

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**МОНІТОРИНГ І КОНТРОЛЬ
СКЛАДНИХ СТОХАСТИЧНИХ
СИСТЕМ**

Монографія

Запоріжжя • НУ “Запорізька політехніка” • 2022

УДК 531.7
ББК 30.10
М54

*Рекомендовано до видання Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»
(протокол № 4 від 20.12.2021 року)*

Авторський колектив:

Сніжної Г.В. – вступ; розділ 1; розділ 2: п. 2.3 –2.4.

Степаненко Ю. М.–розділ 3.

Томашевський О. В.–розділ 2: п. 2.1, 2.2.

Рецензенти:

Кравченко І.Ф. – член кор. НАН України, Директор, Генеральний конструктор ДП "Івченк-Прогрес", д.т.н.;

Хімичева Г.І. –професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки Київського національного університету технологій та дизайну, д.т.н.;

Кривов Г.О. – голова правління «Український науково-дослідний інститут авіаційної технології», Генеральний директор, Заслужений діяч науки і техніки, проф., д.т.н.

М54 **Моніторинг і контроль складних стохастичних систем:**
монографія / [Сніжної Г.В., Степаненко Ю. М., Томашевський
О. В.] – Запоріжжя : Національний університет “Запорізька
політехніка”, – 2022. –136 с.

ISBN 978–617–529–166–5

Викладені наукові основи методів моніторинга та контролю складних стохастичних систем. Розглянуті, як стохастичні, технічні та технологічні системи промислового виробництва. Описані комп'ютерні технології статистичної обробки результатів контролю та моніторинга технологічних і технічних систем. Наведені приклади практичного застосування методів контролю і моніторинга для забезпечення якості наукоємкої промислової продукції. Особлива увага приділена авіаційній галузі.

Книга буде корисною фахівцям у практичній роботі забезпечення якості промислової продукції.

УДК 531.7
ББК 30.10

ISBN 978–617–529–166–5

© Г.В.Сніжної, 2022
© Ю. М. Степаненко, 2022
© О. В. Томашевський, 2022
© НУ «Запорізька політехніка»

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ВЛАСТИВОСТІ І КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДНИХ СТОХАСТИЧНИХ СИСТЕМ	6
1.1 Загальне визначення складних стохастичних систем	6
1.2 Стохастичні системи у промисловому виробництві	8
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЯ ТЕХНІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ	16
2.1 Постановка і формалізація задачі моніторинга	16
2.2 Методи моніторингу технологічних систем	22
2.3 Методи контролю у промисловому виробництві	41
2.4 Оцінки точності в системах моніторингу і контролю	55
РОЗДІЛ 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ	75
3.1 Застосування в авіадвигунобудуванні стандартів ISO 9001:2015 та AS/EN9100D:2016	75
3.2 Моніторинг, вимірювання, аналіз та оцінка результативності системи менеджменту якості	82
3.3 Статистичні методи оцінки якості ремонту авіадвигунів	99
3.4 Нормативне забезпечення якості в сучасних умовах	106
3.5 Корпоративна система нормативних документів для підприємств та організацій авіаційної промисловості України	119
ЛІТЕРАТУРА	125

ВСТУП

Спостереження і перевірка стану систем, параметри яких змінюється з часом випадково, тобто стохастичних, мають важливе значення для багатьох областей діяльності людини – і науці, техніці, економіці, у промисловості, медицині, при прогнозуванні виникнення природних катастроф і в інших.

Одним з найважливіших напрямів є застосування методів моніторингу і контролю у промисловості для забезпечення і підвищенні якості продукції, що особливо важливо, при виготовленні складної наукоємної продукції.

Для технологічних процесів виготовлення наукоємної промислової продукції характерно вплив різних контрольованих і неконтрольованих випадкових факторів, і такі процеси визначаються як стохастичні. Стохастичні властивості технологічних процесів досить різноманітні, з них особливо важливе значення мають ті властивості, що визначають якість продукції, що випускається. Технологічний процес залежать від розкиду параметрів вихідних матеріалів, впливу на стан технологічного процесу різних випадкових факторів, що мають місце при виробництві. Отже, технологічний процес відноситься до випадкових (стохастичних) і показники якості виготовленої продукції є випадковими величинами. Моніторинг технологічних процесів та контроль якості продукції виготовленої продукції потребує застосування методів статистичного аналізу і випадкових процесів.

У першому і другому розділах викладені теоретичні основи методів моніторингу і контролю. Зроблено постановка і формалізація задачі моніторингу, запропоновані методи визначення стану технологічних систем. Розглянуто і показано практичне застосування методів контролю у промисловому виробництві складної наукоємної продукції. Особлива увага приділена статистичним методам. Внесено певний вклад у теорію контролю якості продукції - зроблено аналіз виду похибок контролю, вирішена задача раціонального вибору виду контролю при вимірювання одиночного параметра і при багатопараметричному контролі.

Питанням забезпечення якості продукції авіаційної галузі на присвячений третій розділ. Розглянуто застосування в

авіадвигунобудуванні стандартів ISO 9001:2015, AS/EN9100D:2016, система нормативних документів для підприємств та організацій авіаційної промисловості України.

Видання монографії, безумовно, буде корисною фахівцям у практичній роботі впровадження методів моніторингу і контролю для забезпечення якості наукоємної продукції.

РОЗДІЛ 1 ВЛАСТИВОСТІ І КЛАСИФІКАЦІЯ СКЛАДНИХ СТОХАСТИЧНИХ СИСТЕМ

1.1 Загальне визначення складних стохастичних систем

Система (від грец. Systema - ціле, що складається з частин, з'єднання) - це сукупність взаємозалежних елементів, яка визначає деяку цілісність, єдність.

Система це, наприклад, технічне обладнання, що складається з окремих вузлів та деталей; живий організм, утворений сукупністю клітин; колектив людей, країна тощо.

У загальному випадку системи поділяються на детерміновані та стохастичні. Стохастичні системи - системи зміни в яких носять випадковий характер.

Випадкові впливи можуть прикладатися до системи ззовні або виникати всередині деяких елементів (внутрішні шуми). Дослідження систем за наявності випадкових впливів можна проводити звичайними методами, мінімізувавши крок моделювання щоб не пропустити впливу випадкових параметрів. При цьому оскільки максимальне значення випадкової величини зустрічається рідко (в основному в техніці переважає нормальний розподіл), то вибір мінімального кроку в більшості моментів часу не буде обґрунтований. Наприклад вплив на енергосистему різних користувачів.

Дослідження систем при випадкових впливах проводиться за допомогою статистичних методів. Вводяться оцінки випадкових параметрів, виконані виходячи з безлічі випробувань.

Закономірності поведінки технічної, виробничої або економічної системи можна представити сукупністю залежностей. Якщо ці залежності стохастичні, то їхній аналіз здійснюється по вибірці з генеральної сукупності, і дана область досліджень відноситься до задач статистичного дослідження залежностей, які містять у собі кореляційний, регресійний, дисперсійний та коваріаційний аналізи.

Розглянемо добре відому (застосовано, наприклад, в [9]) загальну схему взаємозв'язків вхідних, вихідних перемінних і випадкових факторів у стохастичній системі, яка носить назву «чорна шухляда» (рис.1.1).

У «чорній шухляді» реалізується механізм перетворення вхідних перемінних у вихідні (відгук).

x_j – *вхідні перемінні*, що описують умови функціонування реальної системи (деякі з них можуть бути піддані регулюванню), ці перемінні часто називають *незалежними*;

$\varepsilon^{(i)}, i = \overline{1, n}$ – *випадкові (неконтрольовані) фактори*, вплив яких на $y^{(i)}$ важко врахувати (виміряти);

$y^{(i)}, i = \overline{1, n}$ – *вихідні перемінні (відгуки)*, що характеризують результат функціонування системи (об'єкта).

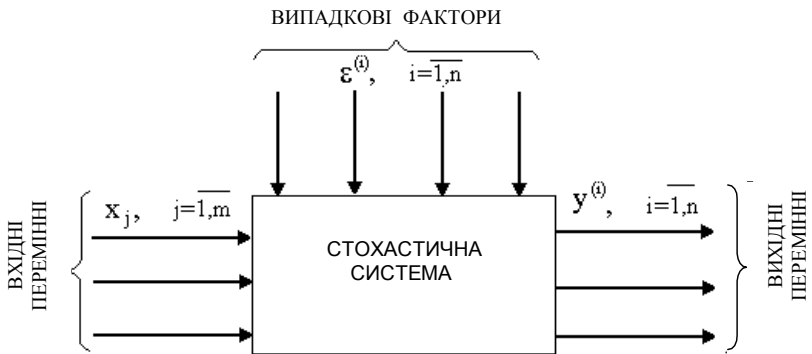


Рисунок 1.1 - Загальна схема взаємозв'язку параметрів при статистичному дослідженні залежностей

Усе це задачі кореляційного аналізу. Для визначення сили (ступеня тісноти) парних зв'язків між кількісними перемінними використовують *коефіцієнт кореляції* (іноді використовують термін “коефіцієнт кореляції Пірсона”), *кореляційне відношення*. Іноді використовують *частковий коефіцієнт кореляції*, застосовуваний для дослідження часток, “очищених” зв'язків, звільнених від опосередкованого одночасного впливу на досліджуваний парний зв'язок інших перемінних.

Якщо статистична інформація про багатомірну ознаку представлена не в кількісній, а в порядковій шкалі, то вимір парних зв'язків здійснюється за допомогою *рангових вибіркових показників ступеня тісноти зв'язку – коефіцієнтів кореляції Кендалла і Спірмена*.

Визначення ступеня тісноти множинного зв'язку між кількісними перемінними можливе за допомогою *множинного коефіцієнта кореляції* (чи *коефіцієнта детермінації*).

1.2 Стохастичні системи у промисловому виробництві

Дослідження реальних виробничих систем засноване на аналізі інформації про змінні, що характеризують систему. Змінні, пов'язані з системою, можна розділити на вхідні та вихідні. Вхідні змінні можуть бути керованими та некерованими. Некеровані змінні поділяються на внутрішньо і зовнішні і бувають спостерігаються і не спостерігаються. Стан системи характеризується вихідними змінними, які часто називають параметрами стану. Параметри стану залежить від вхідних змінних. Для багатьох реальних систем частина вхідних змінних змінюється випадковим чином і стан системи для будь-якого часу передбачити не можна. Такі системи, як відомо, відносяться до стохастичних.

Стохастичні системи, для яких зміна будь-якої вхідної змінної викликає зміну багатьох вихідних змінних визначається як складні стохастичні системи (ССС).

Системою дослідження цієї роботи є термічні операції технологічних процесів напівпровідникового виробництва, що розглядаються як СССР.

Розглянемо виробничі системи на прикладі виготовлення такої наукоємної продукції, як напівпровідникові прилади. Технологічні процеси виготовлення напівпровідникових приладів складаються з великої кількості різномірних за характером технологічних операцій, що відрізняються за своїм впливом на якість кінцевого продукту.

Наприклад [6,8], під час виробництва структур для інтегральних мікросхем (ІМС) технологічний маршрут включає близько 200 операцій. Особливістю технологічних процесів напівпровідникового виробництва є базових операцій. До базових відносяться операції, що надають найбільш істотний вплив на показники якості готового виробу. Для напівпровідникового виробництва базовими є такі термічні операції, як дифузія, високотемпературне окиснення та сплавлення.

Операції дифузії та високотемпературного окиснення проводять у дифузійних електропечах. У нагрівальній камері електропечі розміщений трубчастий кварцовий реактор. Оброблювані пластини на спеціальній кварцовій підставці - човнику вводять у зону з високою рівномірністю температури, отриманої в реакторі кварцовому. Після прогрівання пластин і човна в реактор подають регульований потік парогазової суміші, який переміщаючись вздовж реактора, омиває послідовно поверхню оброблюваних пластин. Залежно від складу суміші, що подається, на поверхні пластин протікають необхідні дифузійні або окислювальні процеси. Після заданого часу термообробки подачу парогазової суміші припиняють і човник із пластинами вилучають із реактора. Операції дифузії та високотемпературного окиснення характеризуються поверхневим опором, товщиною шарів та коефіцієнтом посилення одержуваних структур. Операція сплавлення спрямовано отримання р-n переходу методом сплавлення. У графітові касети завантажуються кристали напівпровідникового матеріалу, утримувач та олов'яне кільце.

При нагріванні олов'яне кільце розплавляється і кристали припаюються до тримача. Для отримання р-n-р (n-p-n) структури в касети завантажують емітерний та колекторний електроди. Зазвичай, сплавлення емітера та колектора проводять окремо. Сплавлення проводиться у дванадцятизонній конвеєрній печі безперервної дії. Безперервний потік завантажених касет переміщається каналом печі. Температурний режим касет залежить від розподілу температур по довжині каналу, швидкості конвеєра та температури навколишнього середовища. Операція сплавлення, як правило, характеризується коефіцієнтом посилення струму отриманої транзисторної структури.

Розглянуті термічні операції типові для напівпровідникового виробництва.

Точність та стабільність технологічної операції, її стан у будь-який момент часу визначаються на основі обробки статистичними методами результатів вимірювань контрольованих показників якості виробів, що отримуються. Показники якості є вихідними змінними технологічними операціями. До вхідних змінних технологічної операції

відносяться параметри технологічних режимів, показники якості вихідних матеріалів і деталей, параметри обладнання та навколишнього середовища, рівень кваліфікації виконавців. Для розглянутих термічних операцій до контрольованих змінних слід віднести параметри технологічних режимів та навколишнього середовища та деякі показники якості вихідних матеріалів, інші вхідні змінні практично неконтрольовані. Показники якості, що характеризують термічні операції, схильні до сильного впливу вхідних змінних, що викликає випадкову та невідповідну похибку цих показників та їх низьку відтворюваність. Показники якості є випадковими функціями часу і при фіксованих значеннях змінних їх тимчасові послідовності відображають вплив неконтрольованих змінних. Під впливом неконтрольованих змінних з часом може змінюватися вид функцій розподілів або, що найчастіше зустрічається, змінюються статистичні параметри розподілу показників якості, які мають, як правило, нормальний розподіл.

Нормальний розподіл, як добре відомо, має місце, коли на контрольований показник якості діє велика кількість різноманітних змінних і ступінь впливу кожної їх мала в порівнянні з їх числом. За наявності переважаючого впливу будь-якої однієї змінної але в порівнянні з іншими має місце гамма-розподіл. Наприклад, зворотні струми транзистора, струми витоку ІМС залежать від об'ємного питомого опору, геометричних розмірів одержуваних структур та порівняно невеликі коливання цих величин призводять до лавинних струмів. Проведене авторами дослідження виробничих розподілів контрольованих показників якості термічних операцій показало, що коефіцієнт посилення струму на високій частоті, гранична частота посилення для різних типів сплавних транзисторів і поверхневий опір пластин на різних операціях технологічного процесу виробництва ІМС підпорядковуються нормальному закону, а такі показники якості струми транзисторів, коефіцієнт посилення, струми витоку, вхідні та вихідні струми деяких типів ІС виявляють гарну згоду з гамма-розподілом.

Досліджувалися виробничі розподіли показників якості операції "Сплавлення" технологічних процесів виробництва транзисторів малої та середньої потужності. Для розподілу

коефіцієнта посилення, що замірюється після операції "сплавлення" при виробництві сплавних малопотужних транзисторів, згідно з нормальним законом підтверджується з довірчою ймовірністю 0,95 критерій Колмогорова $\lambda=0,72$ критерій Мізеса-Смирнова $hw_2=0,13$. Гіпотеза про нормальний закон для розподілу граничної частоти посилення, що замірюється після сплавлення при виробництві транзисторів середньої потужності, так само підтверджується з довірчою ймовірністю 0,95 критерій $\lambda=0,36$ критерій $hw_2=0,1091$ При дослідженні виробничих розподілів структур біполярних ІМС отримано, що виробничий розподіл поверхневого опору R_s узгоджується з нормальним законом (критерій $\lambda=1,073$, $hw_2=0,0298$) і для розподілу коефіцієнта посилення гіпотеза про гамма-розподіл підтверджується з довірчою ймовірністю 0,94. З викладеного можна зробити висновок, що розподіл більшості показників якості транзисторів та ІМС узгоджуються з нормальним або з гамма розподілами.

Вхідні змінні, що викликають розкид контрольованих показників якості, можна розділити на залежні і незалежні від часу. Якщо відтворюваність технологічної операції характеризувати дисперсією відтворюваності S^2 контрольованого показника якості, то дисперсію S^2 можна розкласти на дві складові: дисперсію $S^2(A)$, що залежить від часу і дисперсію $S^2(W)$, не залежну від часу. Слід зазначити, що набір статистичного матеріалу для розкладання дисперсії відтворюваності S^2 досить нескладний через використання при виробництві групових методів. Дисперсія $S^2(A)$, характеризує розкид між середніми оброблюваних спільно виробів, що проходять в різний час через цю операцію. Для розкладання дисперсії відтворюваності S^2 на $S^2(A)$, і $S^2(W)$, можна скористатися класичною схемою однофакторного дисперсійного аналізу [9]. Розкладання відтворюваності на складові, отримане для дослідження технологічних процесів виробництва транзисторів.

Результати досліджень для транзисторів типу ТМ-5, П210 зведені в таблицю 1.1.

Результати розкладання дисперсії S^2 на складові методом
однофакторного дисперсійного аналізу

Таблиця 1.1

Тип транзистора	Показник якості x_{ij}	Кількість партій t	Обсяг вибірки n_i	S^2 (A)	S^2 (W)
ТМ-5	h_{21E}	8	30	28 3.7	149 6.9
П210	I_{CB0}	24	50	1. 46	4.3 7
	U_α	24	50	3. 92	20. 18

З таблиці 1.1 видно, що дисперсія S_A^2 становить приблизно 15-20% від дисперсії S^2 .

Отримані з допомогою дисперсійного аналізу результати вказують на залежність від часу (нестационарність) середніх вибіркових контрольованих показників якості. Особливості нестационарності можна з'ясувати, скориставшись теорією випадкових процесів.

Тимчасова послідовність контрольованих показників якості або їх статистичних характеристик можна розглядати як часовий ряд. Як відомо [3], найбільш загальною моделлю для опису стаціонарних і нестационарних часових рядів є модель авто регресії-проінтегрованого ковзного середнього (АРПСС) порядку (p, d, q) :

$$\omega_t = \phi_1 \omega_{t-1} + \dots + \phi_p \omega_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (1.1)$$

У виразі (1.1) використані такі позначення:

- $\omega_t = \nabla^d Z_t$; де Z_t значення часового ряду

- ∇^d - різницевий оператор зсуву назад на порядок

d , наприклад, при $d=1$ отримаємо $\omega_t = \nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$;

- $\phi_1, \dots, \phi_p, \Theta_1 \dots \Theta_q$ - параметри моделі;
- a_t - випадкова складова з математичним

очікуванням $\mu=0$ та дисперсією $\sigma^2=1$.

Зі змішаної моделі (1.1) можна отримати і модель авторегресії при $\Theta_1=\Theta_2=\dots=\Theta_q=0$ та модель ковзного середнього, при $\phi_1=\phi_2=\dots=\phi_p=0$. Часові ряди, що характеризують технологічні операції, мають ту особливість, що їх середній рівень може зрушуватися під впливом вхідних змінних, але окремі їхні ділянки будуть стаціонарні. Бокс і Дженкінс [3] запропонували називати такі ряди однорідними нестационарними. Моделю однорідних нестационарних рядів є модель ковзного середнього порядку (0, 1,1). Вигляд та параметри моделі можна оцінити за вибірковими автокореляціями. На рис. 1.2 представлені вибіркові автокореляції r_k для часового ряду, що складається з середніх вибіркових коефіцієнта посилення h_{21E} , що замірюється після операції "сплавлення" при виготовленні сплавних транзисторів.

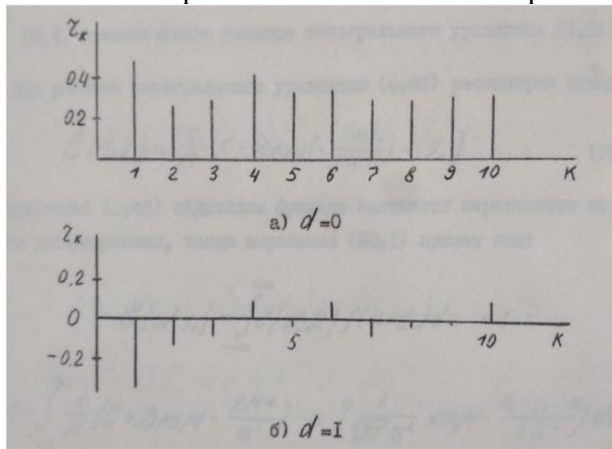


Рис.1.2 Вибіркові автокореляції r_k часового ряду коефіцієнта посилення h_{21E} сплавних транзисторів

При $d=0$ вибіркові автокореляції r_k є типовими для нестационарного процесу. Вигляд r_k при $d=1$ дозволяє класифікувати досліджуваний як нестационарний однорідний. Значне значення $r_k = -0,357$ (при $r_{крит.}=0,273$) вийшло лише при

$k=1$. Середні розраховані для однорідних ділянок часового ряду змінюються на значну величину (Табл. 1.2)

Порівняння середніх для однорідних ділянок часового ряду

Таблиця 1.2

День	x	s	μ	$t_{розр.}$	$t_{крит.}$
1	0,678	0,033	0,7065	3,013	1,96
2	0,701	0,028		0,713	
3	0,717	0,022		1,913	
4	0,740	0,027		5,265	
5	0,692	0,025		2,626	

Отримані вибіркові автокореляції та характер зміни рівня налаштування є типовими для термічних операцій технологічних процесів напівпровідникового виробництва. Отже, зміни стану аналізованих термічних операцій відбивається зміною статистичних характеристик контрольованих показників якості.

Залежність показників якості від вхідних змінних є досить складною. З фізичної сутності явищ сплавлення і дифузії [6] можна зробити висновок, що зміна кількох показників якості може викликатися зміною однієї вхідної зміною. Наприклад, зміна максимальної температури сплавлення викликає зміну мінімальної товщини бази і, як наслідок, змінюються коефіцієнти посилення на низькій і високій частоті, граничний коефіцієнт підсилення, плаваючий потенціал. Для ідентифікації термічних операцій необхідно використовувати досить складні динамічні математичні моделі, в яких однаковий набір вхідних змінних зв'язується з різними показниками якості.

Виходячи зі стохастичного характеру та складності зв'язків, вхідних та вихідних змінних термічні операції можна віднести до ССС. Для параметра стану термічних операцій притаманні такі особливості:

- параметр стану є випадковим вектором із відомою функцією розподілу;
- типові функції розподілу параметра стану - це нормальний або гамма розподілу;
- під впливом неконтрольованих факторів рівень налаштування операції повільно флукутує.

Багато реальних систем у техніці та промисловості можуть бути віднесені до ССС і мають властивості, подібні до розглянутих для термічних операцій. Оцінку стану ССС необхідно проводити при автоматичному управлінні процесами, при вирішенні задач прогнозування стану доквілля, у медицині (де ССС є людина), при моніторингу технологічних процесів та в багатьох інших галузях.

Визначаючи стан ССС, висуваються гіпотези, у яких зміна стану пов'язують із зміною виду чи параметрів функції розподілу вихідних змінних. Для перевірки висунутих гіпотез застосовуються різні методи статистичного аналізу.

