\sqrt{\frac{1}{2n_1} + \frac{1}{2n_2}},$$

де  $\sigma_{I(\cdot)}$  – стандартне відхилення проміжної прецизійності, встановлене раніше при атестації методики.

Якщо  $|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|$  не перевищує значення  $CD_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$ , то процес проведення випробувань перебуває в межах норм. Перевищення різниці  $|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|$  критичного діапазону  $CD_{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}$  свідчить про суттєвий вплив оператора або умов проведення випробувань.

При проведенні *внутрішнього контролю* якості за наявності стандартного зразка відхилення середнього значення результатів  $\bar{y}$ , отриманих у лабораторії, від значення  $\mu_0$  характеристики СЗ буде залежати не тільки від СКВ повторюваності й кількості проведених спостережень, але й від значення  $B^\circ$  лабораторної складової зміщення. При цьому правильність результатів визначалася на підставі спільного експерименту, в якому лабораторна складова  $B^\circ$  зміщення результату вважалася випадковою величиною на множині лабораторій і характеризувалася варіацією  $Var(B^\circ) = \sigma_L^2$ .

Оскільки значення складової  $B^\circ$  може бути одним з можливих значень, то величина  $|\bar{y} - \mu_0|$  буде випадковою, що характеризується стандартним відхиленням  $\sigma_{\bar{y} - \mu_0}$ , яка крім складової  $\sigma_L^2$  залежить від кількості спостережень у лабораторії  $n$  і дисперсії повторюваності  $\sigma_r^2$ . Тоді критичний діапазон для різниці  $|\bar{y} - \mu_0|$  складає:

$$CD_{\bar{y} - \mu_0} = 1,96\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_r^2 \frac{n-1}{n}}. \quad (4)$$

Вираз (4) дозволяє оцінювати правильність одержуваних у лабораторії результатів.

Таким чином, якщо при оперативному контролі виявиться, що відповідне абсолютне розходження результатів перевищує відповідний критичний діапазон, то така різниця має підлягати додатковому аналізу, як і всі результати, що дали цю різницю.

В основу перевірки прийнятності результатів, одержуваних *різними лабораторіями*, покладено міжлабораторний оціночний експеримент, за якого встановлюється узгодженість результатів за відтворюваністю, що використовується для оцінки лабораторного зміщення кожної лабораторії [11]. Оціночний експеримент має включати попередню оцінку повторюваності кожної лабораторії, що бере участь



в експерименті. При цьому для оцінювання лабораторного зміщення розраховують дисперсію відтворюваності  $s_R^2$ , складова якої, міжлабораторна дисперсія, обчислюється як

$$s_L^2 = \frac{\left\{ \frac{1}{p-1} \left[ \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i - \bar{\bar{y}})^2 \right] - s_r^2 \right\}}{\bar{\bar{n}}};$$

$$\text{де } \bar{\bar{n}} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p n_i.$$

Оскільки  $s_L^2$  не нормується, то мірою узгодженості результатів, отриманих у різних лабораторіях, приймається відтворюваність. Тому на практиці із цією метою використовують відношення  $\frac{s_R^2}{\sigma_R^2}$ . З огляду на

те, що у  $s_R^2$  входить також і  $s_r^2$ , значення якої було попередньо оцінено, то для встановлення прийнятності отриманих результатів, використовують нерівність:

$$\frac{\bar{\bar{n}} s_L^2 + s_r^2}{\bar{\bar{n}} \sigma_L^2 + \sigma_r^2} \leq \frac{\chi_{(1-\alpha)}^2(\nu)}{\nu}. \quad (5)$$

Якщо нерівність (5) виконується, то оцінка міжлабораторної дисперсії  $s_L^2$  є прийнятною, й можна зробити висновок, що всіма лабораторіями були отримані досить точні результати, тобто їх професійний рівень однаковий у межах статистичної оцінки. Якщо нерівність (5) не виконується, то необхідно визначити лабораторію, яка має велике лабораторне зміщення (лабораторну складову зміщення  $B_i$ ), використовуючи, наприклад, статистику Грабса, і не задовольняє нормованим умовам відтворюваності. Результати відповідних лабораторій вилучають, і дисперсії оцінюють для  $(p-1)$  лабораторій, що залишилися. Якщо скоректована оцінка дисперсії  $s_L^2$  задовольняє критерію (6), то  $(p-1)$  лабораторій визнається такими, що вдало пройшли перевірку. Якщо ж ні, то знову повторюється перевірка з виявлення лабораторій, у яких умова відтворюваності не виконується.