Зазначимо, що основою для визначення стану ССС є моніторинг її параметрів стану.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЯ ТЕХНІЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Постановка і формалізація задачі моніторингу

Об'єктом дослідження є складні стохастичні системи, стан яких контролюється скалярним параметром стану x з відомою функцією розподілу $F(x, \Theta_1, \dots, \Theta_q)$. Передбачається, що об'єкт дослідження має такі властивості:

- вибіркові спостереження x_1, x_2, \dots, x_n незалежні;
- у довільний час змінюється одні з параметрів розподілу $F(x, \Theta_1, \dots, \Theta_q)$ при незмінності інших параметрів;
- розподіл моментів часу зміни параметра розподілу $F(x, \Theta_1, \dots, \Theta_q)$ невідомо;

Проміжки часу між спостереженнями можуть бути різними.

Зміна стану об'єкта, що спостерігається, виявляється по зміні деякого параметра Θ_l від значення Θ_{l0} до Θ_{l1} . Необхідно виходячи з вибірових спостережень $x_1, x_2, \dots, x_k, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ перевірити нульову гіпотезу про те, що x_1, x_2, \dots, x_k , взяті з сукупності з функцією розподілу $F(x, \Theta_{l0})$, проти альтернативною, що полягає в тому, що спостереження $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ належать сукупності із $F(x, \Theta_{l1})$. Це завдання називається завданням виявлення зміни параметра функції розподілу послідовних спостережень, або задачею про «розладку».

«Розладка» (розлагодження) відбувається у випадкові моменти часу і виявляється за результатами періодичних спостережень, як правило, із ймовірністю менше одиниці. Оцінка своєчасності та достовірності виявлення розладки має важливе прикладне значення. У промисловості необхідно в найкоротші терміни при найменших витратах виявляти розлад технологічних процесів. Своєчасно потрібно виявляти зміну стану різних процесів у метеорології, біології, медицині та інших галузях науки та техніки.

Один з методів виявлення розладки є послідовна процедура перевірки гіпотез про параметри функції розподілу $F(X, \Theta)$, що спостерігається через певні проміжки часу випадкової величини X , що характеризує стан процесу. Суть цього методу полягає в тому, що за вибірковими значеннями x_1, \dots, x_n , отриманих в

момент часу t_k , $k=1, \dots, n$ утворюються кумулятивні суми $Z_n = y_1, \dots, y_n$, де y - випадкові величини функціонально пов'язані з X, Θ . Вид функціональної залежності $y(X, \Theta)$ визначається при виведенні послідовного критерію. Утворення сум триває доти, доки вперше не буде отримано значення $Z_n \geq U$ або $Z_n \geq l$, де U, l – межі, які є функціями помилок першого та другого роду. Якщо межі обрані так, що при налагодженому процесі ймовірність $Z_n \leq l$, а при налагодженому ймовірність $Z_n > U$ близькі до одиниці, то при досягненні кумулятивної сумою межі l , освіта цієї суми припиняється і починається освіту нової суми; при досягненні кумулятивною сумою кордону U приймається рішення про наявність розладки.

Ефективність методів виявлення розладу визначається середньою довжиною серії (СДС), тобто. математичним очікуванням числа вибірок, необхідних виявлення розладки, і оперативної характеристикою, тобто. ймовірністю правильного висновку про налагоджений стан процесу. Завдання про розлад має багато спільного з послідовним аналізом Вальда [5].

Розглянемо випадок, коли розладка настає миттєво внаслідок зміни одного параметра Θ , за сталості інших параметрів і при незмінному законі розподілу. Нехай у налагодженому стані $\Theta = \Theta_0$, у розладженому $\Theta = \Theta_1$ і за зміни параметра Θ від Θ_0 до Θ_1 відбувається розладка у випадковий момент часу t_p . Для перевірки гіпотези про зміну параметра використовується послідовність вибірових спостережень x_1, x_2, \dots, x_n . Час від початку спостережень до i -го спостереження визначається як $t_i = iT$, де періодичність взяття вибірки. Нехай m -число вибірок взятих до t_p . Якщо різниця $\Delta t = t_p - t_m$ відмінна від нуля, то величиною Δt нехтуємо і вважаємо, що розладка настала в момент t_m . Сигнал виявлення розладки визначається моментом досягнення кумулятивною сумою Z_n межі U . Час запізнення виявлення розладки $r = t_n - t_m$. Висновок про налагоджений стан проводиться у разі $Z_n \leq l$. Проте межа l може бути перетнута при $\Theta = \Theta_1$, тобто. висновок про налагоджений стан буде хибним. Імовірність помилкового висновку про розлад називається ризиком непоміченої розладки і збігається з оперативною характеристикою $P(\Theta)$.

Для вирішення поставленої задачі можна використати послідовний критерій відношення ймовірностей [5]. Утворення

послідовного критерію відношення ймовірностей призводить до кумулятивних сум, і перевірка гіпотез за допомогою послідовного критерію називається методом кумулятивних сум. Вибір методу кумулятивних сум для вирішення поставленого завдання обумовлений тим, що цей метод задовольняє припущенням про об'єкт дослідження і послідовний критерій неважко вивести для перевірки гіпотез щодо параметрів нормального розподілу. Процедура набору кумулятивної суми аналогічна процесу випадкового блукання броунівської частинки між двома поглинаючими екранами, при цьому кумулятивна сума буде описуватися траєкторією випадкового блукання.

Аналізуючи роботи, присвячені методу кумулятивних сум, що узагальнено викладено в [22], можна виділити два основні методи дослідження.

- метод інтегральних рівнянь;
- апроксимація кумулятивних сум вінеровським процесом.

Метод інтегральних рівнянь має ту перевагу, що може бути використаний для будь-яких функцій розподілу. Інтегральні рівняння описують випадкове блукання між двома поглинаючими екранами. Апроксимація кумулятивних сум вінерівським процесом має ту перевагу, що дозволяє вивчати розподіли часів першого досягнення заданих меж.

Позначимо вимірюваний параметр стану як x і припустимо, що x підкоряється нормальному закону розподілу $N(x, \mu, \sigma)$, де μ, σ - параметри розподілу - математичне очікування і середнє квадратичне відхилення, відповідно. Вважається, що технологічний процес знаходиться в налагодженому стані, якщо результати вимірювання x_1, x_2, x_3, \dots можна віднести до нормальної генеральної сукупності з параметрами μ_0, σ_0 . Розлагоджений стан процесу визначається змінюванням параметра μ до значення μ_1 .

Суть методу кумулятивних сум методу полягає в тому, що за вибірковими значеннями x_1, \dots, x_n , отриманими у момент часу $t_k, k=1, \dots, n$ утворюються кумулятивні суми

$$z_n = (\delta / \sigma) \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0 + \delta \sigma / 2) \quad (2.1),$$

$$\text{де } \delta = (\mu_1 - \mu_0) / \sigma.$$

Утворення сум продовжується доти, поки вперше не буде отримане значення $z_n \leq 0$ чи $z_n \geq h$, де h – верхня межа регулювання, а нижня прийнята за 0.

Для гамма-розподілу $G(x, a, b, c)$ послідовна перевірка гіпотез щодо параметрів a, b, c призводить до кумулятивних сум:

$$z_n = \sum_{i=1}^n \left[b \cdot \ln \left(\frac{a_0}{a_1} \right) + \left(\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a_1} \right) \cdot (x_i - c) \right]$$

$$z_n = \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{\Gamma(b_0)}{\Gamma(b_1)} \right) + (b_1 - b_0) \cdot \ln \left[\frac{(x_i - c)}{a} \right] \right]$$

$$z_n = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(c_1 - c_2)}{a} + (b - 1) \cdot \ln \left[\frac{(x_i - c_0)}{(x_i - c_1)} \right] \right]$$

Процедура набору кумулятивної суми аналогічна процесу випадкового блукання броунівської частинки між двома поглинаючими екранами, при цьому кумулятивна сума буде описуватися траєкторією випадкового блукання.

Розглянемо випадкове блукання частинки в інтервалі $[0, h]$, вважаючи, що на межах інтервалів розташовані поглинаючі екрани.

Позначимо:

N – мінімальне число кроків до поглинання, при якому $z_n \leq 0$ чи $z_n \geq h$;

$E \{N, z_0\}$ – математичне очікування величини N ;

$P(z_0)$ – імовірність того, що $z_n \leq 0$.

Неважко бачити, що $E \{N, z_0\}$ – математичне очікування числа кроків при блуканні частинки до поглинання, що відповідає числу вибірок до одержання сигналу про розлагодження. У випадку, якщо параметри функції розподілу $F(x)$ відповідають налагодженому стану технологічного процесу, $E \{N, z_0\} = L_0$.

У теорії випадкових блукань за допомогою формули повної ймовірності і методу індукції показано, що $E\{N, z_0\}$ і $P(z_0)$ визначаються інтегральними рівняннями:

$$E\{N, z_0\} = 1 + \int_0^h E\{N, u\} dF(u - z_0) \quad (2.2)$$

$$P(z_0) = F(z_0) + \int_0^h P(u) dF(u - z_0) \quad (2.3)$$

Інтегральні рівняння (2.2) і (2.3) відносяться до неоднорідних інтегральних рівнянь Фредгольма 2-го роду. У загальному виді рівняння (2.2) і (2.3) аналітичного розв'язку не мають. Зробимо наступне.

Доповнимо рівняння (2.2) граничними умовами:

$$\begin{aligned} E\{N, z_0 \leq 0\} &= 0, \\ E\{N, z_0 \geq h\} &= 0. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Такі граничні умови відповідають поміщенню на межі 0 і h поглинаючих екранів. Рівняння (2.2) з урахуванням граничних умов перетвориться до вигляду:

$$E\{N, z_0\} = 1 + \int_{-\infty}^{\infty} E\{N, u\} dF(u - z_0) \quad (2.5)$$

Ввівши аналогічні граничні умови $P(0) = 1$ і $P(h) = 0$, одержимо інтегральне рівняння, що описує ймовірність першого виходу траєкторій за нижню межу:

$$P(z_0) = F(z_0) + \int_{-\infty}^{\infty} P(u) dF(u - z_0) \quad (2.6)$$

Якщо $F(x)$ – функція нормального розподілу з параметрами μ , σ , то аналітичний розв'язок інтегрального рівняння (2.2) має вигляд:

$$E\{N, z_0\} = (1/\mu)(C + D \exp(-2\mu z_0 / \sigma^2) - z_0), \quad (2.7)$$

де C і D – постійні величини. У [22] показано, що

$$D = h / \exp(-2\mu z_0 / \sigma^2) - 1; \quad C = -D.$$

При налагодженому стані процесу $\mu = \mu_0$, а при розлагодженому - $\mu = \mu_1$. Отже, на підставі рівняння (2.7) можна оцінити величини середньої довжини серії вибірок налагодженого процесу L_0 і середньої довжини серії вибірок розлагодженого процесу L_1 . Величини L_0 і L_1 є критеріями, які визначають ефективність виявлення розлагодження.

Ефективний контроль за станом складних стохастичних об'єктів досягається використанням оптимальних схем контролю. Оптимальність схеми полягає у виявленні «розладки» в найкоротший час після її виникнення з мінімальним числом «хибних» тривог з початку спостережень та при заданих ризиках зайвого налаштування а та непоміченого «розладки» в. Для оцінки ефективності статистичних методів виявлення розладки використовується СДС. Для схеми «два поглинаючих екрана» СДС обчислюється за допомогою функції математичного очікування числа спостережень до досягнення будь-якої із заданих меж $E(n, Q)$ та оперативної характеристики $P(Q)$. Для схеми «один поглинаючий екран» СДС збігається з функцією $E(n, Q)$. На основі функції $E(n, Q)$ та оперативної характеристики $P(Q)$ розробляються вирішальні правила схеми контролю. При заданій процедурі утворення кумулятивних сум розв'язання задачі про «розладку» зводиться до визначення функції середньої кількості спостережень та оперативної характеристики $P(Q)$.

2.2 Методи моніторингу технологічних систем

Ефективним засобом підвищення якості промислової продукції є статистичне регулювання технологічних процесів.

Технологічний процес забезпечує власна технологічна система, яка структурно є частиною технологічної системи виробничого процесу. Технологічна система (ТС), як і будь-яка інша, має свою структуру і володіє певними властивостями. Основним завданням ТС є забезпечення випуску продукції із заданими показниками якості і ритму при збереженні необхідних умов виробництва.

Стан технологічного процесу визначається вихідними змінними, котрі часто називають параметрами стану (ПС). Наприклад, при виготовленні інтегрованих мікросхем (ІМС) такими параметрами можуть бути результати вимірювань різних електрофізичних властивостей чи електричних параметрів на тестових комірках. ПС технологічних процесів є випадковими функціями часу і при фіксованих значеннях контрольованих змінних їхні часові послідовності відбивають вплив неконтрольованих змінних. Під впливом неконтрольованих змінних згодом може мінятися вигляд функцій розподілу ПС чи, що найбільше часто зустрічається, змінюються статистичні параметри розподілів ПС. Кожна з цих змін указує на виникнення розлагодження технологічного процесу.

Позначимо:

x – вхідні змінні, що визначають «попередню історію» реальної системи;

y – вихідні змінні (показники якості виробів, що випускаються);

ε – випадкові (неконтрольовані) чинники, вплив яких на y важко врахувати (зімряти);

w – зовнішні дії, що управляють.

У загальному випадку, $y=y(x, \omega, \varepsilon, t)$ – це багатовимірна динамічна характеристика стану технологічної операції, залежна від сукупності вхідних змінних x , що відображає вплив різних технологічних чинників і факторів ω , що здійснюють управління, випадкових чинників ε і часу t . Величини x , ε , ω – також, багатовимірні величини, Оскільки, процедура статистичного регулювання однакова для будь-якого показника

того, що складається з складових всю сукупність y , надалі обмежимося одновимірним випадком. Розглядатимемо один вихідний показник стану, який позначимо у і одну керуючу дію ω . Вплив на показник у випадкових чинників ε обумовлюють випадковий динамічний характер зміни величини у.

Таким чином, показник стану технологічної операції у розглядається як випадкова величина, основною характеристикою якої є розподіл вірогідності її значень $F(y, \theta)$.

Припустимо: вибірккові спостереження незалежні; у довільний момент часу змінюється одні з параметрів розподілу при незмінності решти параметрів; проміжки часу між спостереженнями можуть бути неоднакові.

Зміна стану спостережуваного об'єкту виявляється по зміні деякого параметра розподілу θ від значення θ_0 до θ_1 . Необхідно, виходячи з вибірккових спостережень $y_1, y_2 \dots y_n, y_{n+1}, y_{n+2} \dots y_m$ перевірити нульову гіпотезу про те, що $y_1, y_2 \dots y_n$ узяті з сукупності з функцією розподілу $F(y, \theta_0)$, проти альтернативної, такої, що полягає в тому, що спостереження $y_1, y_2 \dots y_n$ належать сукупності з $F(y, \theta_0)$, а спостереження $y_{n+1}, y_{n+2} \dots y_m$ – сукупності з $F(y, \theta_1)$. Це завдання можна визначити завданням виявлення зміни параметра функції розподілу послідовних спостережень або завданням про «розладнання» технологічної операції.

Таким чином, $F(y, \theta_0)$ розподіл показників стан технологічної операції до «розладнання», $F(y, \theta_1)$ – розподіл показник після «розладнання».

Постановка завдання про «розладнання» технологічної операції приводить до формулювання гіпотез:

H_0 – процес знаходиться в налагодженому стані, «розладнання» відсутнє, $H_0: F(y, \theta) = F(y, \theta_0)$;

H_1 – процес вийшов з налагодженому стані, виникло «розладнання», $H_1: F(y, \theta) = F(y, \theta_1)$.

Рішення про стан технологічного процесу звичайно приймають по обмеженій вибірці. Оскільки процес зміни ПС є випадковим, то по одній його реалізації неможливо безпомилково виділити сигнал і у зв'язку з цим можуть бути помилки двох родів:

- за статистичною оцінкою ухвалено рішення про розладнання процесу, тоді як процес не розладнаний, ризиком

зайвого налагодження називається ймовірність α того, що по статистичній оцінці параметрів технологічного процесу буде ухвалено рішення зробити чергове настроювання, коли в ній немає необхідності.

- за статистичною оцінкою ухвалено рішення про те, що процес налагоджений, коли насправді наступило його розладнання, ризиком непоміченого розладнання називається ймовірність β того, що по статистичній оцінці параметрів технологічного процесу буде ухвалено рішення не робити настроювання, коли вона в дійсності необхідна.

Разом з величинами α і β для оцінки різних методів і схем статистичного регулювання технологічних процесів використовують поняття середньої довжини серії для налагодженого і розладнаного процесів.

Під середньою довжиною серії налагодженого процесу розуміють середнє число вибірок між налатками технологічного процесу при незмінному значенні математичного очікування контрольованого параметра. Під середньою довжиною серії розладнаного процесу розуміють середнє число вибірок, необхідне для виявлення розладнання процесу. Середні довжини серії є функціями ризиків α і β . У разі, коли математичне очікування контрольованого параметра відповідає значенню для налагодженого процесу, середнім довжина серії визначається тривалістю до появи помилкового сигналу розладнання, ведучого до зайвої наладки. Тому бажано мати, по можливості, велику середню довжину серії. Коли ж математичне очікування контрольованого параметра відповідає його значенню для розладнаного процесу, середня довжина серії представляє запізнювання у виявленні розладнання процесу, а отже, бажано мати мінімальну середню довжину серії.

Для того, щоб проводити правильну статистичну оцінку стану технологічного процесу з мінімальними ризиками зайвої наладки і непоміченого розладнання, необхідно виробити ефективні правила збору н обробки статистичних даних про контрольовані параметри в процесі виробництва.

Таким чином, необхідно, на фоні неусувного розсіювання параметра виявити сигнал про розладнання технологічного процесу або про зниження рівня якості нижче допустимої. Це і визначається як задача статистичного

регулювання технологічних процесів.

Статистичне регулювання технологічного процесу (СРТП) - коректування параметрів технологічного процесу в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю продукції, що виготовляється, для технологічного забезпечення необхідної якості і попередження браку. Методи статистичного регулювання якості продукції дозволяють різко скоротити брак в процесі виробництва. Ці методи відрізняються простотою і наочністю, їх застосування супроводжується веденням контрольних карт, на яких графічно відображають результати контролю. Контрольна карта служить для графічного відображення рівня настройки і точності процесу.

Контрольна карта складається із центральної лінії, контрольних границь, по одному над і під центральною лінією, і значень параметрів (показників якості), нанесених на карту для представлення стану технологічного процесу. Якщо всі значення параметрів виявляються усередині контрольних границь, не виявляючи якихось особливостей у розташуванні, то процес вважається контрольованим (рис. 1а). Якщо ж, навпроти, вони потраплять за контрольні границі або виявлять якісь особливості в розташуванні, то процес вважається таким, що вийшов з-під контролю (рис. 2.1).

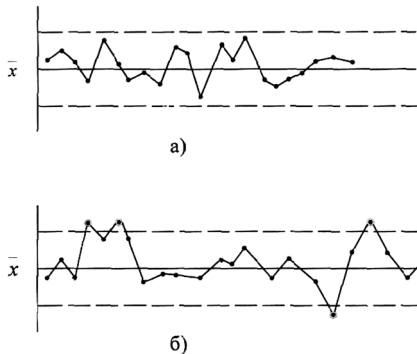


Рис.2.1 - Приклади контрольних карт:
а- процес вважається контрольованим,
б - процес вважається таким, що вийшов з-під контролю.

На контрольну карту заздалегідь наносять середню лінію

і границі регулювання. Границями регулювання називають лінії на контрольній карті, що обмежують допустимі відхилення регульованої статистичної характеристики у вибірках або пробах.

Вихід регульованої статистичної характеристики за границю регулювання на контрольній карті є сигналом про розладнання технологічного процесу і необхідності його підналадки.

Задача СРТП полягає в тому, щоб на підставі результатів періодичного контролю вибірок малого об'єму доходити висновку: "процес налагоджений" або "процес розладнений".

Виявлення розладнання технологічного процесу засновано на результатах періодичного контролю малих вибірок, здійснюваного по кількісній або альтернативній ознаках. Для кожного із цих способів контролю використовуються свої статистичні методи регулювання.

Контроль по кількісній ознаці полягає у визначенні з необхідною точністю фактичних значень контрольованого параметра в одиниць продукції з вибірки. Фактичні значення контрольованого параметра необхідні для наступного обчислення статистичних характеристик, по яких приймається рішення про стан технологічного процесу. Такими характеристиками є вибіркоче середнє й медіана; квадратичне відхилення й розмах

Перші дві характеристики - характеристики положення, а останні дві - характеристики розсіювання випадкової величини X .

Контроль по альтернативній ознаці полягає у визначенні відповідності контрольованого параметра або одиниці продукції встановленим вимогам. При цьому кожна окрема невідповідність установленим вимогам вважається дефектом, а одиниця продукції, що має хоча б один дефект, вважається дефектною.

При контролі по альтернативній ознаці не потрібно знати фактичне значення контрольованого параметра - досить установити факт відповідності або невідповідності його встановленим вимогам. Тому можна використати найпростіші засоби контролю: шаблони, калібри, контроль за зразком і ін.

Рішення про стан технологічного процесу приймається

залежно від числа дефектів або числа дефектних одиниць продукції, виявлених у вибірці.

Кожен з перерахованих способів контролю має свої переваги й свої недоліки. Перевага контролю по кількісній ознаці полягає в тому, що він більше інформативний (у порівнянні з контролем по альтернативній ознаці) і тому вимагає меншого обсягу вибірки. Однак такий контроль більше дорогою, оскільки для нього необхідні такі технічні засоби контролю, які дозволяють одержувати фактичні значення контрольованого параметра. Крім того, для статистичного регулювання при контролі по кількісній ознаці необхідні обчислення, пов'язані з визначенням статистичних характеристик.

Перевага контролю по альтернативній ознаці полягає в його простоті й відносній дешевині, оскільки можна використати найпростіші засоби контролю або візуальний контроль. До недоліків такого контролю відноситься його менша інформативність, що вимагає значно більшого об'єму вибірки при рівних вихідних даних.

Будь-який контрольований параметр по своїй природі є випадковою величиною, оскільки він може прийняти те або інше значення, причому заздалегідь нам невідоме.

Випадкова величина може бути, зокрема, неперервної або дискретної. Наприклад, діаметр вала являє собою неперервну випадкову величину, що теоретично може приймати всі значення в інтервалі, обмеженому допуском, скажемо, між 34,5 і 35,5 мм. Безперервну величину ми одержуємо при контролі якості продукції по кількісній ознаці за допомогою вимірювальних засобів, що дозволяють одержати значення контрольованого параметра з великою точністю.

Дискретну величину ми отримуємо, наприклад, при контролі якості продукції по альтернативній ознаці "придатний" або "не придатний". У результаті такого контролю ми підраховуємо число дефектних одиниць або число дефектів. При цьому нас не цікавить правдиве значення параметра X , досить лише встановити чи відповідає воно встановленій чи вимозі ні.

Уперше контрольні карти були запропоновані в 1924 році Уолтером Шухартом (США) з наміром відокремити варіації параметрів технологічного процесу, які обумовлені

певними причинами, від тих, які викликані випадковими причинами. Контрольні карти, винайдені Шухартом, як інструмент аналізу мінливості будь-яких процесів називаються найчастіше Контрольною Картою Шухарта (ККШ). Детальний розгляд історії розвитку ККШ проведений у роботі [1].

Для контролю по кількісних ознаках використовують ККШ, як правило, що опираються на нормальний розподіл. Використовуються наступні види контрольних карт:

- для середніх значень – \bar{X} - карти;
- для медіан – *Me*-карти;
- для вихідних (поточних) значень – *X*-карти;
- для стандартних відхилень – *S*-карти;
- для розмахів – *R*-карти.

Статистичне регулювання методом кумулятивних сум. [10, 32, 35]. В 1954 році англійський статистик Пейдж пропонує новий тип контрольної карти - карту кумулятивних сум (CUSUM). У картах цього типу картинка будується не за значеннями самого процесу (x_i), а за значеннями кумулятивної (накопиченої) суми відхилень вибірових значень від встановленого (цільового) значення.

Теоретичною основою статистичного регулювання методом кумулятивних сум є перевірка гіпотез за допомогою послідовного критерію Вальда.

Суть перевірки гіпотез H_0 і H_1 за допомогою послідовного критерію Вальда полягає в наступному. За умови незалежності вибірок вірогідність набуття значень y_1, y_2, \dots, y_n дорівнює $P_{0n} = f(y_1, \theta_0) f(y_2, \theta_0) \dots f(y_n, \theta_0)$, якщо вірна гіпотеза H_0 і дорівнює $P_{1n} = f(y_1, \theta_1) f(y_2, \theta_1) \dots f(y_n, \theta_1)$, якщо вірна гіпотеза H_1 . При відомій функції щільності вірогідності $f(y, \theta)$ можна визначити величину $Z_n = \ln(P_{1n}/P_{0n})$, яка отримала назву кумулятивна сума. При статистичному регулюванні значення кумулятивної суми Z_n накопичуються послідовно у міру узяття вибірок.

Нульова гіпотеза H_0 приймається, якщо $Z_n \leq \ln(\beta/(1-\alpha))$, альтернативна H_1 , тобто про наявність «розладнання» - якщо $Z_n \geq \ln((1-\beta)/\alpha)$, де α і β – помилки першого і другого роду, відповідно. Спостереження за процесом продовжуються, якщо приведені умови ухвалення гіпотез не виконані.

Процедура перевірки гіпотез H_0 і H_1 за допомогою послідовного критерію Вальда покладена в основу статистичного

регулювання технологічних операцій методом контрольних карт кумулятивних сум. Проте, основною передумовою використання карт кумулятивних сум є нормальний розподіл контрольованого параметра стану технологічної операції. Дана вимога не завжди здійснимо і завжди не здійснимо, якщо необхідно виявляти «розладнання», в зміні точності технологічної операції. Точність, як відомо, визначається розсіюванням контрольованого показника якості виробів, що випускаються.

Суть цього методу полягає в тім, що за вибірковими значеннями $x_1 \dots x_n$, отриманими у момент часу t_k , $k=1, \dots, n$ утворюються кумулятивні суми

$$z_n = (\delta/\sigma) \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0 + \delta\sigma/2) \quad (2.8)$$

де $\delta = (\mu_1 - \mu_0)/\sigma$.

Утворення сум продовжується доти, поки вперше не буде отримане значення $z_n \leq h_1$ чи $z_n \geq h_2$, де h_1 , h_2 – верхня нижня границі регулювання.

Для побудови контрольних карт, доцільно використовувати програмний пакет STATISTICA [4]. Це могутній пакет статистичного дослідження, у якому реалізовані всі новітні комп'ютерні і математичні методи аналізу даних. Пакет зручний для керування, дані легко ввести в середовище пакета, відносно легко відредагувати, створити нові змінні.

Розглянемо побудування контрольної карті з допомогою модуля *Інтерактивний контроль якості* з програмного пакету STATISTICA.

Після введення початкових даних виконуються наступні кроки.

Крок 1. Запустите модуль *Інтерактивний контроль якості*.

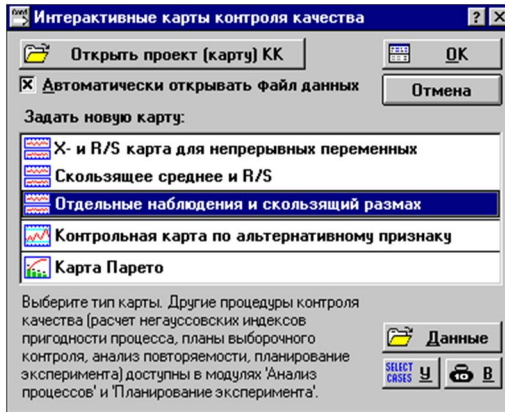


Рис. 2.2 - Стартова панель модуля Інтерактивний контроль якості

Крок 2. На стартовій панелі виберіть опцію *Окремі спостереження і ковзаючий розмах* і натисніть кнопку ОК.

У діалоговому вікні, що з'явилося, вибирається змінна з вимірюваннями і натисніть кнопку ОК.

Крок 3. З'явиться графік з необхідними контрольними картами: X-картою і контрольна картою ковзаючих розмахів для послідовності спостережень.

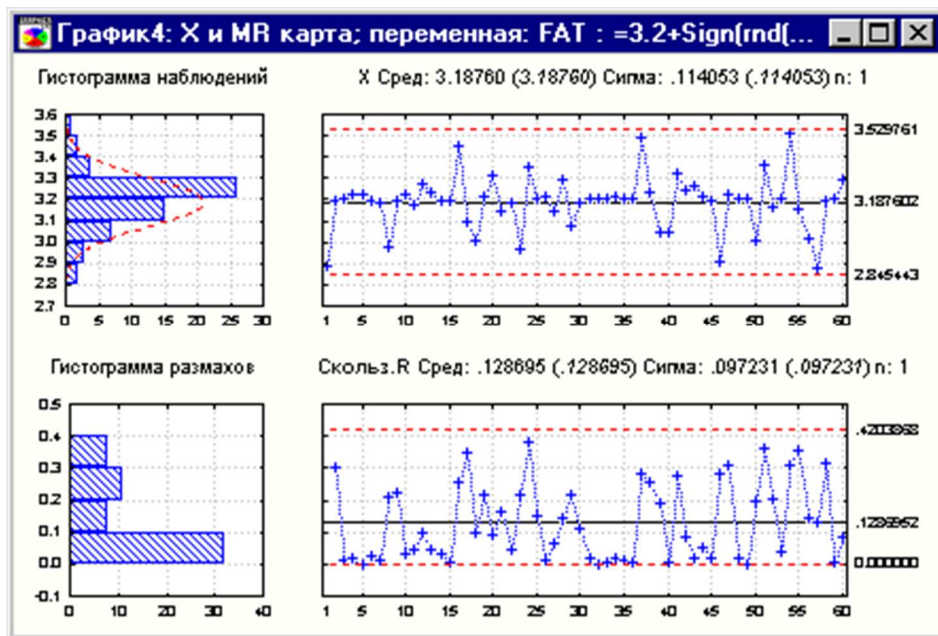


Рис. 2.3 - X- и MR карты

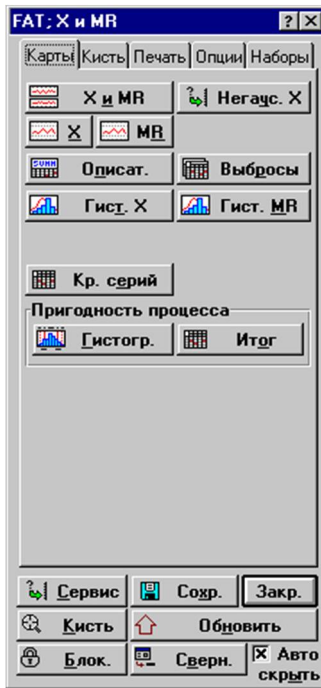


Рис. 2.4 - Опції управління X- і MR картами в STATISTICA

Крок 4. Аналіз карти. На X-карті всі крапки потрапляють в область усередині контрольних меж.

На контрольній карті ковзаних розмахів (MR карті) видно, що всі крапки знаходяться нижчим за контрольну межу.

Це дозволяє сказати, що процес налагоджений.

Продовження аналізу.

Слід мати на увазі, що карти для окремих спостережень не здатні відбивати малі зміни середнього рівня, які, проте, можуть грати істотну роль в процесі.

Тому для аналізу цих даних потрібно далі використовувати контрольні карти накопичених сум.

Для побудовання контрольних карт накопичених сум з так званою V-маскою виконуються наступні кроки.

Крок 1. Запустимо модуль Карты контролю якості.

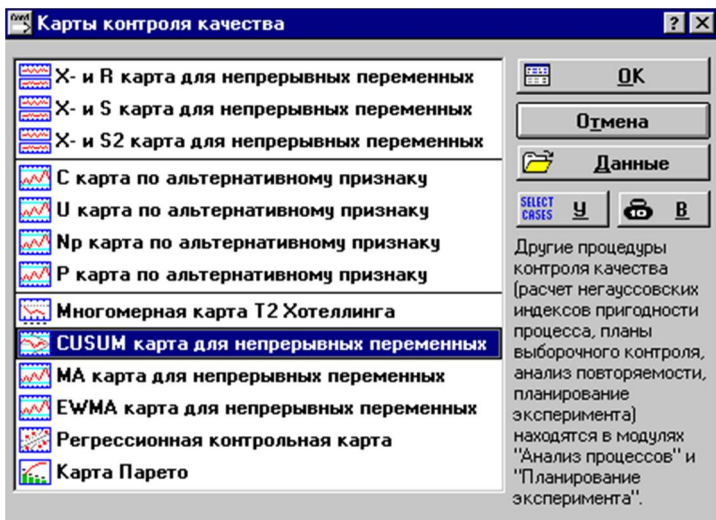


Рис. 2.5 - Стартова панель показує доступні контрольні карти

Крок 2. На стартовій панелі виберіть CUSUM карта для безперервних змінних і натисніть кнопку ОК.

Крок 3. У діалоговому вікні, що з'явилося, вибереться змінна з вимірюваннями.

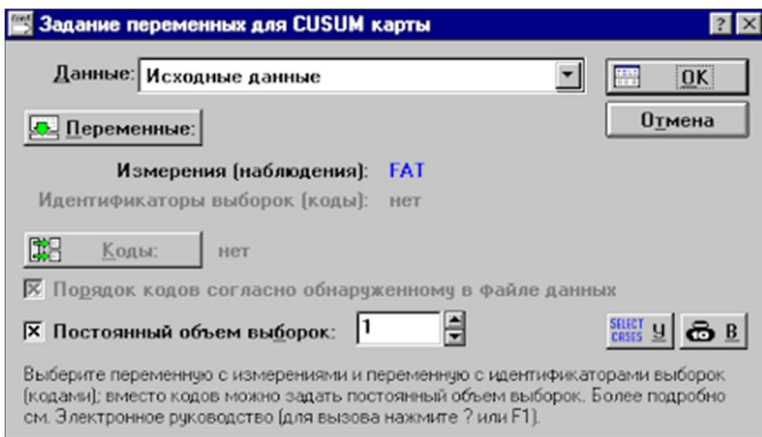


Рис. 2.5а - Завдання змінних для CUSUM карт

Натисніть кнопку ОК. На екрані з'явиться CUSUM карта з V-маскою.



Рис. 2.6 - Карта накопиченої суми з V-маскою

З приведенного графіка виходить, що всі точки даних потрапляють всередину контрольного інтервалу.

На карті зображена також так звана V-маска, що має наступний сенс.

Якщо в спостережуваному процесі є значущий зсув середнього значення, то крапки виходять за межі V-маски.

У нашому випадку крапки не виходять за межі маски, тому можна зробити остаточний висновок про те, що досліджений процес задовольняє вимогам статистичного контролю.

Але для практичного застосування більш зручно використовувати контрольні карт накопичених сум з горизонтальними границями регулювання.

Для побудування контрольних карт накопичених сум у системі STATISTICA з границями регулювання пропонуються наступна методика.

У статистичному пакеті STATISTICA вибрати Statistics → Industrial Statistics & Six Sigma → Quality Control Charts, після чого з'являється вікно Quality Control Chart (рис.3.11), якому вибирається CUSUM chart for individuals.

Далі необхідно задати початкові параметри (атрибути) для побудови контрольних карт накопичених сум (CUSUM – карти). До таких параметрів відносять:

μ_0 – математичне очікування, що відповідає налагодженому стану технологічної операції;

σ_0 – середнє квадратичне відхилення, що відповідає налагодженому стану технологічної операції;

μ_1 – математичне очікування, що відповідає разладженому стану технологічної операції;

δ – величина зсуву (shift), що визначається вимогами до точності проведення технологічної операції.

Перелічені параметри задаються на вкладці Specifications for X-chart (рис.3.12) вікна CUSUM (рис.3.13).

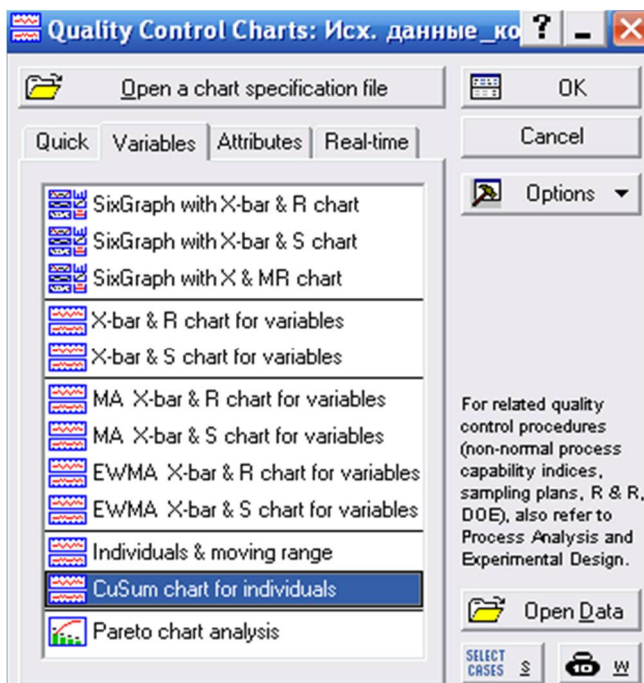


Рис.2.7 – Вікно Quality Control Chart

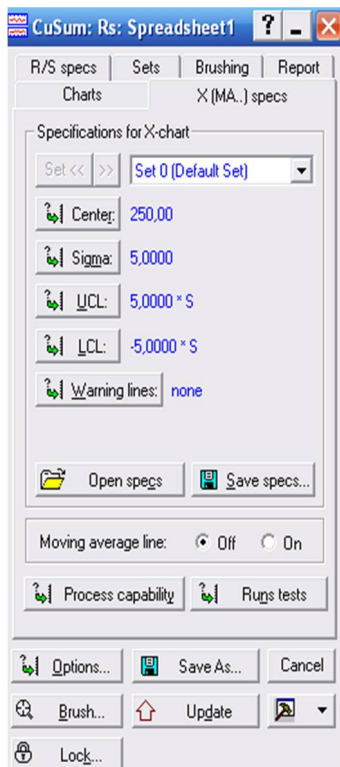


Рис.2.8 - Вкладка Specifications for X-chart вікна CUSUM

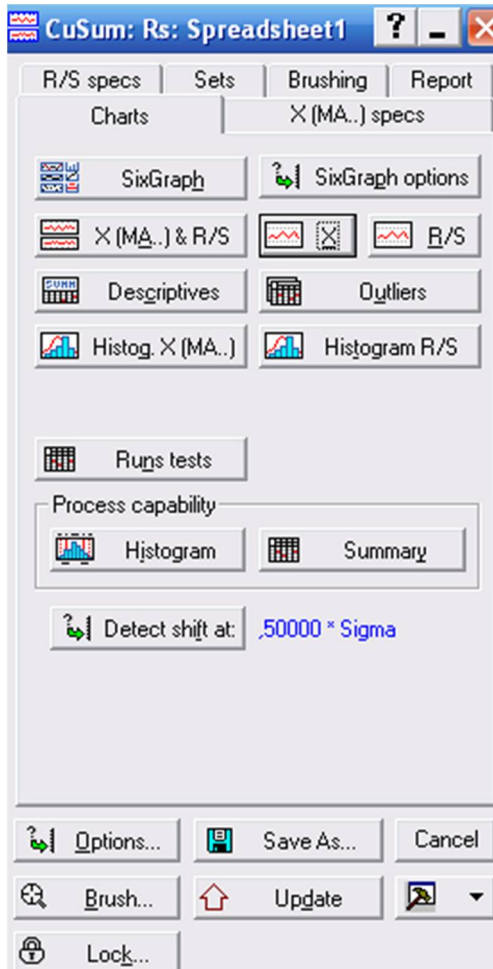


Рис.2.9 - Вікно CUSUM

Статистичний пакет STATISTICA дає можливість будувати різні модифікації контрольних карт CUSUM. Для приклада розглянемо X-карти, тобто контрольних карт накопичених сум для середнього арифметичного.

На рис.2.10 - наведені результати вимірів поверхневого опора R_s (ом/см²) після 2-ої стадії «дифузії фосфору» за даними 20 партій.

	1 R _s
1	250,40
2	244,30
3	246,10
4	241,80
5	242,40
6	237,80
7	246,70
8	239,70
9	237,00
10	247,20
11	255,60
12	248,40
13	244,10
14	231,80
15	246,10
16	244,00
17	250,20
18	250,50
19	242,70
20	238,60

Рис.2.10 - Результати вимірів поверхневого опора після 2-ої стадії дифузії «дифузії фосфору».

Для побудування контрольних карт CUSUM для середнього арифметичного технологічної операції «дифузії фосфору» заданося нормативними (початковими) параметрами, що визначають якість проведення дифузії: μ_0 визначається значенням $R_s = 250 \text{ ом/см}^2$, $\sigma_0 = 5 \text{ ом/см}^2$. Величина δ визначає вимоги до точності проведення технологічної операції, тобто те мінімальне значення величини зсуву рівня настроювання операції, яке необхідно своєчасно визначати з допомогою контрольної карти. Побудуємо контрольні карти технологічної операції «дифузії фосфору». для різних значень δ , (вихідні дані для побудування контрольної карти взяті з результатів спостережень, що наведені на рис.2.10). З наведених контрольних карт видно, що якщо задати $\delta = 1,00$, тоді точність технологічної операції «дифузії фосфору» дорівнює 250 ± 5 , і сигнал про разладження не виникає (рис.2.11). Якщо задати $\delta = 0,5$, тоді точність технологічної операції «дифузії фосфору» дорівнює $250 \pm 2,5$, і сигнал про разладження виникає на 19 виборці (рис.2.12).

Таким чином, з допомогою контрольних карт CUSUM для середнього арифметичного можна настроювати технологічну операцію «дифузія фосфору» з необхідною точністю, але сигнали про розлагодження, тобто необхідність у настроюванні будуть виникати частіше. Такий же підхід, спрямований на підвищення точності проведення технологічної операції, що визначає якість виготовлення продукції, можна рекомендувати для будь-яких інших технологічних операцій виготовлення ІМС.

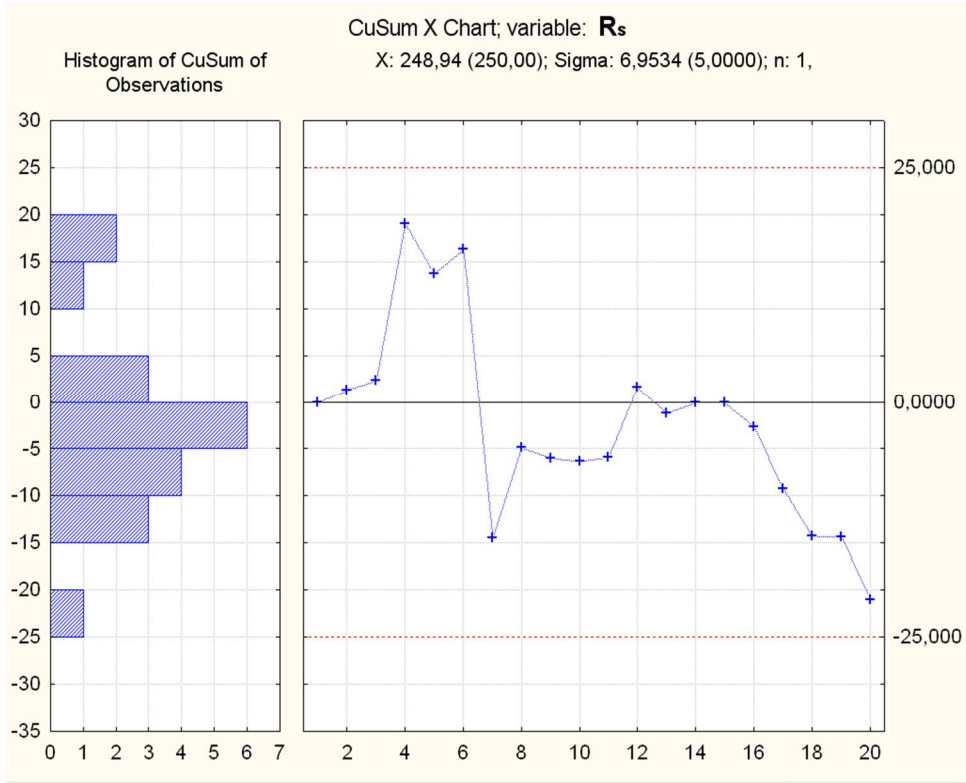


Рис.2.11 - Контрольна карта CUSUM-X для технологічної операції «дифузії фосфору» при $\delta= 1,00$

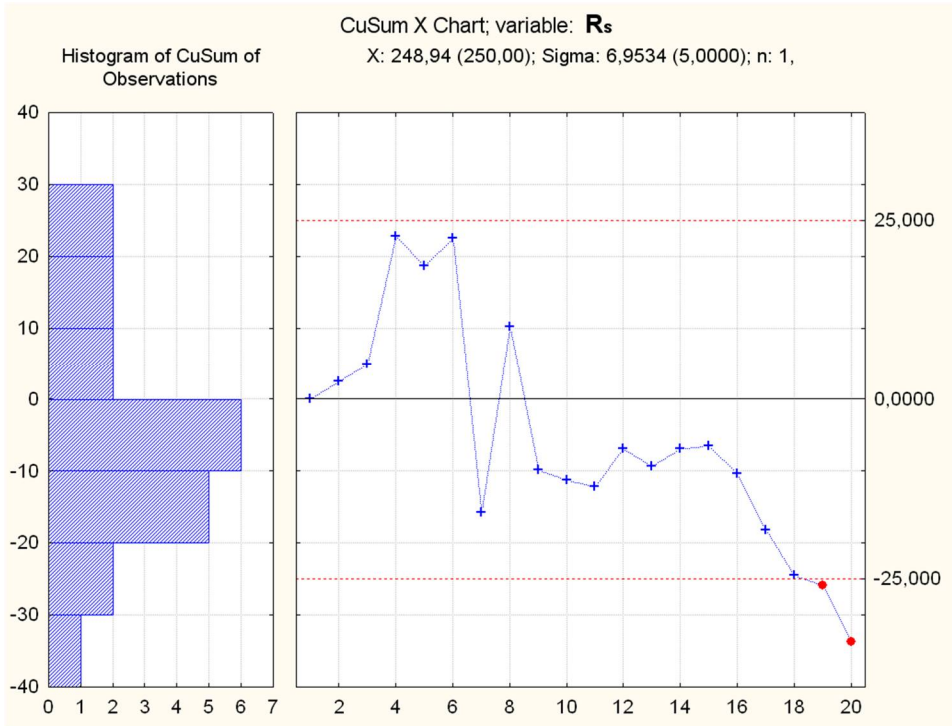


Рис.2.12 - Контрольна карта CUSUM-X для технологічної операції «дифузії фосфору» при $\delta=0,5$

Таким чином, з допомогою контрольних карт CUSUM для середнього арифметичного можна налаштувати технологічну операцію «дифузія фосфору» з необхідною точністю, але сигнали про розладження, тобто необхідність у налаштуванні будуть виникати частіше. Такий же підхід, спрямований на підвищення точності проведення технологічної операції, що визначає якість виготовлення продукції, можна рекомендувати для будь-яких інших технологічних операцій виготовлення ІМС.

Методи статистичного регулювання з допомогою контрольних карт складають базу для моніторингу технологічних процесів, що дозволяє своєчасно виявляти розладки, чим забезпечується висока якість промислової продукції.