При проведенні експерименту з *референтною лабораторією* для прийняття рішення про прийнятність результату  $\bar{y}_1$  інспектованої лабораторії стосовно результату  $\bar{y}_0$  референтної лабораторії необхідно визначити  $\sigma_{(\bar{y}_1 - \bar{y}_0)}$ , а потім установити критичний діапазон для різниці  $|\bar{y}_1 - \bar{y}_0|$ . Критичний діапазон при  $P = 0,95$  для цього випадку набуде вигляду:

$$CD_{0,95} = 1,96 \sigma_{|\bar{y}_1 - \bar{y}_0|} = \sqrt{(2,8\sigma_R)^2 - (2,8\sigma_r)^2 \left( 1 - \frac{1}{2n_1} - \frac{1}{2n_0} \right)}.$$

При оцінюванні прийнятності отриманих дисперсій повторюваності, проміжної прецизійності, відтворюваності застосовують статистичні критерії, чутливі до змін дисперсій.

Так, якщо стандартне відхилення повторюваності  $\sigma_r$  стандартної методики було раніше визначено або задано, то для оцінки суттєвості відмінності отриманої оцінки  $s_r$  від  $\sigma_r$  застосовується статистика

$$C = \frac{s_r^2}{\sigma_r^2},$$

що має розподіл  $\chi^2$  і порівнюється з  $C_{\text{крит}} = \chi_{(1-\alpha, \nu)}^2/\nu$ . Розподіл  $\chi^2$  – це розподіл суми квадратів  $\nu$  незалежних нормальних випадкових величин  $N(0,1)$ , зокрема, розподіл вибіркової дисперсії, що описує оцінки всіх показників прецизійності. Якщо  $C \leq C_{\text{крит}}$ , то розходження між  $s_r^2$  і  $\sigma_r^2$  статистично незначуще, і надалі, при оцінюванні точності методик і результатів, отриманих в лабораторіях, варто використовувати стандартне відхилення повторюваності  $\sigma_r$ . Якщо  $C > C_{\text{крит}}$ , то  $s_r^2$  суттєво більше за  $\sigma_r^2$ , тоді необхідно досліджувати причини розбіжності й, можливо, повторити експеримент.

Аналогічно можна перевірити прийнятність внутрішньолабораторної дисперсії  $S_W^2$  при оцінюванні лабораторного зміщення. Обчислену статистику  $C'' = \frac{S_W^2}{\sigma_r^2}$ , порівнюють із значенням  $C''_{кр} = \chi^2_{(1-\alpha)}(v)/v$  і

визначають прийнятність оцінки  $S_W^2$ . Якщо  $C'' \leq C''_{кр}$ , то різниця між  $S_W^2$  і  $\sigma_r^2$  є статистично незначущою, й при оцінюванні лабораторного зміщення варто використовувати стандартне відхилення повторюваності методики. У протилежному випадку можлива ситуація, за якої буде необхідно проводити повторний експеримент для того, щоб переконатися, що на кожному етапі була повністю реалізована стандартна методика, перевіряючи при цьому вплив всіх можливих змінних факторів, тобто провести експеримент по встановленню показників проміжної прецизійності всередині лабораторії.

У випадку, коли  $\sigma_r^2$  і  $\sigma_R^2$  методики були раніше визначені, то для прийнятності  $S_R^2$  варто опосередковано оцінювати її шляхом обчислення співвідношення

$$C' = \frac{S_L^2}{\sigma_L^2} = \frac{S_R^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) s_r^2}{\sigma_R^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sigma_L^2}.$$

Статистику  $C'$  порівнюють із критичним значенням  $C'_{крит} = \chi^2_{(1-\alpha, v)}/v$ . Якщо  $C' \leq C'_{крит}$ , то розходження між  $S_R^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) s_r^2$  і  $\sigma_R^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) \sigma_L^2$  статистично незначуще, і надалі нормовані значення  $\sigma_r^2$  й  $\sigma_R^2$  можуть бути використані, наприклад, для оцінки правильності результатів, отриманих при проведенні випробувань за даною методикою. Якщо  $C' > C'_{крит}$ , то необхідно проаналізувати робочі умови проведення випробувань у кожній лабораторії, тобто перейти до визначення відповідної проміжної прецизійності для оцінювання можливого впливу передбачуваного фактора.

Таким чином, зіставлення отриманих результатів засновані не на виявленні різниці між двома дисперсіями або між двома середніми значеннями, а на застосуванні критеріїв статистичної значущості, що використовують поняття приналежності результатів випробувань до одної або різних множин.