2.3 Методи контролю у промисловому виробництві

Суть контролю полягає в отриманні інформації про стан об'єкту контролю і зіставлення отриманих результатів зі встановленими вимогами, що містяться в нормативних і технічних документах, договорах на постачання. Об'єкт контролю — продукція (товари), процеси їх виробництва, транспортування, зберігання, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, а також технічна і супровідна документація. В [27] детально розглянуті методи контролю, що знайшли застосування у промисловому виробництві.

Основні види контролю якості, якщо його класифікувати за різними ознаками, наступні.

1. За ознакою життєвого циклу продукції контроль якості розділяють на виробничий — здійснюваний на стадії виробництва та експлуатаційний — що проводиться на стадії експлуатації або споживання.

2. За ознакою місця у виробничому процесі визначають такі види контролю: вхідний, операційний, приймальний.

- Вхідний — контроль продукції постачальника, що поступила до споживача або замовника для використання при виготовленні, ремонті або експлуатації продукції. Слід зазначити велике значення вхідного контролю, як найважливішої міри, що дозволяє забезпечити використання у виробничих процесах якісної сировини, матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів, в результаті як перевірки, так і ефективної дії на постачальників при укладенні контрактів.
- Операційний — контроль продукції під час виконання або після завершення технологічної операції.
- Приймальний — контроль продукції, за наслідками якого ухвалюється рішення про її придатність до постачань і (або) використання.

3. За ознакою кількості виробів, що беруться для контролю, є суцільний контроль — контроль кожної одиниці продукції в партії і вибірковий — рішення про якість контрольованої продукції ухвалюється за результатами перевірки однієї або декількох

вибірок.

4. За ознакою надходження інформації може бути безперервний контроль — надходження інформації про контрольовані параметри відбувається безперервно і періодичний — надходження інформації про контрольовані параметри відбувається через встановлені інтервали часу.

5. За ознакою одержання інформації виділяють такі види контролю:

- Органолептичний — первинна інформація сприймається органами чуття. Різновид органолептичного контролю — візуальний контроль.
- Вимірювальний — здійснюваний із застосуванням засобів вимірювань.
- Руйнуючий— виключається можливість подальшого використання виробу за призначенням у зв'язку з його пошкодженням в результаті дії засобів контролю (один з недоліків руйнуючого контролю — відсутність можливості проведення суцільного контролю, що необхідне, наприклад, для контролю надійності і безпеки багатьох товарів).
- Неруйнуючий — контроль, в результаті якого можливе подальше використання об'єктів контролю. Різновидом неруйнуючого контролю можна вважати технічний огляд, здійснюваний за допомогою органів чуття і у разі потреби засобів контролю, номенклатура яких встановлена відповідною документацією.

В результаті контролю виявляються відхилення від вимог — дефекти. Дефекти вельми різноманітні за походженням, видам, розмірам, розташуванню у виробі, ступені впливу на споживчі властивості. Вони можуть виникати на кожній із стадій життєвого циклу товарів.

Важливим напрямом забезпечення якості продукції, і перш за все для підвищення надійності, є контроль якості на основі проведення випробувань.

Ці контрольні випробування проводять відповідно до програми, що міститься в стандартах на вид продукції, яка випробується, і класифікуються як:

- Типові контрольні випробування.

- Періодичні контрольні випробування.
- Кваліфікаційні контрольні випробування.
- Пред'явницькі контрольні.
- Інспекційні контрольні випробування.
- Сертифікаційні контрольні випробування.

Контроль якості продукції здійснюється на декількох рівнях управління: на рівні підприємств, галузевому і державному.

Контроль якості на промислових підприємствах здійснюють працівники відділу технічного контролю (ВТК); робочі, що мають право самоконтролю; представники замовника, якщо це передбачено контрактами на постачання.

Основними завданнями ВТК є запобігання випуску (постачання) підприємством продукції, не відповідної вимогам нормативних документів, затвердженим зразкам (еталонам), проектній-конструкторській і технологічній документації, умовам контрактів на постачання. Система контролю на підприємстві — невід'ємна частина виробничого процесу і розробляється одночасно з технологією за участю ВТК або за узгодженням з ним.

ВТК здійснює всі види контролю якості на підприємстві: вхідний контроль сировини, що поступає, матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів і інструменту; операційний і приймальний контроль. На великих підприємствах, що проводять технічно складні виробництва, в службу ВТК входять підрозділи випробувань на надійність, контролю матеріалів, стендових випробувань і відробітку макетів, дослідних зразків виробів.

Підприємство може реалізовувати лише продукцію, прийняту ВТК або виготовлену робочими, наділеними правом самоконтролю.

Великими повноваженнями для попередження і припинення випуску неякісної продукції наділений начальник ВТК. Він має право припинити приймальний контроль продукції, що має дефекти, що повторюються, до усунення причин, що їх викликають; забороняти реалізацію продукції, не прийнятою ВТК; використання у виробництві сировини, матеріалів, напівфабрикатів, комплектуючих виробів і інструменту, що не забезпечують випуск доброякісної продукції і т.д.

Слід мати на увазі, що використання традиційного суцільного приймального контролю на промислових підприємствах вимагає великих матеріальних витрат при недостатньо високому ступеню надійності результатів. Надійніший вибірковий контроль з використанням статистичних методів обробки результатів, що дозволяють значно понизити витрати на контроль якості. Проте найбільш стабільну якість вироблюваної продукції мають підприємства, які розробили і впровадили сучасні системи якості відповідно до вимог міжнародних стандартів ІСО серії 9000, освоїли принципи загального управління якістю (TQM).

Відомчий контроль здійснюється на галузевому рівні управління — міністерствами і відомствами. Він включає контроль якості продукції і контроль діяльності підлеглих організацій і підприємств, що здійснюють контроль над якістю. Органами відомчого контролю є інспекції за якістю міністерств і відомств.

Державний контроль і нагляд за дотриманням вимог обов'язкових стандартів здійснюється органами Держстандарту.

Поняття контролю якості виробів виникло в ХІХ ст. і пов'язане з органолептичною перевіркою чи вимірюванням певних характеристик виробів для розділу на їх якісні і дефектні.

До тих пір, поки ремісник суміщав у собі функції й виробника, і контролера, не було проблем з оцінкою якості виготовленої продукції. Усе змінилося з появою розподілу праці. Принцип розподілу праці зажадав вирішення проблеми взаємозамінності й точності виробництва. До цього при ремісничому способі виробництві продукції забезпечення точності готового продукту проводилося по зразках або методами підгонки деталей, що сполучалися. Але робочі першої фабричної мануфактури, здатні виконувати прості операції процесу, не могли відповідати за якість готової продукції. Була впроваджена посада контролера. Ураховуючи значні варіації параметрів виробу при масовому виробництві, ставало ясно, що потрібний критерій якості виробництва продукції, що дозволяє обмежити відхилення розмірів при виготовленні виробів.

Як такий критерій Ф. Тейлором були запропоновані інтервали, що встановлюють межі відхилень параметрів у вигляді нижніх і

верхніх границь. Поле значень такого інтервалу стали називати допуском.

Установлення допуску привело до протистояння інтересів конструкторів і виробничників: одним зменшення допуску забезпечувало підвищення якості з'єднання елементів конструкції, іншим – створювало складнощі зі створенням технологічної системи, що забезпечує необхідні значення варіацій процесу.

Прагнення до виробництва високоякісної продукції привело до гіпертрофованого роздування на промислових підприємствах контрольного апарату. Потреба зменшення кількості контролерів привело до необхідності нормування функцій контролю, і із часом, розробки наукового підходу до оцінки якості продукції. Почали розроблятися статистичні методи контролю якості.

Впровадження статистичних методів дозволило значно скоротити трудомісткість операцій контролю і значно понизити чисельність інспекторів (контролерів). Перше застосування наукових методів статистичного контролю було зафіксоване в 1924 році, коли В. Шухарт використовував для визначення долі браку продукції контрольні карти.

Одночасно з Шухартом, в фірмі «Bell Telephone Laboratories», в середині 20-х років інженером Г. Ф. Доджем була запропонована теорія приймального контролю, що здобула незабаром світову популярність. Основи цієї теорії були викладені в 1944 році в його сумісній з Х. Г. Роллінгом роботі «Sampling Inspection Tables – Single and Double Sampling».

Великий внесок в систему забезпечення якості контролю в середині 20-го століття внесли американські учені Д. Нойман, Э. Пірсон, Е. Фішер. Серед їх розробок найбільшу популярність здобула теорія перевірки статистичних гіпотез. Можна відзначити, що сьогодні без знання теорії помилок першого і другого роду неможлива раціональна оцінка вибраного методу статистичного контролю.

Під час другої світової війни брак ресурсів примусив шукати нові методи контролю з можливо малим числом виробів, що перевірялися, особливо при руйнуючому контролі. У 40-х роках 20-го сторіччя А. Вальд (США) розробив теорію послідовного аналізу. Застосування теорії послідовного аналізу було настільки

ефективне (витрати на контроль при однаковій вірогідності помилок знижуються до 60% в порівнянні з традиційними методами), що в США вона була оголошена секретним документом і опублікована тільки після закінчення війни.

Узагальнюючи, можна виділити декілька етапів еволюції контролю при управлінні якістю продукції.

- Механічний контроль (до 1900 р.).
- Контроль майстра (1900–1920 рр.).
- Інспекційний контроль (1920–1940 рр.).
- Статистичний контроль (з 1940р.).

На першому етапі кожен працівник сам відповідав за продукцію власного виготовлення, виконану за допомогою ручної або машинної праці. Тому цей етап дістав умовну назву «Механічний контроль».

Другий етап умовно торкнувся періоду з 1900 по 1920 рр. і дістав назву «Контроль майстра». Суть його полягала в тому, що основна відповідальність за якість лягала на майстра (десятника).

Третій етап еволюції управління якістю охопив період з 1920 по 1940 року. Отримало розвиток масове промислове виробництво. Почали з'являтися обґрунтовані Ф. Тейлором інспекції за якістю. Звідси і назва етапу – «Інспекційний контроль». Набув поширення організований 100% контроль якості виробленого товару. Контроль якості переходив до рук спеціально навчених незалежних інспекторів за якістю. Уперше стали застосовуватися методи статистичного контролю: контрольні карти, обґрунтовувалися вибіркові методи контролю якості продукції.

Четвертий етап торкнувся періоду почався з 1940 і дістав умовну назву «Статистичний контроль» оскільки саме в цей час повсюдно поширювалися статистичні методи контролю якості. Здійснювався контроль проектування і виробництва.

Статистичний контроль базується на статистичному аналізі. Статистичний аналіз дозволяє обґрунтовано визначитись щодо причини поліпшення або погіршення якості продукції за результатами вибірових спостережень показників якості [9].

При проведенні статистичного аналізу (дослідження) необхідно сформулювати і експериментально перевірити певні гіпотез, наприклад:

- чи можна вважати, що конструктивна доробка чи технологічне удосконалення дійсно поліпшило якість виробів;
- чи підкоряється отримана вибірка нормальному чи будь-якому іншому закону розподілу;
- чи можна вважати дві чи більш узятих вибірок приналежних одній генеральній сукупності;

Процедура обґрунтованого зіставлення висловленої гіпотези з наявною вибіркою x_1, x_2, \dots, x_n здійснюється за допомогою того чи іншого статистичного критерію і називається *статистичною перевіркою гіпотез*.

Висувається *основна* (або що перевіряється) *гіпотеза* H_0 . Гіпотеза H_1 , що суперечить основній H_0 , називається *альтернативною*, або конкуруючою.

Будь-яке статистичне рішення, прийняте на основі обмеженого ряду спостережень, супроводжується, хоч і малою, імовірністю помилкового висновку. Саме в долі випадків α гіпотеза H_0 може бути відкинута за умови, що вона вірна, чи, навпаки, у долі випадків β ми можемо прийняти гіпотезу H_0 , у той час як вона помилкова. При фіксованому обсязі вибірки n величину імовірності α чи β ми можемо вибирати самостійно. Якщо є можливість як завгодно збільшувати n , то теоретично можна домогтися яких завгодно малих помилок α і β при будь-якій фіксованій конкуруючій гіпотезі H_1 .

Величину α називають рівнем значимості, величиною критерію або помилкою першого роду. Це імовірність відкинути основну гіпотезу H_0 за умови, що вона вірна.

Найбільше часто при статистичному аналізі перевіряються гіпотези з використанням наступних критеріїв:

- χ^2 -критерій Пірсона, λ -критерій Колмогорова і $n\omega^2$ -критерій Мізеса-Смірнова для перевірки гіпотези про закон виробничого розподілу;
- t-критерій Стьюдента для перевірки гіпотез про однорідність середніх двох вибірок;

- F-критерій Фішера для перевірки гіпотез про однорідність дисперсій двох вибірок;
- непараметричний критерій Манна-Уїтні для перевірки гіпотези про те, що вибірки узяті з однієї сукупності з визначеним довільним законом розподілу.

Розглянемо перераховані статистичні критерії.

Перевірка гіпотези про закон розподілу. Нехай дана вибірка незалежних випадкових чисел x_1, x_2, \dots, x_n , що мають емпіричний (експериментальний, виробничий) розподіл $F_n(x)$. Для перевірки узгодження розподілу $F_n(x)$ з теоретичним розподілом $F(x)$ використовуються: критерій Пірсона, λ -критерій Колмогорова і $n\omega^2$ -критерій Мізеса-Смірнова. Попередня оцінка вигляду розподілу може бути зроблена порівнянням емпіричного розподілу з теоретичними розподілами.

Обсяг вибірки для перевірки гіпотез про закон розподілу за допомогою χ^2 -критерію Пірсона і λ -критерію Колмогорова повинний бути не менше 100. При вибірках менших обсягів більш чуттєвий $n\omega^2$ -критерій. Для більш певного висновку про закон розподілу досліджуваної величини доцільно скористатися всіма критеріями.

Здійснити перевірку гіпотези про вигляд закону розподілу можна за допомогою модуля Descriptive Statistics пакета STATISTICA [4].

Перевірка гіпотез про рівність дисперсій при відомих математичних очікуваннях. Нехай є дві вибірки випадкових величин A і B обсягом n_A і n_B з нормально-розподілених генеральних сукупностей з функціями розподілу $N(x, \mu_A, \sigma_A)$, $N(x, \mu_B, \sigma_B)$. Необхідно перевірити гіпотезу про рівність дисперсій випадкових величин за умови, що математичні очікування μ_A і μ_B відомі. Основна гіпотеза H_0 і альтернативна H_1 визначаються як

$$H_0: S_A^2 = S_B^2, \quad (2.9a)$$

$$H_1: S_A^2 \neq S_B^2, \quad (2.9б)$$

Розрахунок значення критичної статистики (критерій Фішера):

$$F_{\text{розр.}} = S_A^2 / S_B^2, \quad (2.10)$$

де S_A^2, S_B^2 - вибіркові дисперсії, розраховані для вибірок А і В.

В.

Якщо $F_{\text{розр}} \leq F_{\text{кр}}(\alpha, k_1, k_2)$, то робиться висновок, що дисперсії однорідні, тобто приймається гіпотеза H_0 про рівність дисперсій.

Якщо $F_{\text{розр}} > F_{\text{кр}}(\alpha, k_1, k_2)$, то робиться висновок про наявність істотного розходження між дисперсіями S_A^2 і S_B^2 , тобто приймається гіпотеза H_1 .

Перевірка гіпотез про рівність середніх випадкових величин.

Нехай дані дві вибірки з нормальних генеральних сукупностей випадкових величин. Формування основної та альтернативної гіпотез (для обох випадків гіпотези однакові)

$$H_0: X_A = X_B, \quad (2.11a),$$

$$H_1: X_A \neq X_B, \quad (2.11б)$$

Така задача ставиться звичайно тоді, коли вибіркові середні виявляються різними. Гіпотеза H_0 затверджує, що це розходження несуттєве, гіпотеза H_1 , - розходження істотне, значимо.

Перевірка гіпотези про рівність середніх. Однорідності проводиться за критерієм Стюдента (t -критерій). Якщо дисперсії однорідні (випадок а), то обчислюються статистика t і число ступенів вільності κ за формулами:

$$t = \frac{|\bar{x}_A - \bar{x}_B|}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{1/n_A + 1/n_B}}, \quad (2.12),$$

$$S = \sqrt{\frac{(n_A - 1)s_A^2 + (n_B - 1)s_B^2}{\kappa}} \quad \kappa = n_A + n_B - 2 \quad (2.13)$$

Для того, щоб зробити висновок про рівність (однорідність) математичних очікувань, необхідно статистику t порівняти з критичною точкою розподілу Стюдента [9]. Якщо $t \leq t_{\kappa}$, то робиться висновок про однорідність математичних очікувань, приймається гіпотеза H_0 . Якщо $t > t_{\kappa}$, вважається, що математичні очікування істотно розрізняються H_1 .

Порівняння вибірок непараметричними методами. Перевірка приналежності двох вибірок А і В одній сукупності проводиться за критерієм Манна-Уїтні (U -критерію) U -критерій є непараметричним критерієм і може використовуватися для довільних функцій розподілу без пропозицій про їхній вигляд зростання. Отриманий номер по порядку для вибірових значень в об'єднаній вибірці називають ранговим числом. Кожному рангу приписують до якої вибірки (А чи В) він відноситься. Обчислюється:

$$U_A = n_A n_B + \frac{n_B(n_B + 1)}{2} - R_A, \quad (2.14)$$

$$U_B = n_A n_B + \frac{n_A(n_A + 1)}{2} - R_B$$

де: n_A, n_B - обсяг вибірок А і В;

R_A, R_B - суми рангів вибірок А і В, відповідно.

Статистика U визначається як найменше зі значень U_A і U_B . Мірою значимості статистики U у вибірках обсягом більше 8 може служити величина Z , що розраховується за формулою:

$$Z = \frac{U - n_A n_B / 2}{\sqrt{n_A n_B (n_B + n_A + 1) / 12}}, \quad (2.15)$$

Отримане значення Z порівнюється з $P\%$ -квантилем нормального розподілу. Якщо $Z \leq Z_p$, то з довірчою імовірністю P робиться висновок про однорідність вибірок.

Приклад застосування статистичного аналізу. У таблицях 2.1, 2.2 наведені дві вибірки з результатами вимірів на тестових кристалах ємності МОН-структур у режимі збагачення (у пФ). Вибірки узяті з двох дослідних партій, виготовлених в різних технологічних режимах.

Результати вимірів на тестових кристалах з першої партії

Таблиця 2.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	451	460	417	456	460	412	447	464	423	435
2	447	466	460	503	458	443	457	474	476	471
3	445	470	476	448	430	488	518	435	447	490
4	466	454	453	466	444	447	460	461	429	448
5	431	468	417	426	470	484	485	500	430	449
6	420	468	487	435	464	456	448	508	458	422
7	473	430	468	472	440	474	442	491	466	461
8	458	437	440	464	434	442	464	411	459	447
9	449	449	457	438	437	447	443	434	473	486
10	396	468	487	412	476	435	435	461	444	452

Результати вимірів на тестових кристалах з другої партії

Таблиця 2.2

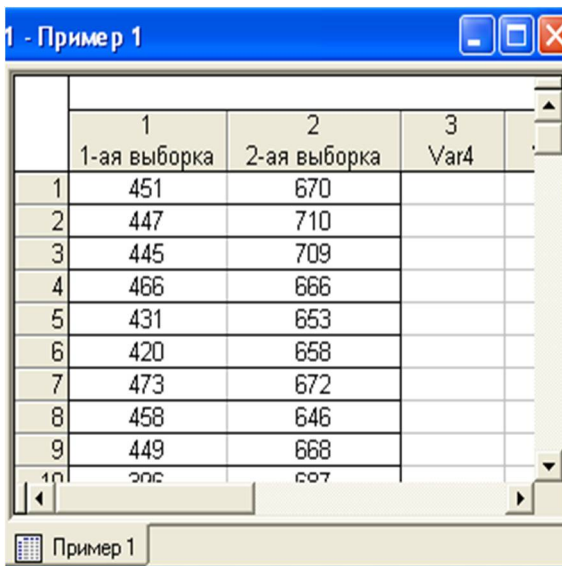
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	670	663	638	640	662	652	657	692	698	677
2	710	699	717	665	653	652	687	677	666	706
3	709	680	694	697	670	674	668	716	646	685
4	666	662	681	674	666	662	667	678	675	644
5	653	660	677	666	716	672	702	625	724	654
6	658	664	668	688	672	665	695	644	672	682
7	672	687	708	654	639	680	648	685	691	661
8	646	658	657	682	701	659	655	669	705	680
9	668	711	647	709	655	688	673	646	720	677
10	687	667	673	662	687	684	678	660	670	683

Ставляться задачі.

- Визначити закон розподілу для випадкової величини - ємність МОН-структури в режимі збагачення. Чи змінюється цей закон при різних технологічних режимах.
- Чи істотне розходження між дисперсіями вибірок.
- Чи істотне розходження між середніми вибірками.

Здійснити перевірку гіпотези про вигляд закону розподілу можна за допомогою модуля Descriptive Statistics пакета

STATISTICA, для чого імпортуємо вихідні дані з таблиць 2.1, 2.2 у систему STATISTICA.



	1	2	3	4
	1-ая выборка	2-ая выборка	Var4	
1	451	670		
2	447	710		
3	445	709		
4	466	666		
5	431	653		
6	420	658		
7	473	672		
8	458	646		
9	449	668		
10	396	697		

Рис.2.13 - Вихідні дані

і викличемо модуль Descriptive Statistics (за технологією, описаною в 2.4), у якому виберемо вкладку Normality.

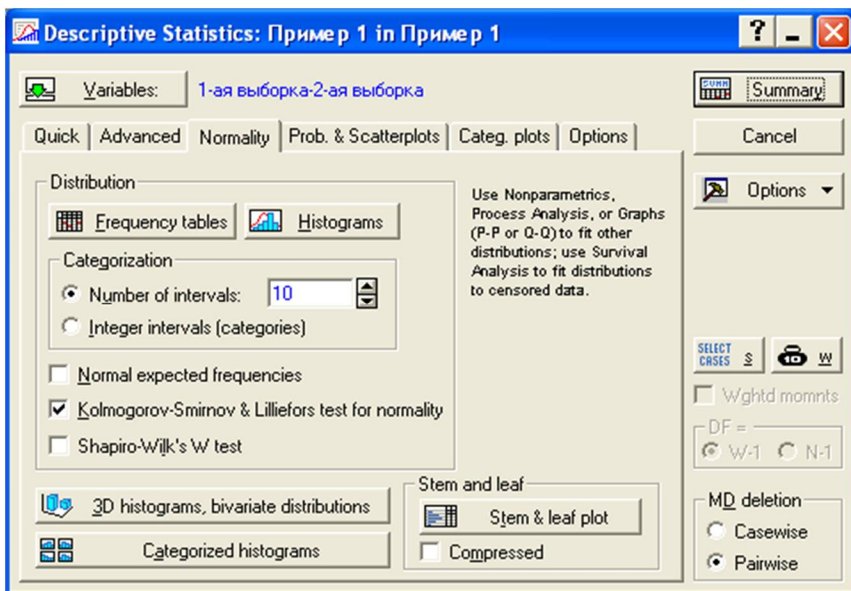


Рис.2.14 - Модуль Descriptive Statistics

На вкладці Normality активізуємо прапорець Kolmogorov-Smirnov & Lilliefors test for normality і клацаємо по кнопці Histograms. Виводяться вікна, у яких приведені значення $K-S$ d (для 1-ої вибірки $d=0,04616$, для 2-ий вибірки $d=0,06590$) і за значенням d розраховуємо значення критерію Колмогорова-Смірнова $\lambda=n^{1/2} d$.

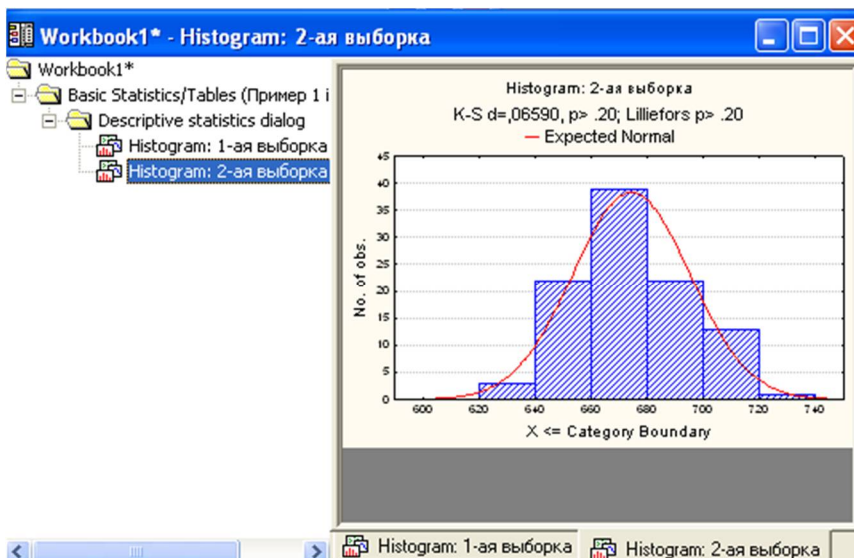


Рис.2.15 – Гістограма для 1-ої виборки

Одержимо для 1-ої вибірки $\lambda=0,4616$, що дозволяє прийняти гіпотезу про нормальний закон розподілу з довірчою імовірністю рівної 0,9840, для 2-ий вибірки $\lambda=0,6590$ і гіпотеза приймається з довірчою імовірністю 0,7764.

Таким чином, випадкова величина - ємність МОН-структури в режимі збагачення підкоряється нормальному закону розподілу з довірчою імовірністю не менш 0,7764 і цей закон не змінюється при зміні технологічного режиму.

Також, питання про наявність істотного розходження між дисперсіями вибірок можна вирішити за допомогою пакета STATISTICA. Використання технології перевірки статистичних гіпотез у пакеті STATISTICA привело до наступного результату (рис.2.16).

T-test for Independent Samples Пример 3.4.1.									
Mean	Mean	t-value	df	p	Valid N	Valid N	Std.Dev.	Std.Dev.	F-ratio
Group 1	Group 2				Group 1	Group 2	Group 1	Group 2	Variances
454,304	674,360	-71,798	198	0,000	100	100	22,471	20,843	1,1623

Рис.2.16 – Розрахунок t-критерію і F-критерію

Одержане значення t-критерію (t-value) -71,7985 набагато більше t-критичного, рівного 1,6526 і приймається гіпотеза про істотне розходження між середніми з довірчою імовірністю (p), близькою до 1.

Одержане значення F-критерію (F-ratio=1,1623) менше F критичного, рівного 1,3941, і гіпотеза про незначуще розходження (однорідності) дисперсій приймається.

2.4 Оцінки точності в системах моніторингу і контролю

Задача оцінки точності в системах моніторингу і контролю розглянуто в [27]. Визначення стану систем моніторингу і контролю базується на вимірюваннях показників, що характеризують їх стан.

У самому загальному випадку вимірювання — це порівняння вимірюваної величини з побудованою в той чи інший спосіб шкалою можливих значень цієї величини; результат вимірювання ніколи не може являти собою точне значення вимірюваної величини, а є лише вказівкою на вузький інтервал її можливих значень. Вимірювання — процес, що полягає у порівнянні вимірюваної величини з деяким її значенням, отриманого від джерела інформації. Джерелом інформації можуть бути: дані, отримані від експерта; дані, передані по каналах зв'язку; результати розрахунків показника; дані отримані з бази даних, тощо. Вимірювана величина завжди визначається з деякою помилкою (похибкою). Ця помилка може бути інструментальною — при вимірі, виникати при реєстрації або перезапису даних, при передаванні по каналах за наявності перешкод. Так, при повідомленні про результати виконання виробничої програми в

одиницях виробів, здавалося б, помилки не може бути. Але результати можуть бути отримані в деякому інтервалі часу, через що й можлива помилка. Система моніторингу, видаючи інформацію про систему ВВ, використовує деякі джерела одержання цієї інформації, яка може бути опрацьована з різним ступенем складності. Вхідна відносно СМ інформація може формуватися або утворюватися в різні способи, а джерелами її можуть слугувати: система звітності організації, дані, одержувані від інших систем по каналах зв'язку, результати вимірювання спостережуваних величин і характеристик об'єктів, повідомлення про явища природи, ринкова інформація тощо. Але якщо б конкретно не була вхідна інформація, вона відображає фактично існуючі явища, реальні закономірності та факти. В основі отримання всіх цих характеристик лежать дослідні дані, експериментальні дані, фіксація реальних явищ, дані, отримувані у вигляді повідомлень або в результаті вимірів. Результати вимірів і повідомлень у реальній дійсності мають імовірнісну природу і залежно від форми подання даних (неперервна або дискретна) визначаються законом розподілу ВВ, імовірністю достовірності даного повідомлення або іншими статистичними характеристиками. На практиці вхідна інформація базується на статистичному матеріалі обмеженого обсягу (два-три десятки спостережень). Така обмеженість звичайно пов'язана з дорожнечою і складністю кожного вимірювання. Цього матеріалу часто буває недостатньо для визначення закону розподілу випадкової величини, проте існуючі дані можуть бути оброблені та використані для одержання деяких відомостей про ВВ. У таких випадках можна говорити про одержувану оцінку ВВ. Якщо ця оцінка виражається одним числом, то вона називається точковою. Щоб охарактеризувати точність і надійність точкової оцінки ВВ, у математичній статистиці користуються так званими довірчими інтервалами і довірчими ймовірностями. Визначимо довірчий інтервал і довірчу ймовірність.

Для оцінки достовірності результату іноді користуються правилом 3σ , тобто вважають, що вимірюваний параметр, розподілений за нормальним законом і розташовується в інтервалі $z_0 - 3 \cdot \sigma; z_0 + 3 \cdot \sigma$ з ймовірністю 0,997. Більш точна оцінка

достовірності результатів можлива з використанням апарату математичної статистики, що дозволяє встановити область можливих відхилень результату вимірювання z від математичного сподівання, в яку потрапляє певна частина всіх результатів. Ця область називається довірчим інтервалом p , а ймовірність того, що результат випадково обраного вимірювання буде лежати всередині цього інтервалу називається довірчим рівнем v .

На рис.2.17. наведена номограма, що описує залежність між довірчим інтервалом і довірчим рівнем при малому числі спостережень. Якщо σ – невідоме, довірчим інтервал p для заданого довірчого рівня v визначається по середньоквадратичному відхиленню при кількості вимірів r .

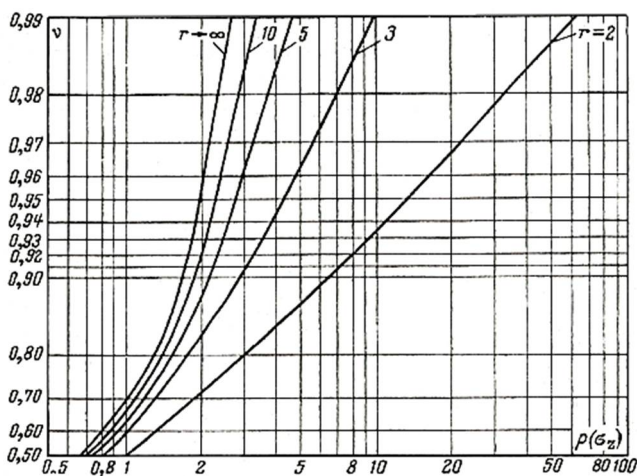


Рисунок 2.17 - Залежність довірчого рівня і довірчого інтервалу результатів вимірювання від кількості вимірювань

Якщо значення σ відомо за даними попередньо проведених розрахунків або замірів (число замірів велике – кілька сотень і більше), ймовірність потрапляння результату вимірювання в інтервалі по кривій $r = \infty$.

Після проведення вимірів (визначення r) по номограмі рис. 2.17 можна визначити значення ймовірності появи помилок результату контролю (ймовірності вироблення сигналу «придатний» / «непридатний», та знаходження результату вимірювання поза

полем допуску). Якщо відома відстань від отриманого результату вимірювання до граничного значення поля допуску, то можна визначити ймовірність такої події, коли істинне значення вимірюваного параметра розташовується в одній зоні з результатом вимірювання щодо межі поля допуску – достовірність результату вимірювання.

При симетричному розташуванні межі двостороннього поля допуску достовірність правильної класифікації результатів вимірювань дорівнює довірчому рівню, тобто $D(p) = v$. При використанні одностороннього або несиметричного двостороннього поля допуску, вираз для визначення достовірності результату вимірювань приймає відповідно наступний вигляд:

$$D(r) = 1 - (1 - v)/2 = 0,5 + 0,5 \cdot v \quad (2.16)$$

$$D(r) = 0,5 \cdot (v \cdot H + v \cdot B) \quad (2.17)$$

Це можна пояснити на наступному прикладі. Необхідно визначити ймовірність правильної класифікації часу спрацювання реле (ОК), за результатом двох серій вимірювань. Середньоарифметичне значення параметра дорівнює 0,2 мс. Граничне значення поля допуску $A = 2,5$ мс. У першій серії вимірювань σ' визначено з досліду і дорівнює 0,2 мс в другій σ'' відомо заздалегідь 0,19 мс.

Визначаємо відстань до меж поля допуску в одиницях σ :

$$\rho' = \frac{A - z_0}{\sigma'} = 2,5; \quad (2.18)$$

$$\rho'' = \frac{A - z_0}{\sigma''} = 2,63; \quad (2.19)$$

На номограмі рис.3.1 відновлюємо перпендикуляри з точок осі абсциси зі значеннями 2,5 і 2,63. За значеннями ординат точок перетину цих перпендикулярів з лініями $r = 10$ і $r \rightarrow \infty$ відповідно визначається довірочний рівень для σ і далі перебуває достовірність результату «придатний» з співвідношення (2.16). відповідь: $D(r) \approx 0,983$; $D_{\infty}(r) \approx 0,996$.

У практиці контролю класифікацію ОК («придатний»/«непридатний») по даному параметру можна вважати цілком достовірною, якщо результат вимірювання розподілений

відповідно з нормальним законом і відстоїть від краю допуску не менше ніж на величину $(3-5) \sigma$.

Основною метою допускового контролю є класифікація справності ОК, тобто отримання результату («придатний»/ «непридатний») для даного параметра, а основною характеристикою точнісної складової достовірності вимірювання – відповідність результату вимірювання розташуванню параметра всередині (поза) поля допуску (ОК – «справний»/ «несправний»). Якщо різниця між номінальним значенням контрольованого параметра і кордоном поля допуску, порівняна з величиною похибки вимірювання, стає вірогідною неправильній класифікації результатів.

Значення ймовірностей помилок результатів контролю, виду помилкової відмови ($P_{л}$) і невиявлені відмови ($P_{н}$) при проведенні вимірювань є функціями точності вимірювальної апаратури, що використовується для контролю, закону розподілу вимірюваних параметрів, рівня перешкод, зміни параметрів контрольованої системи в часі та ін.

Причини появи помилкових і невиявлених відмов при проведенні одиничного вимірювання можна зрозуміти з рис.3.2, де розглядається випадок нормальних законів розподілу параметрів і похибки вимірювання y , не залежних від часу. На рисунку $f_1(x)$ – розподіл щільності ймовірностей значень вимірюваного параметра, $f_2(y)$ – розподіл щільності ймовірностей похибок вимірювання, тобто ймовірностей розподілу значень результатів вимірювань параметра x (для двох конкретних значень параметра x' і x''); $f_3(z)$ розподіл щільності ймовірностей результатів вимірювань; $A_{н}$ і $A_{в}$ – відповідно значення нижнього і верхнього допусків; $d = A_{в} - A_{н}$, – ширина поля.

У переважній більшості випадків розробник судить про розподіл значень параметра (x) з розподілу результатів вимірювання (z), проведених з точністю вимірювання, яка визначається (δ_y).

Класифікація придатності параметра щодо його знаходження в полі допуску також проводиться з розподілу результатів замірів z , однак істинний розподіл параметрів, визнаних придатними і непридатними, може частково перекрити один одного (дивись ось x на рис.2.14). Значення ймовірності придатності параметра ОК

$(P_{o.к})$ визначається заштрихованою частиною площі всередині поля допуску під кривою по осі z на рис.2.18.

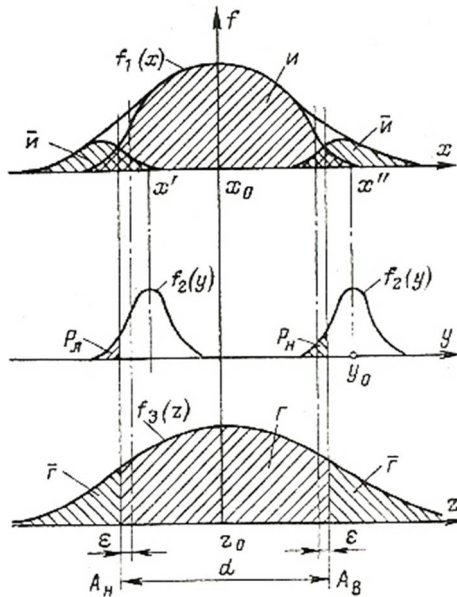


Рисунок 2.18 - Схема появи помилок контролю допуску; P_L і P_H (площа заштрихованих областей) – ймовірності появи помилкової і невиявленої відмови при проведенні i -ї перевірки

Інша частина площі під кривою (штрихування іншого нахилу) відповідає значенню $Q_{o.к}$. Ймовірності помилкового вибракування параметра, що має номінальне значення x' (P_L), і невиявлення відмови параметра, що має номінальне значення x'' (P_H), відповідають площам заштрихованої частини під кривими по осі (y) на рис.3.2.

Якщо похибка вимірювання багато менше можливого розкиду значень вимірюваного параметра ($\sigma'_y \leq 0,1 \sigma'_x$) – випадок, який в практиці роботи зустрічається дуже часто, – можна вважати, що розподіли вимірюваного параметра і результатів вимірювань практично збігаються.

Закони розподілу сукупностей контрольованих параметрів і похибок вимірювання на практиці зазвичай – нормальні і залежать від часу. Залежність окремих параметрів від часу може мати

характер поступового дрейфу або миттєвих флуктуацій. Поступові зміни номінальних значень параметрів (типу дрейфу) повинні враховуватися підстановкою максимально можливих доглядів параметрів за час експлуатації апаратури. Наявність короткочасних флуктуацій може зробити істотний вплив на похибку вимірювання. Облік фактору часу у розрахунках зустрічає певні труднощі як організаційного порядку (відсутність і складність отримання вихідних даних), так і обчислювального (визначення кореляційних функцій і подальше обчислення за формулами Сімпсона). На практиці цю складність, обходять, використовуючи властивість ергодичності розподілу, тобто ту обставину, що усереднення випадкового аргументу за параметром і за часом призводить до однакових результатів.

Як правило, у процесі контролю прагнуть перевірити сукупність взаємозалежних параметрів ОК, так як в цьому випадку кількість окремих вимірювань і час проведення циклу контролю – мінімальні, і відповідно мінімізуються витрати на проведення контролю. У ряді практичних випадків немає повної взаємозалежності контрольованих параметрів ОК. Однак, не дивлячись на це, всі параметри іноді зручно вважати незалежними. Таке припущення значно спрощує проведення розрахунків з оцінки якості контролю, причому результатами розрахунків можна користуватися як граничними, тобто вважати, що, хоча справжнє значення достовірності може значно відрізнятись від отриманого при розрахунку, воно завжди має бути вище розрахункового. Підвищення достовірності результатів контролю за наявності кореляційного зв'язку пояснюється тією обставиною, що одні й ті ж первинні параметри (наприклад, ступінь чистоти напівпровідникового кристала, з якого виконаний діод) впливають на результати низки перевірок, і ймовірність появи помилок.

Вважаємо, що в одному циклі контролю результат «непридатний» може зустрітись тільки 1 раз, так як зазвичай після цього цикл контролю переривається і виробляється аналіз для локалізації та усунення несправності. Слід зазначити, що, як правило, значення $D_m(r)$ – невеликі. Однак, це – не дуже істотно, оскільки, по-перше, при отриманні результату «непридатний» проводиться аналіз причин з урахуванням суб'єктивних факторів (показання приладів та

ін.). По-друге, значення $D_m(r)$, може бути дещо збільшено, наприклад, автоматичним повторенням перевірки.

У практиці контролю технічних систем стан окремих елементів, вузлів і пристроїв ОК часто впливає на результати проведення ряду вимірювань в одному циклі контролю. Природно, що достовірність отриманих результатів при цьому повинна поліпшуватися. Зміна достовірності залежить від розкиду значень вихідних параметрів, які впливають на точність вимірювання, кількості окремих перевірок, участю одних і тих же частин ОК і кількості окремих перевірок в циклі контролю в цілому.

Граничним випадком максимального кореляційного зв'язку між окремими параметрами є повторення перевірки одного і того ж параметра в процесі контролю. При проведенні аналізу вимірювання похибка результату під час багаторазових вимірювань зменшується тільки за рахунок зменшення впливу випадкових факторів, незалежних для окремих вимірювань. На практиці похибка не може не виявитися менше значення, що визначається впливом неврахованих систематичних похибок.

При великому числі окремих незалежних факторів (практично при $m = 5$) з рівномірно малим впливом на результат вимірювання, погрішність вимірювання при проведенні серії вимірів розподіляється по нормальному закону відповідно з центральною граничною теоремою. У випадку явно і досить сильно вираженого впливу одного з факторів характер розподілу δ_y визначається впливом цього чинника. Значення σ_i для кожного (a_i) залежить від характеристик законів розподілу i -го параметра для сукупності приладів або сукупності вимірювань.

Найчастіше зустрічаються такі закони розподілу:

1. Нормальний закон розподілу (Гауса). Зустрічається при обліку впливу багатьох (практично більше 5) співмірних за величиною чинників. Графік розподілу, зображений на рис.2.19 а.

2. Усічений нормальний закон. Зустрічається після проведення, відбракування-вилучення частини приладів, у яких параметр лежить поза межами усічення $[b1, b2]$. Графік розподілу зображений на рис.2.19б (симетричне усічення) і на рис.2.19в (несиметричне усічення).

3. Рівномірний закон. Зазвичай використовується в разі відсутності вихідної інформації з яких-небудь значень змінної в діапазоні $\pm b$. При невідомому характері розкиду значень найкраще використовувати рівномірний закон. Наприклад, при аналізі впливу розкиду температурних умов на працездатність апаратури, що працює в нормальних (кімнатних $+15^\circ \div +35^\circ$) умовах, можна вважати розподіл температур рівномірним і у всьому діапазоні допустимих значень прийняти рівним $M(T^\circ) = 25^\circ$ і $\sigma(T^\circ) = (10/\sqrt{3})^\circ = 5,77^\circ$. Аналогічно при використанні елементів (припустимо, резисторів) з можливим 5%-вим розкидом номінальних значень і в інших випадках. Графік розподілу зображений на рис. 2.19 з.

4. Закон арксинуса (арккосинуса). Зустрічається при впливі гармонійної перешкоди з амплітудним значенням b , а також при проведенні регулювання з метою введення параметра в задане поле допуску ($A_b = b$; $A_n = -b$) у випадку досить великого допуску або в разі отримання результатів підстроювання у вигляді дискретного (так-ні) сигналу. Як правило одержуваний антимодальний закон розподілу найкраще описується розподілом арксинуса. Графік розподілу зображений на рис.2.19 д.

5. Розподіл модуля випадкової величини за нормальним законом. Зустрічається в компенсаційних методах порівняння або вибірки систематичної похибки. Сімейство графіків розподілу зображено на рис.2.19 е.

Розподіл параметрів, описуваних іншими законами зустрічаються досить рідко.

Усі параметри, які є джерелами похибок, доцільно розділити на дві великі групи або два типи. До першого типу слід віднести ті параметри, флуктуація яких за час проведення вимірювань (або однієї серії вимірювань, одного циклу контролю) істотно не впливає на похибку результату вимірювання. Зміна номінального значення параметрів першого типу відбувається протягом тривалого періоду часу між окремими серіями вимірювань або тільки при роботі з різними екземплярами однакових приладів. До цієї групи слід віднести розкид номінальних значень радіодеталей і джерел живлення, наявність систематичної похибки вимірювання, падіння напруги в лініях зв'язку і т. п. До другого типу слід віднести ті параметри, флуктуація яких (розкид або швидкість

зміни) за час проведення вимірювання може надати істотний вплив на похибку результату вимірювання. Параметри другого типу можуть змінюватися у відомих межах при проведенні однієї серії послідовних вимірювань в однакових умовах. До подібного роду параметрів можна віднести дискретність відліку, нестабільність спрацювання чутливого органу, вплив перешкод в тракці (зазвичай їх оцінюють за величиною еквівалентної напруги перешкод, наведених до входу вимірювального пристрою), нестабільність джерел живлення і т. п.

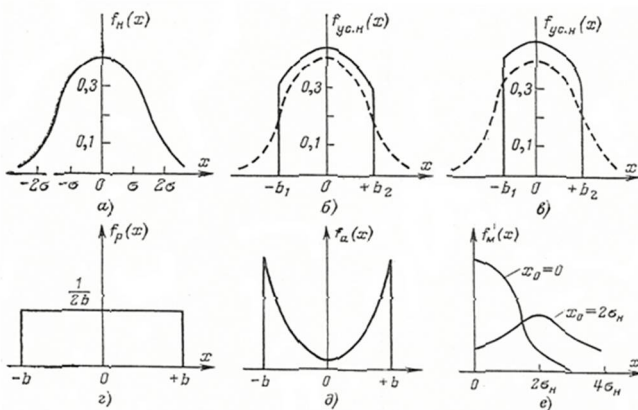


Рисунок 2.19. Графіки основних законів розподілу:

- a) – нормального, б) – симетрично усіченого нормального;
- в) – несиметрично усіченого нормального; г) – рівномірного;
- д) арксинуса; е) – модуля випадкової величини.

Природно, що поділ параметрів на дві групи декілька умовно, так як, наприклад, на практиці час проведення контролю (серії окремих вимірювань) може змінюватися в значних межах. З іншого боку, постійна часу зміни окремих параметрів може істотно не відрізнятися від часу одного виміру. Однак на практиці подібного роду випадки з великою похибкою даного джерела, зустрічаються досить рідко.

Доцільність поділу параметрів на дві групи виправдана наступними обставинами.

Різним підходом до аналізу причин похибок. Так, похибки другого типу визначаються в основному з досвіду, особливо такі, як рівень перешкод, наведених до входу вимірювального пристрою, тоді як вплив похибок першого типу визначається в основному аналітичним шляхом з технічної документації.

Різними для обох груп заходами, що підвищує точність вимірювання. Якщо вплив джерел похибок другого типу найбільш доцільно компенсувати статистичною обробкою результатів сукупності вимірювань, то вплив джерел похибок першого типу можливо компенсувати, наприклад, попереднім калібруванням тракту.

Слід зазначити, що деякі фактори можуть бути джерелами похибок як першого, так і другого типу одночасно в залежності від умов роботи. Так, наприклад, нестабільність межі спрацювання чутливого органу вимірювального пристрою може змінюватися в невеликих межах від вимірювання до вимірювання і в більш широких межах з часом під впливом зовнішніх умов і ряду інших причин. Аналогічно безпосередньо після включення апаратури може відбуватися процес виходу на сталий режим номінальних значень напруги джерел живлення.