## Висновки

Для забезпечення високої якості результатів випробувань та їх порівнянності незалежно від місця та часу проведення необхідно застосовувати сучасні підходи до організації та проведення випробувального процесу, в основу яких покладено статистичні методи при:

- 1) застосуванні статистичних показників точності (правильності та прецизійності) як таких, що спроможні оцінити впливи як випадкових, так систематичних ефектів, і для оцінювання яких не потрібно встановлення причинно-наслідкових зв'язків;
- 2) використанні параметричної моделі дисперсій для оцінювання показників точності результатів в окремій лабораторії та модель компонентів дисперсій для оцінювання показників точності при оцінюванні результатів міжлабораторних експериментів;
- 3) застосуванні статистичних моделей результатів випробувань, орієнтованих на визначення різних показників точності залежно від мети та завдань, вирішуваних при оцінюванні точності отриманих результатів, що дозволяє здійснювати загальний підхід до оцінювання прецизійності та правильності результатів.
- 4) забезпеченні достатності статистичних показників для оцінювання невизначеності дисперсій повторюваності  $A_r$ , відтворюваності  $A_R$  та правильності  $A$  при проведенні випробувань;
- 5) оцінюванні однаковості впливів досліджуваних факторів у лабораторіях при аналізі проміжних показників прецизійності, що отримані із застосуванням схем повністю вкладеного та східчасто-вкладеного експериментів дисперсійного аналізу;
- 6) оцінюванні статистичної значущості показників зміщення результату;
- 7) перевірці можливої суттєвості сумарного зміщення результату та стандартного зразка через його невизначеність та при перевірці однорідності умов випробувань референтної та інспектованої лабораторій при порівнянні їхніх результатів;
- 8) оцінюванні прийнятності отриманих результатів порівняно з попередніми; результатів, отриманих у різних лабораторіях, при проведенні внутрішнього та зовнішнього контролю якості результатів, а також при проведенні процедури валідації методик випробувань.

*Література: 1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій: (ISO/IEC 17025:2001, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 32 с.*

2. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 1.1: 2001. – К.: Держстандарт України. – 2001. – 37 с. 3. Кошева Л. О. Відтворюваність – основна характеристика точності результатів випробувань / Л. О. Кошева // Електроніка та системи управління. – 2011. – №2. – С.43–48. 4. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: (ISO/IEC 5725-1:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005.– К.: Держспоживстандарт України, 2006.– 31 с. 5. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 3021:95. – К.: Держстандарт України. – 71 с. 6. Кошева Л. О. Алгоритм оцінки відповідності стандартизованої методики виконання вимірювань / Л. О. Кошева // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2009. – №4 (12). – С.94–97. 7. Володарский Е. Т. Внутрिलाбораторный контроль качества. Современные подходы / Е. Т. Володарский., Л. А. Кошечая, Н. А. Рековец // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011.– №.3(15). – С.63–68. 8. Кошечая Л. А. Статистические модели результатов измерений, используемые при проведении межлабораторных испытаний / Кошечая Л. А. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – №.2(15). – С. 63–68. 9. Володарский Е. Т., Определение показателей промежуточной прецизионности при проведении межлабораторных испытаний / Е. Т. Володарский, Л. А. Кошечая // Системи обробки інформації. – 2009. – вып.6 (80). – С.18–22. 10. Кошева Л. О. Забезпечення правильності результатів клініко-діагностичних досліджень / Л. О. Кошева, О. О. Мішина // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2009. – №3. – С. 44–49. 11. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 6. Використання значень точності на практиці: (ISO/IEC 5725-6:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-6:2005.– К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 50 с.

УДК 531/534(075.8)

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Борис Уваров, Юрий Зиньковский

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

*Анотація:* Розглянуто проблеми, що виникають при проектуванні та оптимізації радіоелектронної апаратури (РЕА) захисту інформації максимальної надійності. Її оптимізація потребує створення об'єктно-орієнтованих програм у складі системи автоматизованого проектування. Описані такі програми та демонструються результати їх застосування при проектуванні РЕА.

*Summary:* The problems arising at designing and optimization of the radioelectronic equipment (REE) of protection of the information of maximal reliability are considered. Its optimization requires creation of the object-guided programs in structure of systems of the automated designing. Such programs are described and the results of their application are shown at designing REE.

*Ключевые слова:* Средства защиты информации, оптимизация, программы автоматизированного проектирования.

### I Введение

Одной из важнейших особенностей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), используемой как средства технической защиты информации, должна быть надежность, т. к. любой отказ (неработоспособность) какой-либо структурной единицы комплекса может привести или к утечке информации во внешнюю среду, или к проникновению нежелательной информации извне в систему, где информация создается, обрабатывается, накапливается или хранится.

Характеристики надежности такой РЭА должны рассматриваться как необходимые наряду с характеристиками программных средств – в совокупности это показатели качества всего комплекса, обеспечивающего защиту информации. Все упомянутые показатели должны быть максимально высокими, а возможности и средства их достижения необходимо предусматривать уже при проектировании, на стадии создания структурной модели будущего радиоэлектронного средства.

Поэтому в методах проектирования высоконадежной РЭА системы защиты информации должны быть использованы все возможности повышения показателей ее надежности – как программного обеспечения, так и конструкции радиоэлектронных средств (РЭС) в ее составе.

### II Методы проектирования РЭС

Проектирование РЭС можно осуществить, например, структурно-оптимизационными методами, когда структурную модель представляют как систему уравнений, которая характеризует все процессы,