Розглянемо визначення впливу джерел похибок першого і другого типу відповідно до загальних положень теорії ймовірностей. Враховуючи поділ на фактори двох типів, можна написати формулу:

$$\sum_y = \sqrt{\sum_i^g (K_i \sigma_i)^2 + \sum_{j=g+1}^m (K_j \sigma_j)^2} \quad (2.20)$$

де індексами (i) позначаються дисперсії від джерел похибок першого типу; індексами j -дисперсії за рахунок джерел похибок другого типу; g – кількість джерел похибок першого типу; m -загальна кількість джерел похибок. Похибки першого типу вносять в результат вимірювання систематичну похибку, постійну для даної групи вимірювань, даного вимірювального проведення випробувань, даного вимірювального приладу і т. п. У відповідності з характером джерела похибки першого типу, використовуються такі способи компенсації їх впливу:

1. Корекція при налаштуванні приладів після виготовлення.

При налагодженні складних приладів зазвичай передбачають на налагоджувальних елементів правильний вибір яких забезпечує

мінімальне значення похибки вимірювання, обумовлений розкидом номінальних значень параметрів радіодеталей;

2. Вибір методики проведення випробувань, що компенсує вплив похибок. Наприклад, часто використовується методика визначення кута зсуву фази за допомогою двох відрізків часу, що обмежуються переходами опорного й тиск що вимірюються гармонійних сигналів через нульове значення протягом одного періоду. Така методика дозволяє компенсувати вплив похибки за рахунок наявності постійної складової сигналу. Аналогічно при вимірюванні коефіцієнта посилення вплив постійної складової через нестабільність нуля тракту посилення компенсується двополярним вимірюванням і т. п.;

3. Корекція результатів вимірювання. До числа найбільш ефективних методів боротьби з похибками першого типу відносяться методи корекції, тобто врахування впливу похибок при оцінці результатів вимірювання.

Похибка результатів контролю можуть мати випадкову і систематичну складові.

Випадкова похибка – складова похибки результату вимірювання, змінюється випадковим чином (за знаком і значенням) при повторних вимірах однієї і тієї ж величини, наприклад, внаслідок зміни властивостей металічного стержня або параметрів навіпровідників у різних точках вимірювання, неправильного функціонування вимірювального пристрою, зміни зовнішніх умов вимірювання. У появі таких похибок не спостерігається якої-небудь закономірності, вони проявляються у вигляді розкиду отриманих даних. Випадкові похибки завжди присутні в результатах вимірювання, причому, чим більше вимірювання, тим менше випадкова похибка. Кожна випадкова похибка виникає в результаті дії багатьох чинників, кожен з яких сам по собі не чинить значного впливу на результат, але сумарна їх дія може викликати помітні похибки. Оскільки випадкові похибки не піддаються виключенню з результатів вимірювання, то при розгляді їх впливу на результат вимірювання завдання зводиться до вивчення властивостей сукупностей результатів окремих вимірювань.

Систематична похибка – складова похибки результату вимірювання, яка визначається впливом одного або декількох факторів, які діють постійною або закономірно змінюються. Цю похибку оцінюють по результатам вимірювань. Якщо значення систематичної похибки, оцінене в процесі вимірювання виявляється істотним в порівнянні з необхідною похибкою вимірювання, то необхідно прийняти міри до визначення причини її походження і її усунення або поправочний множник для компенсації цієї похибки.

Причинами виникнення систематичної похибки можуть бути:

- вплив засобу вимірювання, наприклад, знос, несправність, неправильна установка, налаштування;
- недосконалість методу вимірювання;
- розкид властивостей матеріалу по об’єму;
- умови вимірювання;
- суб’єктивні похибки – обумовлені станом оператора, що проводить виміри, його положенням під час роботи, недосконалістю органів чуття, його кваліфікацією і реакцією.

У метрологічній практиці при оцінці систематичних похибок повинен враховуватися вплив наступних чинників:

1. Об’єкт вимірювання. Перед виміром він має бути добре вивчений з метою коректного вибору його моделі. Наприклад, при вимірі площі сільськогосподарських угідь кривизна земної поверхні може не враховуватися, оскільки вона не вносить відчутної похибки, проте при вимірі океанів нею нехтувати вже не можна.

2. Суб’єкт вимірювання. Щоб зменшити похибку вимірювання необхідно підібрати оператора високої кваліфікації.

3. Метод і засіб вимірювання. Надзвичайно важливий їх правильний вибір.

4. Умови вимірювання. Забезпечення і стабілізація нормальних умов необхідна вимога.

Відомий ряд способів виключення систематичних похибок, які умовно можна розділити на чотири основні групи:

- усунення джерел похибок до початку вимірювання;
- виключення похибок в процесі вимірювання способами заміщення, компенсації похибок по знаку, протиставлення (перестановки), симетричних спостережень;

– внесення відомих поправок до результату вимірювання (виключення похибок обчисленням);

– оцінка меж систематичних похибок, якщо їх не можна виключити.

За характером прояви систематичні похибки поділяються:

За характером зміни в часі:

– постійні систематичні похибки – залишаються незмінними протягом усієї серії вимірювання. Наприклад, похибка від того, що неправильно встановлений нуль на шкалі приладу, похибка від постійної додаткової ваги на чашці ваг тощо.

– змінні (прогресивні) систематичні похибки – змінюються в процесі вимірювання, при цьому зростаючи або убуваючи. Періодичною називається похибка, значення якої є періодичною функцією часу. Наприклад, похибки, що виникають внаслідок зносу контактуючих деталей засобів вимірювання, при поступовому розряді батареї, що живить засіб вимірювання, коливання температури довкілля.

Систематичні похибки при повторних вимірах залишаються постійними або закономірно змінюються за певним законом. Ці похибки в деяких випадках можна визначити експериментально, а, отже, отриманий результат вимірювання може бути уточнений шляхом введення поправки

При контролі похибки утворюються в результаті впливу різних випадкових, контрольованих і неконтрольованих чинників (факторів). Похибки відносять до неперервних випадкових величин, тобто до таких, що можуть приймати ті чи інші числові значення в залежності від різних випадкових обставин. Одержувані при спостереженнях чи вимірах значення випадкової величини непередбачені, можна тільки задатися імовірністю одержання того чи іншого значення.

Похибки результатів контролю визначаються різницею між значенням вимірюваною величини та її дійсним значенням. Результат вимірювання це випадкова величина і він повністю визначає випадкову складову похибки, так як дійсне значення вимірюваною величини має стале значення. Дійсне значення, також, оцінюється по результатам вимірювання, якщо його математичне значення невідомо.

Для визначення виду розподілу та статистичних характеристик похибок доцільно провести статистичне дослідження результатів вимірювань, як випадкової величини.

Будь-які характеристики випадкової величини, отримані по результатам контролю, називаються вибірковими (емпіричними) характеристиками.

Групована форма представлення результатів вимірювань не містить інформації про кожен елемент сукупності. При цьому часто як значення вимірювання на інтервалі приймається його середина.

Розглянемо, як приклад, груповану форму представлення результатів вимірювань коефіцієнта підсилення транзисторів на тестових комірках пластин при виготовлення інтегральних схем

Приклад 4.1. Проведена дослідна партія пластин для виготовлення інтегральних схем, в якій було 3 тестових пластини. При проведенні партії по технологічному процесу особливо ретельно дотримувались технологічні режими, максимально виключений вплив сторонніх зовнішніх факторів. З партії взята одна тестова пластина, на комірках якої вимірювався коефіцієнт підсилення транзисторів, кількість вимірювань $n=100$. Результати вимірювань наведені табл.2.3.

В табл.2.3 показано число значень вимірювань m_i , що потрапили в кожен i -й інтервал і результати підрахунку відносних частот f_i .

Таблиця.2.3 – Результати вимірювань коефіцієнта підсилення транзисторів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	944,8	993,4	920,8	899,4	1042,0	840,6	958,5	1043,0	1018,4	1034,4
2	867,4	666,5	937,4	763,2	701,3	889,0	795,2	919,6	975,9	883,6
3	800,8	1006,0	998,5	842,4	883,5	1019,6	1002,1	1114,7	937,4	1091,8
4	943,5	917,2	808,4	842,0	981,1	989,3	972,1	754,3	897,2	1052,3
5	745,2	869,5	915,9	991,1	1090,9	1016,4	938,9	942,5	851,4	925,8
6	687,6	891,5	818,5	1028,3	965,0	975,6	770,9	690,5	934,9	888,8
7	950,0	870,7	901,8	1004,3	892,8	946,9	882,7	810,8	827,4	1042,5
8	889,6	954,7	961,4	966,5	1083,6	920,6	785,3	831,3	938,6	1103,1
9	1049,7	976,9	857,6	968,1	828,0	981,4	930,6	835,7	882,9	991,1
10	1046,9	766,0	946,1	876,7	903,2	860,1	930,0	869,5	820,9	874,8

Визначення виду розподілу вимірювань розподілу та їх характеристик доцільно виконувати за допомогою комп'ютерних технологій. [4,9].

Розрахунок статистичних характеристик і побудова гістограми з допомогою програмного пакета STATISTICA [4] визначаються процедурою, що складається з наступних кроків.

Крок 1. Ввести чи імпортувати (наприклад, з Excel) вихідні в робочу книгу (Workbook) системи STATISTICA.

Крок 2. Виділити стовпець із уведеними чи імпортованими даними, для якого необхідно розрахувати статистичні характеристики і побудувати гістограму. При необхідності можна змінити назву стовпця.

Крок 3. Клацнути по кнопці Start menu..., розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка й у меню, що з'явилося, вибрати Statistics → Basic Statistics and Tables → Descriptive Statistics.

Крок 4. Необхідні статистичні характеристики (описові статистики) задаються у вікні Descriptive Statistics на вкладці Advanced (рис. 2.16).

Крок 5. Для побудови таблиці з абсолютними і відносними частотами попадання даних в автоматично обраний інтервал і гістограми використовуються кнопки Frequency table, Histograms на вкладку Quick вікна Descriptive Statistics (рис. 2.20).

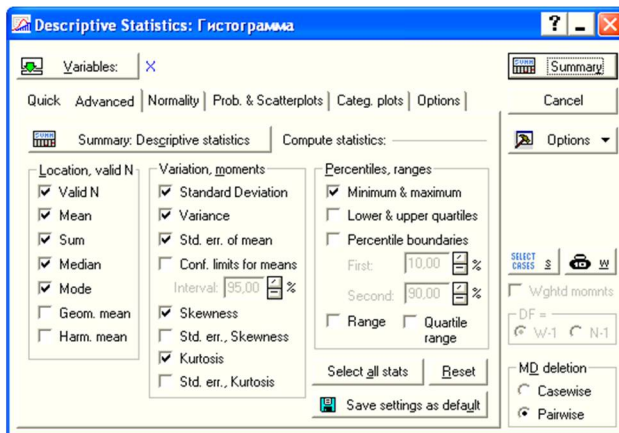


Рисунок 2.20 - Вкладка Advanced вікна Descriptive Statistics

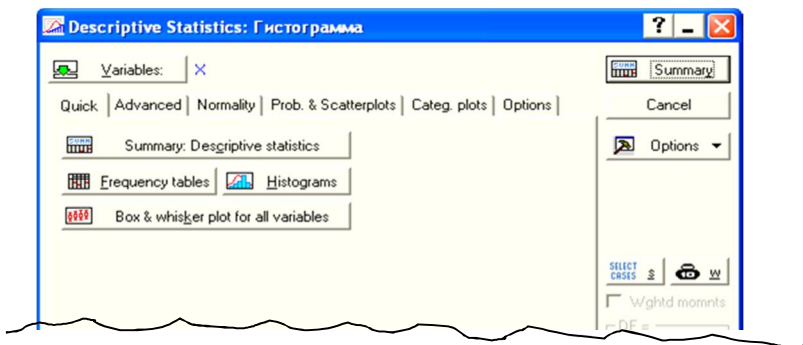


Рисунок 2.21 - Вкладка Quick вікна Descriptive Statistics

Приклад 4.3. Для прикладу виконаємо початкову статистичну обробку для вихідних даних з табл. 2.3. Вихідні дані імпортовані з таблиці Excel попереднього прикладу.

Статистичні характеристики – середнє арифметичне (Mean), медіана (Median), дисперсія (Variance), стандартне відхилення (Std. Dev.), асиметрія (Skewness), ексцес (Kurtosis) наведені на рис. 2.18. Таблиця частот і гистограма, отримані за технологією початкової статистичної обробки (модуль Basic Statistics and Tables → Descriptive Statistics) пакета STATISTICA, приведені на рис. 2.22, 2.23.

Descriptive Statistics (Spreadsheet6 in Workbook4)							
Variable	Valid N	Mean	Median	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
Var1	100	916,4860	923,3000	9261,327	96,23579	-0,327278	-0,061809

Рисунок 2.22. Статистичні характеристики

Frequency table: X (Гистограма)						
K-S d=,04776, p> .20; Lilliefors p> .20						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
600,0000 < x <= 700,0000	3	3	3,00000	3,0000	3,00000	3,0000
700,0000 < x <= 800,0000	8	11	8,00000	11,0000	8,00000	11,0000
800,0000 < x <= 900,0000	32	43	32,00000	43,0000	32,00000	43,0000
900,0000 < x <= 1000,0000	38	81	38,00000	81,0000	38,00000	81,0000
1000,0000 < x <= 1100,0000	17	98	17,00000	98,0000	17,00000	98,0000
1100,0000 < x <= 1200,0000	2	100	2,00000	100,0000	2,00000	100,0000
Missing	0	100	0,00000		0,00000	100,0000

Рисунок 2.23. Таблиця частот

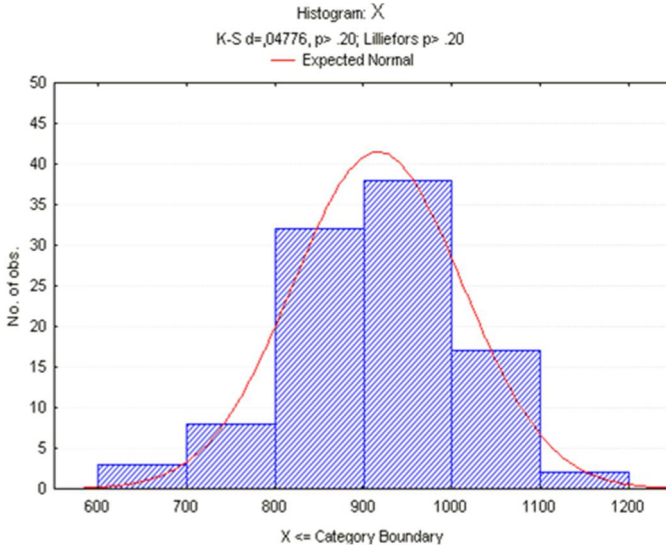


Рисунок 2.24 - Гістограма з нормально-розподіленими результатами вимірювань

На підставі значення $d=0,4776$, наведеного на гістограмі (рис. 2.24) для критерію Колмогорова-Смірнова ($K-S$), визначимо розрахункове значення цього критерію по формулі:

$$\lambda_{\text{розн.}} = \frac{6 \cdot n \cdot d + 1}{6 \cdot \sqrt{n}}$$

І одержимо розрахункове значення критерія $\lambda_{\text{розн.}} = 0,4166$.

Теоретичне значення критерію Колмогорова-Смірнова для рівня значимості $\alpha=0,05$ дорівнює $\lambda_{\text{розн.}} = 0,909$. Розраховане значення критерію менше теоретичного, що дозволяє зробити висновок, що результати вимірювань, відображені у наведеній гістограмі (рис. 2.20) відповідають нормальному закону розподілу.

Визначемо вид похибок на основі аналізу розподілу результатів контролю. Розглянемо аналіз похибок контролю за допомогою комп'ютерних технологій статистичної обробки результатів вимірювань коефіцієнта підсилення транзисторів на тестових комірках пластини, на яких формуються чіпи для інтегральних схем. Статистичної обробки одержаних результатів вимірювань проводилась з допомогою програмного пакету STATISTICA.

Аналіз одержаних результатів дозволив виділити три типових видів розподілу:

- нормальний розподіл (рис. 2.24),
- двомодальний розподіл (рис. 2.25),
- асиметричний розподіл (рис. 2.26).

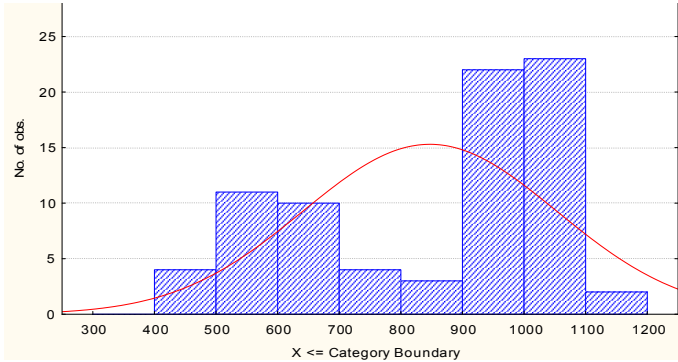


Рисунок 2.25 - Гістограма з двомодальним розподілом

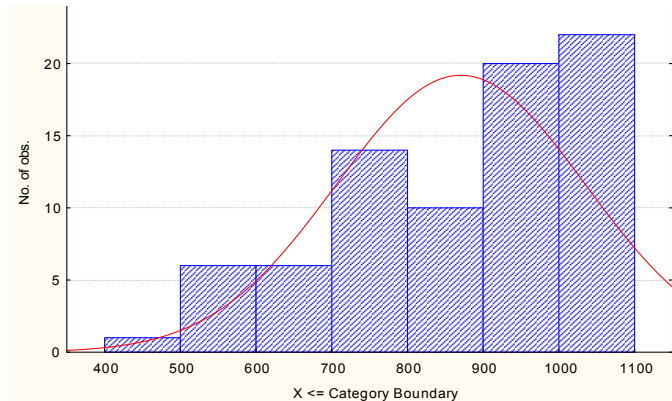


Рисунок 2.26 - Гістограма з асиметричним розподілом

Результати з статистичні характеристики для двомодального і асиметричного розподілів вимірювань наведені рис. 2.27.

Descriptive Statistics (Spreadsheet2 in Workbook1)							
Variable	Valid N	Mean	Median	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
Var1	100	793,1356	813,3704	45220,52	212,6512	-0,036711	-1,67145

а) для двомодального розподілу

Descriptive Statistics (Spreadsheet4 in Workbook3)							
Variable	Valid N	Mean	Median	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
Var1	100	891,6345	939,7237	25132,89	158,5336	-0,801508	-0,335302

б) для асиметричного розподілу

Рисунок 2.27 - Статистичні характеристики для двомодального і асиметричного розподілів

Наведені результати дозволяють зробити висновок про випадковий характер похибки – нормальний розподіл результатів вимірювань (рис. 2.24) та наявність систематичної похибки – двомодальний розподіл (рис. 2.25), асиметричний розподіл (рис. 2.26).

РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ І МОНІТОРИНГА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАУКОЄМКОЇ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

3.1 Застосування в авіадвигунобудуванні стандартів ISO 9001:2015 та AS/EN9100D:2016

До складних стохастичних систем в повній мірі можна віднести авіаційні двигуни, використання яких проходить в умовах які в багатьох випадках визначаються випадковим чином та мають випадковий розподіл ймовірностей, через що результат поведінки двигуна в кожних конкретних умовах експлуатації не може бути передбаченим заздалегіть точно.

Питання застосування в авіадвигунобудуванні стандартів ISO 9001:2015 та AS/EN9100D:2016 детально розглянуті в [20, 36].

Нова версія стандарту ISO 9001:2015 була прийнята у вересні 2015 р. У стандарті змінена послідовність викладу вимог, що пов'язане з переходом ISO до єдиної структури стандартів на системи менеджменту, що відповідає «Доповненню SL до Додатка 2 Директив ISO/IEC, Частина 1. Зведене доповнення до ISO, 2013 рік». Дане доповнення націлене на забезпечення погодженості стандартів ISO на різні системи менеджменту, що спрощує їхнє впровадження організаціями, яким необхідно відповідати вимогам двох або більше таких стандартів одночасно. У стандартах ISO на системи менеджменту встановлена наступна уніфікована послідовність розділів: 1. Область застосування, 2. Нормативні посилання, 3. Терміни й визначення, 4. Контекст організації, 5. Лідерство, 6. Планування, 7. Засоби забезпечення, 8. Діяльність на стадіях життєвого циклу продукції й послуг, 9. Оцінка результатів діяльності, 10. Поліпшення.

Поняття «контекст організації» або «середовище організації» було уведено ще в 2009 р. стандартом ISO 9004. У стандарті зазначено, що середовище - це «сполучення внутрішніх і зовнішніх факторів і умов, які можуть вплинути на досягнення цілей організації і її поведіння відносно зацікавлених сторін». Таким чином, відповідно до цього визначення, критеріями для виявлення факторів, що впливають, є їхні зв'язки із цілями організації і її взаємин із зацікавленими сторонами.

Для стандарту ISO 9001:2015 на системи менеджмента якості (СМК) вимога визначення контексту (ділового середовища) організації є новим і, тому, становить інтерес для детального розгляду з погляду практичного застосування в СМК підприємств, що сертифікують свої системи на відповідність цьому стандарту.

Будь-яка організація перебуває й функціонує в певному середовищі, що створює ризики або надає додаткові можливості в досягненні організацією намічених цілей. Кожна дія організації можливо тільки в тому випадку, якщо середовище допускає його здійснення. Сукупність всіх факторів, що ставляться до намірів і стратегічного напрямку організації й впливають на її здатність досягати намічених результатів, називається контекстом (діловим середовищем) організації.

Контекст організації необхідно визначати для того, щоб мати можливість установлювати джерела можливих ризиків і здійснювати діяльність по їхньому усуненню або максимальній мінімізації. При визначенні контексту організації необхідно враховувати як зовнішній, так і внутрішній контекст.

Зовнішній контекст (зовнішнє середовище) - це сукупність активних господарюючих суб'єктів, економічних, суспільних і природних умов, національних і міждержавних структур, інших зовнішніх умов і факторів, в оточенні яких діє організація, і які впливають на різні сфери діяльності організації. Зовнішнє середовище спричиняється зовнішні фактори впливу - умови, які організація не може змінити, але повинна постійно враховувати у своїй роботі: зацікавленість споживачів, уряду, що складаються економічні умови й так далі. Основні складові зовнішнього середовища це: конкуренти, споживачі, постачальники, трудові ресурси, органи державного регулювання й контролю, економічне, політичне, науково-технічне, соціокультурне, природне середовище й т.п.

Внутрішній контекст (внутрішнє середовище) - це взаємодіючі суб'єкти організації (подразделения й окремі посадові особи), а також ситуаційні фактори усередині організації. Основні змінні внутрішньої середовища організації, які вимагають уваги керівництва, це: мети, структура, завдання, технологія й люди.

Для розуміння контексту організації важливо, насамперед, визначити категорії й состав зацікавлених сторін, потреби яких стосовно організації й будуть становити те «поле напруги», що впливає на діяльність організації й створює для неї певні ризики або дає додаткові можливості для досягнення стійкого успіху в розвитку в цілому. У рамках визначення контексту організації повинні бути встановлені всі можливі зацікавлені сторони й виявлені їхні потреби й очікування.

Тільки добре розуміючи потреби й очікування зацікавлених сторін можна будувати відкриті відносини зі споживачами, персоналом, постачальниками й партнерами, інвесторами, суспільством, керуючись засадами ділової етики, підтримуючи конкурентне середовище й одночасно створюючи умови для довгострокового партнерства.

Число зацікавлених сторін може бути дуже більшим. Беручи до уваги те, що необхідно виявляти фактори, що впливають, і умови взаємодії організації з усіма важливими зацікавленими сторонами, доцільно деталізувати саме поняття «зацікавлені сторони». Так, під споживачами можна розуміти: як потенційних споживачів, з урахуванням узагальнених вимог і очікувань яких організація планує поставляти на ринок продукцію або робити послуги; так і замовників, які вже розмістили в організації свої замовлення з конкретними вимогами на поставку продукції або надання послуги. Під терміном «клієнти» потрібно розуміти покупців продукції (особливо постійних) або замовників якої-небудь послуги. Що стосується власників, те це - фізичні або юридичні особи, що володіють правом власності відносно даної організації, і в них теж є свої інтереси й потреби. Акціонери - це власники акцій організації, що має форму акціонерного товариства. Акції надають право їхнім власникам брати участь у виборі керівництва організації й одержанні дивідендів, утворених у результаті розподілу частини прибутку організації.

Чте стосується постачальників, те це - організації, що займаються поставками матеріалів, що комплектують виробів і іншої необхідної організації продукції. У стандарті ISO 9001:2015, зокрема, зазначено, що організація взаємодіє з «зовнішніми постачальниками», які здійснюють необхідні для її

діяльності зовнішні поставки процесів, продукції й послуг. Взаємодіючи із зовнішніми постачальниками, організація повинна вести моніторинг і керування такими поставками.

Для виконання організацією вимог по захисту навколишнього середовища по профілі своєї діяльності їй, можливо, потрібно буде взаємодіяти з екологічними організаціями, а у випадку порушення екологічного законодавства із правоохоронними органами. Зрозуміло, що в коло суб'єктів, з якими взаємодіє організація й від інтересів яких може в більшому або меншому ступені залежати успіх самої організації, може входити істотно більша кількість зацікавлених сторін.

Дуже важливо виробити критерій, по якому буде створюватися система учасників - зацікавлених сторін і набір їхніх потреб, з якого можна вичленувати складові ризиків і можливостей для організації. На наш погляд, вірніше формулювати потреби й очікування зацікавлених сторін так, щоб відразу можна було сформулювати відповіді на питання: «Чого очікувати від такої потреби? У чому ризик або можливості від даної потреби?».

Зацікавлені сторони, потреби, очікування

Таблиця 3.1

Зацікавлена сторона	Потреби й очікування
Споживачі/клієнти	Якість, ціна й виконання поставок продукції
Персонал організації	Робітниче середовище. Охорона праці. Визнання й винагорода.
Постачальники й партнери	Взаємні вигоди й сталість

Очевидно, що з того, що в абстрактних споживачів є потреба як одержувана продукція, неможливо зробити вивід які конкретні ризики впливають із цієї потреби для організації при забезпеченні цієї самої якості. Вірніше встановити конкретного споживача конкретної продукції і його конкретні потреби, зв'язані саме з даною продукцією. Наприклад, організація розробляє комплект конструкторської документації (КД) для виготовлення авіадвигуна типу А на заводі Б. У заводу Б є зацікавленість у тім, щоб поряд з

виготовляємої серійно й комплектуємої двигунами типу А, він міг по спецзамовленню виготовляти ексклюзивні екземпляри зі споживчими властивостями на 10-15 %, що перевищують двигуни серійної комплектації. Таку можливість завод Б буде мати, якщо в КД будуть визначені ключові характеристики конфігурації й процесів виготовлення, керування якими дозволить одержати таке підвищення споживчих властивостей. Тоді, споживач - це «Завод Б». Його потреби й очікування - «Одержати КД, у якій повинні бути обов'язково зазначені конкретні ключові характеристики, керування якими забезпечить підвищення споживчих властивостей двигуна типу А на 10-15 %». Звідси відразу випливають ризики: організація не зможе призначити достатнє із ключових характеристик; у встановлений термін не встигне підтвердити експериментально, що керування заданими ключовими характеристиками дасть очікуваний ефект; для проведення подібних робіт будуть потрібні занадто більші фінансові витрати й так далі. З іншого боку, задоволення даної потреби відкриває можливість для організації пропонувати подібні ключові характеристики в КД інших типів двигунів для інших споживачів, що буде гарантувати конкурентоспроможність нових проектів на сучасному міжнародному ринку авіадвигунобудування. З наведеного приклада треба, що потреби й очікування зацікавлених сторін треба встановлювати адресними й конкретними, щоб з них очевидно випливали ризики й можливості.

У результаті подібного аналізу може бути встановлено кілька десятків зацікавлених сторін, а їхніх потреб і очікувань може виявитися кілька сотень.

Риск-орієнтований підхід до менеджменту якості повинен будуватися на аналізі можливих ризиків, що впливають із потреб зацікавлених сторін і вживанні заходів по їхньому усуненню або мінімізації. Для цього, у рамках контексту організації всі встановлені потреби зацікавлених сторін повинні бути класифіковані по напрямках впливу й ранжирувані по ступені важливості для досягнення кінцевих цілей і завдань організації. Ризики пропонується ранжувати шляхом проведення експертних оцінок. Діапазон ранжирування може бути обраний у діапазоні від 1 до 10. Результатом повинна стати таблиця, що містить перелік

зацікавлених сторін, їхніх потреб і очікувань, певних на підставі цих потреб і очікувань ризиків і можливостей, а також напрямків впливу цих ризиків і їхні рейтинги.

Для ризиків, що ставляться до тому самому напрямку впливу, визначається сумарний рейтинг напрямку по формулі:

$$R_H = \sum_{i=1}^n r_i \quad (3.1)$$

де R_H – сумарний рейтинг напрямку;

r_i – рейтинг ризику по окремій потребі зацікавленої сторони по даному напрямку.

Отримані по формулі (3.1) сумарні рейтинги напрямків впливу аналізуються за допомогою діаграми Парето. Для цього будується діаграма, на якій по осі абсцис (у порядку убутання сумарних рейтингів) розташовуються напрямки впливу, по яких можуть виникати ризики. Накресливши кумулятивну криву (криву Парето) з діаграми легко визначити по яких напрямках у першу чергу необхідно уживати заходів для усунення або мінімізації можливих ризиків. На рисунку 3.1 наведений приклад аналізу напрямків впливу контексту організації з позиції ризиків. Результат указує, що в даному конкретному випадку роботи з усунення або мінімізації ризиків, у першу чергу, необхідно проводити по фінансовому, технічному, технологічному, виробничому й маркетинговому напрямкам.

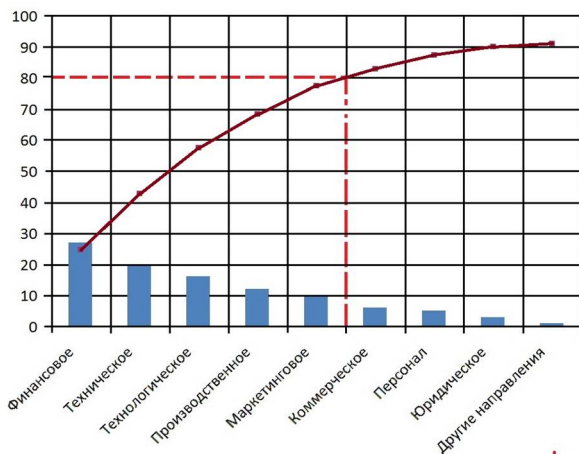


Рисунок 3.1. Аналіз пріоритетності напрямків впливу потреб зацікавлених сторін

Таким чином, щоб досягти стійкого успіху шляхом задоволення потреб і очікувань своїх зацікавлених сторін протягом тривалого періоду, організації потрібно:

- визначити зацікавлені сторони й підтримувати здатність збалансована відповідати на їхні потреби й очікування;
- для цього постійно проводити моніторинг і аналіз контексту організації;
- постійно взаємодіяти із зацікавленими сторонами й аналізувати їхні потреби;
- перетворювати певні потреби й очікування у вимоги з яких випливають можливі ризики;
- визначати, оцінювати й управляти коротко- і довгостроковими ризиками, розгортати стратегію організації на їхнє зниження;
- сконцентруватися на поліпшенні процесів з метою забезпечення запитів зацікавлених сторін.

При ринковій економіці будь-якої організації недостатньо діяти тільки на рівні сформованих традиційних умов. Їй варто створити конкурентні переваги, які залучать додаткове число

споживачів і забезпечувати необхідний розвиток для організації. Конкурентні переваги організація одержує завдяки корисним для споживача відмітним властивостям її продукції, пропонованих послуг або форм діяльності в порівнянні із пропозиціями конкурентів. Таких переваг можна домогтися шляхом поліпшення якості продукції й послуг, зниження їхньої вартості, скорочення строків поставки й поліпшення обслуговування продукції, збільшення гарантійних строків і т.п., вчасно реагуючи на потреби й очікування зацікавлених сторін.

Аналізуючи фактори й умови, що визначають поточне конкурентне положення організації, а також тенденцій і новинок, що стосуються продукції й послуг, опираючись на знання про існуючий контекст організації, можуть бути висунуті ідеї й знайдені способи практичного одержання конкурентних переваг. Знайдені ідеї є основою для розробки й реалізації стратегічного напрямку діяльності організації на певну перспективу.

Основної складової СМК повинно стати формування мережі процесів, що забезпечує досягнення основної й стратегічної цілей організації в рамках установленого контексту організації.

Організація повинна постійно проводити аналіз власного контексту, визначати пріоритетні дії для підвищення конкурентоспроможності випускає продукції, що, з урахуванням потреб і очікувань зацікавлених сторін. Результати аналізу повинні розглядатися вищим керівництвом організації для прийняття дій по усуненню або мінімізації можливо виниклих ризиків, що перешкоджають досягненню намічених цілей.

3.2 Моніторинг, вимірювання, аналіз та оцінка результативності системи менеджменту якості

Сучасні системи менеджменту якості (СМК) більшості підприємств будуються на основі вимог міжнародного стандарту ISO 9001:2015. В Україні це стандарт прийнятий у якості національного з позначенням ДСТУ ISO 9001:2015

У рамках вимог стандарту ISO 9001:2015 подання діяльності будь-якого підприємства як сукупності взаємозалежних процесів покликано забезпечити результативне досягнення поставлених перед ним цілей. Відповідно до концепції процесного підходу це

стосується, у першу чергу, досягнення основних цілей виробничої діяльності, одержання прибутку від реалізації продукції, що необхідна для підтримки й подальшого розвитку підприємства. Реалізуючи процесний підхід підприємство одержує діючий механізм для результативного й ефективного функціонування в конкурентних умовах ринку. Мається на увазі, що підприємство, що застосовує стандарт ISO 9001:2015, зобов'язано забезпечити результативне виконання встановлених у ньому вимог. Після цього воно зможе просуватися далі до забезпечення ефективності, конкурентоспроможності й успішності своєї діяльності.

Впровадження СМК на основі стандарту ISO 9001:2015 при розробці нових типів авіаційних двигунів розглянуто в роботах [17, 18].

Для підприємства, головним завданням якого є розробка нових типів авіаційних двигунів, основним процесом у загальній системі всіх здійснюваних дій є процес проектування. Оцінка результативності цього процесу відіграє найважливішу роль при аналізі результативності СМК, що проводиться на підприємстві в цілому. Відповідно до міжнародного стандарту ISO 9001:2015 (ДСТУ ISO 9001:2015), для оцінки результатів діяльності підприємства в рамках СМК, безпосередньо пов'язаної із процесом проектування авіаційних двигунів, необхідно визначати: що повинне підлягати моніторингу й вимірам; методи моніторингу, виміру, аналізу й оцінки, необхідні для забезпечення достовірних результатів; коли повинні проводитися моніторинг і виміри; коли результати моніторингу й вимірів повинні бути проаналізовані й оцінені. Підприємство повинне постійно оцінювати результати діяльності й результативність своєї СМК; а також реєструвати й зберігати відповідну документовану інформацію як свідчення отриманих результатів.

Процесам планування цей стандарті ISO 9001:2015 приділяється особлива увага.

У розділі 6 утримуються вимоги до планування дій, пов'язаних з функціонуванням самої системи менеджменту якості. При плануванні в СМК повинні враховуватися ризики й можливості організації для забезпечення впевненості в тім, що СМК може досягти своїх намічених результатів; домогтися збільшення

бажаного впливу від можливостей і запобігання або зменшення небажаного впливу ризиків; а також досягнення поліпшень. Вказується, що організація повинна планувати дії по розгляду ризиків і можливостей; а також того, яким образом інтегрувати й впровадити дії по реагуванню на ризики й можливості в процесі СМК. Також повинне плануватися оцінювання результативності цих дій.

У розділі 8 стандарту мова йде про планування й керування безпосередньо виробничими процесами підприємства, що забезпечують необхідну якість поставляє продукції, що, або послуг, а також про планування дій, спрямованих на встановлення критеріїв якості виконуваних виробничих процесів; приймання продукції й послуг; визначення ресурсів, необхідних для досягнення відповідності вимогам до продукції й послуг; керування процесами відповідно до цих критеріїв; визначення й збереження документованої інформації в необхідному обсязі. Вказується, що організація повинна управляти запланованими змінами й аналізувати наслідки непередбачених змін, вживаючи заходів для зниження будь-якого негативного ефекту, якщо це необхідно.

Стандарт ISO 9001:2015 (розділ 9) також передбачає обов'язкове проведення моніторингу й вимірів процесів для постійного оцінювання функціонування й результативності системи менеджменту якості підприємства. Тому, аналіз результативності й ефективності процесів планування, як основи для своєчасного і якісного створення нових зразків авіадвигунів, є важливою складовою в загальній системі забезпечення необхідного рівня якості кінцевого продукту.

В [17] розглянута роль оцінки результативності процесу проектування авіаційних двигунів у загальній системі менеджменту якості підприємства. Запропоновано використати багаторівневу ієрархічну систему показників. Така система дозволяє оцінити результативності по окремих заданих показниках і критеріям, а також визначити інтегрований показник процесу.

У стандарті ISO 9000:2015 стосовно до поняття результативності функціонування СМК дане наступне визначення: результативність - це «ступінь реалізації діяльності й досягнення

запланованих результатів». Таке визначення містить оцінку результатів двох складових виконуваної діяльності: оцінку ступеня реалізації запланованої діяльності й оцінку ступеня досягнення запланованих результатів, тобто відповідності отриманих результатів запланованим значенням. Застосування першої частини визначення результативності припускає аналіз і оцінку виконання виконавцем всіх запланованих дій, а використання другої частини - подання доказів досягнення запланованого результату. Як правило, використання першої частини визначення результативності корисно виконавцеві процесу в діагностичних цілях і для звітності про виконання завдання, а для споживача результатів процесу істотно друга частина визначення результативності про ступень досягнення запланованого результату. У стандарті не втримується коментарів про те, чий оцінці належить пріоритет. Однак у цьому стандарті встановлені основні принципи СМК, першим з яких є «Орієнтація на споживача». Це означає, що пріоритет повинен віддаватися споживачеві. Саме він в остаточному підсумку оцінює якість зробленої продукції або послуги.

Таким чином, у визначенні результативності повинні враховуватися інтереси двох сторін: виконавця процесу й споживача. Із цих позицій необхідно вибирати параметри й критерії, по яких повинна вироблятися оцінка результативності процесу проектування авіадвигунів.

Аналіз результативності включає не тільки загальну підсумкову оцінку процесу, але й оцінки за окремими показниками й категоріям, а також може включати аналіз значень деяких проміжних параметрів. Таким чином, при виникненні ситуації, коли процес оцінюється як не результативний у цілому, по оцінках окремих показників і категорій відразу видний проміжний показник, що є причиною не результативності всього процесу. Даний підхід дозволяє сконцентрувати зусилля підприємства і його окремих зацікавлених підрозділів на більше вузькому й поглибленому аналізі в конкретній предметній області.

Кількісна оцінка результативності є інтегральним показником для оцінки СМК. У силу цього формування такої оцінки є обов'язковою складовою аналізу, застосовуваного на підприємстві до своєї СМК.

У загальному випадку можна сформулювати такий підхід до оцінки результативності СМК:

- використання багаторівневої системи показників;
- автоматизована обробка інформації;
- документування обробленої інформації й збереження результатів для їхнього аналізу в динаміку розвитку.

Збір інформації повинен здійснюватися цілеспрямовано у відповідності зі сформованою документованою процедурою. При цьому джерела інформації повинні бути строго визначені.

В ієрархічній системі показників результативності аналіз здійснюється по рівнях: показники результативності по окремих заданих показниках і критеріям інтегруються в показники процесів, а ті, у свою чергу, у показники системи в цілому. Формування ієрархічної системи показників СМК, як правило, виробляється в наступному порядку.

1. Визначаються категорії показників K_i для кожного з процесів, які групуються по рівнях важливості для призначення різних по їхній значимості вагових коефіцієнтів.

2. Виконується призначення ваг для обраних категорій W_i з виконанням умови $\sum W_i = 1$.

3. Установлюється розрахункова формула для підрахунку результативності по кожному показнику аналізованого процесу.

4. Як обмежуючі величини встановлюються критерії прийнятної результативності по кожному показнику й для процесу в цілому.

5. Для кількісної оцінки результативності потрібно також установити поле допуску, що визначає прийнятність одержуваного результату. Вихідний результат або просто результат процесу - це те, що конкретно виходить при кожному циклі виконання цього процесу. Дані про результат процесу повинні зіставлятися із установленою нормою, на підставі чого робиться висновок про його відповідність або невідповідність установленій вимозі залежно від влучення або невлучення результату в задане поле допуску.

6. Необхідно провести вибір показників результативності процесів, які включають показники по окремих виконуваних функціях, реалізованим у рамках конкретних процесів.

7. Необхідно створити формулу для оцінки інтегрального показника результативності СМК, як сукупності показників результативності окремих процесів.

Оцінка результативності СМК у загальному випадку повинна включати наступні етапи:

- визначення відповідальних за збір, надання інформації з обраних показників для оцінки результативності, а також відповідальних за обробку цієї інформації;
- вимір і оцінку показників приватних критеріїв результативності процесів;
- підрахунок результативності процесів СМК, обробку отриманих даних і подання їх у вигляді, зручному для аналізу з боку керівництва;
- розробку коригувальних і попереджуючих дій за результатами проведеного аналізу;
- контроль виконання прийнятих заходів.

При цьому, для аналізу результативності процесу проектування авіаційних двигунів важливе значення має вибір параметрів і критеріїв, по яким буде здійснюватися оцінка результативності.

Для проведення кількісної оцінки, найбільш раціональним буде вибір параметрів із числа показників діяльності, по яких на підприємстві проводиться постійний моніторинг ходу виконуваних робіт. Такий підхід не буде вимагати додаткової звітності від керівників і провідних спеціалістів, що організують процес проектування.

У найбільш загальному виді результативність можна визначити, як відношення фактично досягнутого результату по обраному параметрі до нормативного цільового показника, що був установлений для даного параметра на аналізований період. Однак, у ряді випадків, при одержанні невисоких показників результативності, такий спрощений підхід не дасть підстави для проведення поступових поліпшуючих дій, що забезпечують ріст даного показника. І з іншого боку, бажання негайно поліпшити всі показники процесу може привести до необґрунтовано високих витрат людських і матеріальних засобів, розпиленню ресурсів на виконання другорядних робіт, які не впливають істотно на ступінь

реалізації запланованої діяльності й досягнення запланованих результатів з погляду споживача результатів процесу. Тому, оцінку результативності всього процесу доцільно визначати по формулі:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i, \quad (3.2)$$

де R – результативність процесу;

P_i – розрахункове значення i -го показника результативності, у відсотках;

k_i – вагарні коефіцієнт i -го показника процесу.

Розрахункове значення i -го показника результативності P_i визначається по формулі:

$$P_i = (\Phi_i \cdot 100) / T_i, \quad (3.3)$$

де Φ_i – фактично досягнутий результат по i -му оцінюваному показнику процесу, обумовлений по відповідній формулі, у відсотках;

T_i – поточний цільовий рівень показника, установлюваний керівником процесу.

Установлюючи такий цільовий рівень можна ставити перед виконавцями реально досяжні цілі за конкретними показниками й, таким чином, мобілізувати їх на постійне поступове поліпшення результативності, без непотрібних споживачеві авралів і штурмівщини в ім'я показника за всяку ціну.

Очевидно, що важливим показником результативності й ефективності ведення робіт при проектуванні авіаційних двигунів є виконання намічених планів. Тому, у якості одного з найважливіших показників може бути обраний показник: «Виконання пунктів тематичних планів проектування авіаційних двигунів зі строком виконання у звітному місяці». Слід зазначити, що часто, при плануванні, строки ряду проміжних робіт призначаються з випередженням по фактично необхідному часі з метою мобілізувати виконавців на більше раннє виконання робіт. При цьому, без шкоди для остаточного результату процесу, ряд робіт можуть виявитися невиконаними в силу перевантаженості

виконавців. У цих випадках керівник процесу може встановлювати поточний цільовий рівень показника меншим ста відсотків.

Якщо на підприємстві ведеться вибірковий контроль виконання пунктів планів, по яких строки можуть переноситися, ще одним параметром для оцінки результативності може бути прийнято: «Виконання вартих на контролі пунктів тематичних планів, строки по яких переносилися два й більше рази». У цьому випадку фактично досягнутий результат Φ_i по даному показнику може бути розрахований по формулі:

$$\Phi_i = (1 - ЧНП/ОЧП), \quad (3.4)$$

де $ЧНП$ – число невиконаних пунктів планів, що коштують на контролі, строки по яких переносилися два й більше рази;

$ОЧП$ – загальне число пунктів планів, що коштують на контролі, строки по яких переносилися два й більше рази.

Якщо на підприємстві є окремі плани, реалізовані в процесі проектування, яким керівництвом приділяється особлива увага, контроль виконання таких планів також може розглядатися як незалежний показник при оцінці результативності. Наприклад, це може бути: «Відсоток виконання планів експериментально-доводочних робіт в аналізованому періоді». Плани експериментально-доводочних робіт складаються, ка правило, на кілька місяців, а відсоток їхнього виконання контролюється щомісячно. Тому, у цьому випадку підрахунок фактично досягнутий результат Φ_i по даному показнику можна проводити по формулі:

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^n ПВП_j / (100 \cdot n), \quad (3.5)$$

де $ПВП_j$ – відсоток виконання плану експериментально-доводочних робіт з місяців в аналізованому періоді планування;

n – кількість місяців в аналізованому періоді планування.

До показників, що впливають на результативність і ефективність процесу проектування, безумовно, потрібно віднести якість конструкторської документації, що випускає. Показником якості конструкторської документації, що випускає, можуть

служити результати її перевірки при нормоконтролі. За правилами нормоконтроля документи пред'являються на нормоконтроль двічі – спочатку оригінал, потім виконаний по цьому оригіналі оригінал. Зауваження, зроблені нормоконтролером по оригіналі конструкторського документа, повинні бути повністю усунути виконавцем до виготовлення оригіналу. Однак, досвід показує, що деякі зауваження по тим або інших причинах залишаються не усунутими й виконавцеві доводиться допрацьовувати вже виготовлений оригінал. Показником для оцінки результативності в цьому випадку може стати «Коефіцієнт якості конструкторської документації, що випускає», що визначається по формулі:

$$\Phi_i = \left(1 - \frac{K3П}{K3O}\right), \quad (3.6)$$

де $K3П$ – кількість зауважень в оригіналах;

$K3O$ – кількість зауважень в оригіналах.

Якщо на підприємстві проводиться моніторинг ходу виконуваних робіт у процесі проектування за іншими показниками, ці показники також можуть бути використані для оцінки результативності процесу на додаток до перерахованим вище або замість якихось показників.

Не слід забувати, що розглянуті показники результативності процесу й критерії по них не рівною мірою можуть характеризувати процес, тому їхній внесок у загальну оцінку повинен бути нормирований за допомогою вагових коефіцієнтів для обраних категорій Wi з виконанням умови $\sum Wi = 1$.

Одержаний остаточний результат можна оцінити, використовуючи наступну оцінну шкалу:

$0 < R < 0,4$ – процес не результативний. Меті й завдання не досягнуті, необхідне прийняття термінових коригувальних дій для виявлення й усунення причин невідповідностей. Потрібне повне переосмислення процесу;

$0,41 < R < 0,65$ – низький рівень результативності процесу. Процес, як і в попередньому випадку, вимагає глибокого аналізу;

$0,66 < R < 0,75$ – середній рівень результативності процесу. Меті й завдання частково досягнуті. Необхідно розробляти

коригувальні дії для виявлення й усунення причин невідповідностей;

$0,76 < R < 0,85$ - процес результативний. Мети й завдання близькі до досягнення;

$0,86 < R < 1$ – високий рівень результативності процесу. Поставлені цілі й завдання практично досягнуті або виконані повною мірою.

Для оцінки результатів діяльності в рамках СМК, безпосередньо пов'язаної із процесом проектування авіаційних двигунів, підприємство повинне визначити: що повинне підлягати моніторингу й вимірам; методи моніторингу, виміру, аналізу й оцінки, необхідні для забезпечення достовірних результатів; коли повинні проводитися моніторинг і виміри; коли результати моніторингу й вимірів повинні бути проаналізовані й оцінені. Підприємство повинне постійно оцінювати результати діяльності й результативність своєї СМК; а також реструувати й зберігати відповідну документовану інформацію як свідчення отриманих результатів.

З метою виявлення корінних причин одержання незадовільних показників результативності, доцільно розглядати кожний критерій більш детально, аналізуючи результати участі кожного окремого підрозділу в процесі проектування. Такий підхід зажадає більше детального розгляду одержуваних показників і застосування методів, що дозволяють робити швидкий аналіз більших масивів інформації. У цьому випадку пропонується використання для цих цілей елементів теорії графів.

Застосування для моделювання й аналізу процесів СМК підходу, пов'язаного з використанням спрямованих (орієнтованих) і ненаправлених графів [21], є досить зручним і досить інформаційним для виявлення корінних причин недоліків в аналізі результативності прийнятих управлінських рішень.

Теорія графів, як і будь-яка математична теорія, використовує деяку символіку й поняття, які застосовуються при проведенні досліджень. Центральним поняттям теорії графів є поняття графа, як деякої схеми, що складає з безлічі вершин (вузлів) V , з'єднаних між собою безліччю ребер E , між якими є зв'язок, тобто визначений відношення так званої інцидентності. Граф $G=(V,E)$ – це

схематичне зображення розглянутого фізичного об'єкта. Залежно від способу з'єднання вершин розрізняються спрямовані й ненаправлені графи. Для випадку ненаправленого графа, кожна вершина має k зв'язків по числу ребер, пов'язаних із цією вершиною. Для спрямованого графа, зв'язку вершини підрозділяються на певне число n джерел (виходів) і m стоків (входів) потоків, що й може бути використане в аналізі різних складових показників процесу проектування.

Розглядаючи різні способи формалізованого подання будь-якої моделі за допомогою графа, можна відзначити, що графічний вид є найбільш наочною формою подання, однак він не може бути використаний для рішення завдань структурного аналізу. Істотними достоїнствами володіє інша форма подання, у якій граф заданий і повністю визначений за допомогою сукупності матриць. Розгляд матриць, що містять відомості про процеси СМК, дозволяє одержати багатий аналітичний матеріал для прийняття ефективних рішень у менеджменті якості. У теорії графів розрізняють матрицю суміжності вершин $M1(G)$, матрицю інцидентності $M2(G)$, матрицю суміжності ребер $M3(G)$. Матриця суміжності графа — квадратна матриця A порядку

n , де елемент a_{ij} дорівнює числу ребер, що з'єднують вершини i і j . Матриця інцидентності I — це матриця, у якій число рядків дорівнює числу вершин, число стовпців — числу ребер; $i_{ve} = 1$, якщо вершина v інцидентна ребру e ; у протилежному випадку $i_{ve} = 0$.

Проаналізуємо за допомогою графа такий показниками процесу проектування як «Кількість конструкторських документів, розроблених за контрольний час (наприклад, за місяць)» підрозділами, що брали участь у розроблювальні в даний період проектах. Аналіз результативності по цьому показнику проведемо на основі подання процесу у вигляді спрямованого графа. Група вихідних вершин графа буде складатися з конструкторських підрозділів, що беруть участь у проектуванні, а групу кінцевих вершин будуть становити проекти, по яких велося проектування. Ребрами графа виступають кількості розробленої документації кожним підрозділом по кожному проекті. Розглянемо ситуацію, у якій сім конструкторських підрозділів підприємства, позначених ДО1 ..., ДО7, беруть участь у створенні десяти проектів (Пр1 ...,

Пр10). Графічне подання спрямованого графа буде мати вигляд, показаний на мал. 3.2. Як вершини-виходи тут виступають конструкторські підрозділи, а вершини-входи - це розроблювальні в розглянутий період проекти. Очевидна наочність такого подання, але для аналізу результативності процесу це не підходить.

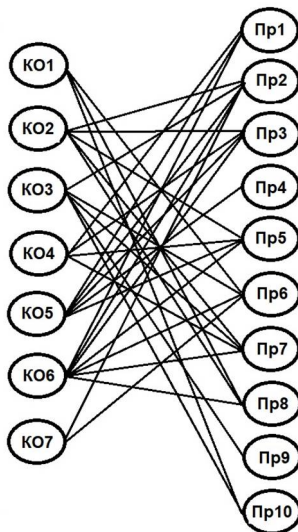


Рис. 3.2. Граф, що показує участь конструкторських підрозділів у проектах

Зовсім інший результат можна одержати, якщо цей же граф представити у вигляді матриці суміжності вершин. Якщо елементи такої матриці, що відповідають наявним сполучним ребрам, замінити на кількість конструкторських документів, розроблених підрозділом за контрольний час по кожному проекті, вийде наочний матеріал для аналізу. Виділивши фрагмент матриці, що зв'язаний з ненульовими елементами так, щоб у заголовках стовпців були тільки назви підрозділів, що беруть участь у проектуванні (ДО1 ..., ДО7), а в заголовках рядків - тільки назви проектів, по яких ведеться проектування (Пр1 ..., Пр10), у перехрестях стовпців і рядків одержимо кількість розробленої документації (КД) кожним підрозділом по кожному проекті. Якщо

в кожному стовпці матриці розділити КД на кількість конструкторів у відповідному підрозділі й на норму випуску КД за встановлений час, одержимо значення, що показують частку інтелектуального ресурсу підрозділів, витрачену на кожний проект, а сума таких часток дає показник загальної завантаженості підрозділів у процесі проектування. У таблиці 3.2 наведені результати аналізу результативності процесу проектування авіаційних двигунів за критерієм «Кількість конструкторських документів, розроблених по контрольний час» для розглянутого приклада, виконані з використанням графа у формі матриці суміжності вершин.

Результат аналізу по кількості розробленої НД

Таблиця 3.2

Відділи/ Проекти	ДО1	ДО2	ДО3	ДО4	ДО5	ДО6	ДО7
Пр1				0,26	0,16	0,06	
Пр2		0,24	0,16		0,07	0,12	0,24
Пр3		0,10		0,12	0,20	0,16	
Пр4					0,29		
Пр5		0,03		0,08	0,23	0,11	
Пр6	0,12		0,09			0,13	0,11
Пр7		0,40	0,07	0,22		0,47	
Пр8	0,21	0,05					
Пр9			0,27				
Пр10	0,13		0,10				
Усього	0,46	0,82	0,69	0,68	0,95	1,15	0,35

Представлений аналіз результативності процесу проектування авіаційних двигунів за критерієм «Кількість конструкторських документів, розроблених за контрольний час» дозволяє керівництву оцінювати поточний стан завантаження підрозділів завданнями по виконанню проектів, а досвід підрозділів, що стійко показують високий рівень керування зайнятістю конструкторів у процесі проектування (у даному прикладі це підрозділи ДО6 і ДО5), поширювати на всі підрозділи, зайняті в цьому процесі. З іншого боку, там, де показники виявляються низькими (підрозділи ДО1 і ДО7), потрібно шукати корінну причину такої ситуації,

наприклад, використаю методологію «п'ять чому?» або інші методи.

Аналогічно, із застосуванням графа проаналізований такий показник процесу проектування, як «Виконання поставлених на контроль пунктів тематичних планів, строки виконання яких переносилися». Розглядаючи ті ж підрозділи як вихідні вершини графа, а вхідною вершиною прийнявши 100 % виконання тематичних планів у поставлений строк, і задавши як ребра числа пунктів планів з перенесеними строками, у матриці суміжності вершин проводиться нормування цих значень на один конструктора в підрозділі. Фрагмент остаточної матриці з ненульовими значеннями показаний у таблиці 3.3.

Результативність роботи із планами

Таблиця 3.3

Кількість переносів на 1 конструктора	Конструкторські підрозділи						
	ДО1	ДО2	ДО3	ДО4	ДО5	ДО6	ДО7
	0,66	0,75	0,31	0,31	0,12	0,14	0,81

Як видно з таблиці 3.3, у підрозділах ДО5 і ДО6 найнижчий рівень переносу пунктів тематичних планів, що говорить про гарну організацію менеджменту в цих підрозділах. А от на організацію робіт у підрозділах ДО2 і ДО7 керівництво повинне звернути особливу увагу.

Подання інших показників процесу проектування у вигляді спрямованих або ненаправлених графів також дозволить одержати широке наочне поле для аналізу на основі моніторингу, виміри й оцінки контрольованих показників. Запропонована методика оцінки результативності процесів СМК, що базується на застосуванні елементів теорії графів, дозволяє одержувати наочну картину функціонування СМК. Застосування такої методики дозволяє проводити достовірний порівняльний аналіз результатів виробничої діяльності підприємства по кожному, окремо взятому показнику аналізованого процесу.

Як ефективний механізм для моніторингу внутрішнього середовища підприємства може бути використаний SWOT-аналіз.

Особливості використання SWOT-аналізу для підприємства-розроблювача авіаційної техніки викладені в [16].

SWOT-аналіз - це інструментарій, що дає можливість визначити перелік факторів, що роблять найбільший вплив на діяльність підприємства в умовах існуючого ділового середовища (контексту), що дозволяє керівництву визначити «вузькі місця» для подальшого коректування діяльності підприємства. У цілому техніка проведення SWOT-аналізу розроблена й використовується в рамках стратегічного керування для визначення можливостей реалізації обраної керівництвом підприємства стратегії.

Абревіатура SWOT відбиває структуру проведеного аналізу, що дозволяє виявити й оцінити сильні (Strengths, S) і слабкі (Weaknesses, W) сторони, можливості (Opportunities, O) і погрози (Threats, T), що стосуються досліджуваного об'єкта – у цьому випадку ділового середовища підприємства. Результати SWOT-аналізу прийняті представляти у вигляді 4-секторної матриці. У цій матриці аналізовані параметри контексту, що є сильною стороною організації (S) і нові можливості, що надають (O), ставляться до групи позитивно, що впливають факторів, - сектор I, а параметри, що є слабкою стороною організації (W) і погрози, що таять (T), ставляться до групи негативно, що впливають факторів, - сектор III. У два інших сектори попадають фактори, не настільки що радикально впливають на перспективи розвитку підприємства. Структура матриці SWOT-аналізу показана на рис. 2.1.

Як правило, зовнішнє середовище підприємства розглядається в SWOT-аналізу як джерело сильних і слабких сторін, а внутрішнє середовище - як джерело можливостей і погроз. У дійсності ж, кожної з розглянутих факторів може розглядатися й з позицій сильної або слабкої сторони, і як джерело можливостей або погроз (ризиків). У дійсній роботі розглядаються складового внутрішнього середовища підприємства-розроблювача авіаційної техніки як джерела всіх чотирьох описаних факторів. Первісний аналіз ділового середовища підприємства був виконаний на основі порівняння проведених експертних оцінок. Однак, представляється, що SWOT-аналіз може дати більше наочну й обґрунтовану картину змін ділового середовища при проведенні її планового моніторингу.

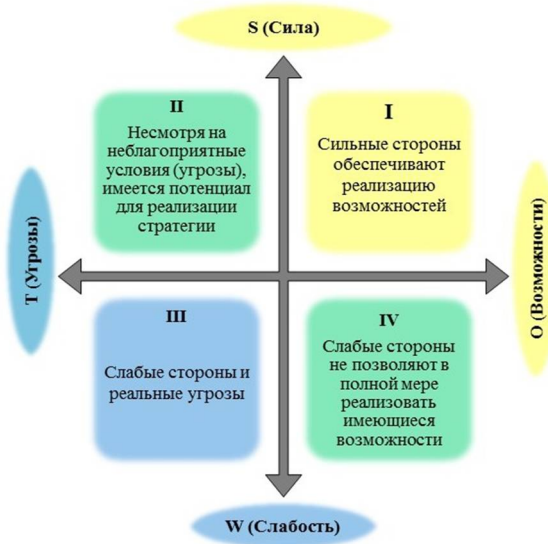


Рис. 3.3. Матрица SWOT-анализу

Сильні й слабкі сторони факторів внутрішнього середовища визначаються з обліку впливу їхній один на одного. Для цього будується спрямований граф, що відбиває зв'язки факторів і по числу виходів з кожної вершини-фактора визначається вагомість фактора-«джерело» A , що впливає на «приймаючі» фактори, підсилюючи або послабляючи їх. Ваговий коефіцієнт D кожного з факторів визначається по формулі:

$$D = (A/m) \times 100\%, \quad (3.7)$$

де m – максимальне число вихідних зв'язків у графі.

Далі проводиться оцінка впливу поточного стану кожного фактора T по наступній шкалі: негативне (-3), що погіршує (-2), задовільне (0), гарне (2), відмінне (3). Остаточний показник ступеня впливу кожного фактора визначається по формулі:

$$F = (D \times T) + 30 \times (B - V) \quad (3.8),$$

де 30 - множник, певний експертним шляхом;

B – кількість розглянутих можливостей, створюваних даним фактором;

V – кількість погроз.

У результаті одержимо три групи факторів з різною спрямованістю й ступенем впливу на внутрішнє середовище: позитивну, визначальну сильну сторону середовища ($F > 0$); нейтральні ($F = 0$); негативні ($F < 0$), що визначають слабку сторону.

Значимість кожного фактора (Z) з позицій наявних у ньому можливостей або погроз оцінюється по трибальній шкалі: висока (3), середня (2), низька (1). Імовірність настання подій (P), пов'язаних з кожним з факторів, визначається як: реальність (100%), висока (75%), середня (50%), низька (25%), у край низька (10%). За цими показниками розраховувався коефіцієнт потенційного впливу КПВ кожного з факторів:

$$КПВ=Z*P \quad (3.9)$$

Для одержання загального подання про те, як сильні й слабкі сторони внутрішнього середовища впливають на реалізацію можливостей і нейтралізацію погроз у поле матриці SWOT-аналізу будується так званий вектор спрямованості розвитку організації. Координата вектора по осі TE являє собою суму середніх оцінок можливостей (результати зі знаком «+») і середніх оцінок погроз (результати зі знаком «-»). Координата вектора по осі WS являє собою суму середнього бала сильних (результати зі знаком «+») і середнього бала слабких (результати зі знаком «-») сторін.

Таким чином, як ефективний механізм для моніторингу поточного стану ділового середовища підприємства може бути використаний SWOT-аналіз, що дає необхідну інформацію про можливості й джерела поліпшень, про ступінь імовірних погроз і можливих наслідків альтернативних стратегій розвитку. SWOT-аналіз дозволяє обґрунтовано підійти до розробки, впровадженню й моніторингу показників СМК, що враховує ділове середовище підприємства.

3.3 Статистичні методи оцінки якості ремонту авіадвигунів

Сучасний авіаційний двигун - найскладніша в конструктивному і технологічному відношенні технічна система, тому конструкція двигуна, технологічні процеси, що забезпечують його працездатність і високу економічну ефективність виробництва, повинні відповідати вимогам світових стандартів.

До числа загальних вимог, яким повинен задовольняти новий авіаційний двигун, відносяться:

- забезпечення надійної роботи на сталих і перехідних режимах на землі і у польоті в широкому діапазоні кліматичних умов і збереження стабільними під час експлуатації його основних показників;

- тяги або потужності і витрат палива;

- забезпечення надійного запуску в різних кліматичних умовах, а також повторного запуску в польоті;

- зручність огляду в процесі експлуатації без зняття з літака двигуна і його окремих деталей (робочих лопаток компресора і турбіни, деталей камери згоряння, форсажної камери та ін.), для чого передбачають спеціальні вікна, що дозволяють перевірити всі частини двигуна візуально, за допомогою спеціальних приладів і шляхом одержання рентгенівських знімків; можливість профілактичного виявлення дефектів шляхом контролю появи стружки в олії, контролю трясіння двигуна та ін..

Для сучасних літаків, що володіють великою вантажопідйомністю та дальністю польоту, потрібні двигуни, які могли б розвинути необхідні тяги при мінімальному питомій вазі. Цим вимогам задовольняють турбореактивні двигуни. Однак вони неекономічні в порівнянні з гвинтомоторними установками на невеликих швидкостях польоту. У зв'язку з цим деякі типи літаків, призначені для польотів з відносно невисокими швидкостями і з великою дальністю, вимагають постановки двигунів, які поєднували б у собі переваги турбореактивних двигунів з перевагами гвинтомоторної установки на малих швидкостях польоту. До таких двигунів відносяться турбогвинтові двигуни.

Турбогвинтовим двигуном називається газотурбінний авіаційний двигун, в якому турбіна розвиває потужність, велику потрібної для обертання компресора, і цей надлишок потужності використовується для обертання повітряного гвинта.

Відповідність параметрів двигуна, що пройшов ремонт, заданим проектним значенням і таким же значенням параметрів двигунів першої категорії характеризує стабільність і якість ремонту двигунів; показує межі розкиду параметрів стосовно їхньої номінальної величини.

Кількісний аналіз оцінки якості ремонту авіадвигунів вимагає застосування методів математичної статистики.

Використанню статистичних методів для оцінки якості ремонту авіадвигунів присвячені роботи [11, 12]

У роботі [11] ставиться завдання – провести статистичне дослідження для порівняльної оцінки якості ремонту авіадвигунів на підприємствах А і В. Показниками якості ремонту є результати випробувань по наступних параметрах:

R , кгс	тяга двигуна
G , ткг/з	витрату палива,
Cr , кг/(кгс*ч)	середня питома витрата палива,
$t_{\text{тсд}}$	температура за турбіною,
p_k	тиск у камері згоряння,
$n_{\text{в}}$, про/хв	середня частота обертання вентилятора,
$n_{\text{сд}}$, про/хв	середня частота обертання ротора

середнього тиску

$n_{\text{вд}}$, про/хв середня частота обертання ротора високого тиску.

Випробування проводилися по кожному показнику за результатами ремонту на підприємствах А і В.

У відношенні кожного i -го показника якості висувуються статистичні гіпотези:

H_0 – якість ремонту на обох підприємствах однаково, тоді результати випробувань по кожному i -му показнику на підприємствах А і В належать одній генеральній сукупності (вибірки А і В однорідні)

H_1 – якість ремонту на обох підприємствах розрізняються, тоді результати випробувань по кожному i -му показнику на підприємствах А і В не належать одній генеральній сукупності

(вибірки А и В неоднорідні).

Для порівняння оцінки якості ремонту авіадвигунів на різних підприємствах використовується порівняння вибірових середніх арифметичних. Вибірки повинні відповідати умовам проведення ремонту. Наприклад, якщо ремонт здійснювався на різних підприємствах, те беруться дані по відремонтованих двигунах у кожному й рівняються між собою. До якості вихідних даних використовуються основні параметри двигуна, такі як середня питома витрата палива C_r , середні частоти обертання ротора середнього тиску $n_{сд}$ і ін.

Представляється, що для більше об'єктивних висновків необхідно порівнювати за допомогою статистичних критеріїв не тільки середні арифметичні, але й дисперсії.

Для дослідження було взято дві вибірки, які склали за результатами контрольно-здавальних випробувань двигунів Д-18Т, виготовлених АТ «Мотор Січ» і відремонтованих на підприємстві А (вибірка А) і на підприємстві В (вибірка В). Вибірки А и В вважаються рандомізованими, так їхнє формування виконувалося випадковим образом, сукупність двигунів до ремонту за умовами виробництва й експлуатації вважається однорідною. Отже, якщо вибірки однорідні, то вибір ремонтного підприємства не робить впливу на якість ремонту й навпаки. Як оцінний узятий параметр - середня питома витрата палива C_r . На мал. 3.4 наведені результати вимірів C_r після ремонту на підприємстві А (мал. 3.4а) і на підприємстві В (мал. 3.4б).

Традиційно для перевірки статистичних гіпотез H_0 , H_1 про однорідність вибірок використовуються *t-критерій* Стюдента й *F-критерій* Фишера. Результати розрахунку цих критеріїв с допомогою програми Excel показані в таблицях 3.4,3.5.

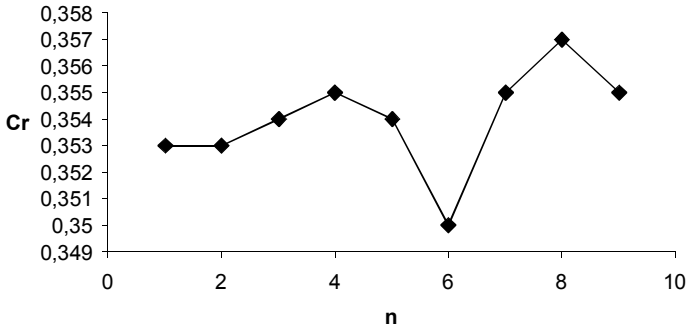


Рис.3.4а. Результати випробувань після ремонту на підприємстві А

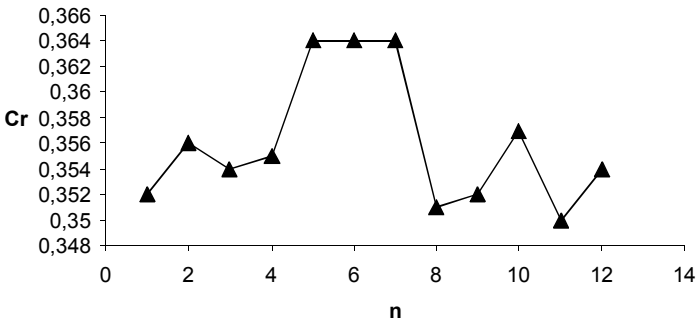


Рис.3.4б. Результати випробувань після ремонту на підприємстві В

Порівняння середніх по *t*-критерії Стюдента (табл. 3.4) показало відсутність істотного розходження між ними.

Порівняння дисперсій по *F*-критерії Фішера (табл. 3.5) указує на істотне розходження між дисперсіями, що можна затверджувати з довірчою ймовірністю 99%.

Результати порівняння середніх по t-критерії Стьюдента
(Двухвибірковий t-тест з різними дисперсіями)

Таблиця 3.4 –

	Сукупність А	Сукупність В
Середнє	0,3540	0,3561
Дисперсія	3,75E-06	2,68106E-05
Спостереження	9	12
t-статистика	-1,279568128	
P(T<=t)	0,220135459	
t критичне двостороннє	2,131450856	

Результати порівняння дисперсій по F-критерії Фішера

Таблиця 3.5

	Сукупність А	Сукупність В
Середнє	0,354	0,3561
Дисперсія	3,75E-06	2,68106E-05
Спостереження	9	12
df	8	11
F розрахункове	7,15	
F критичне (при $\alpha=0,01$)	5,74	

Однак, використання вимагає припущення про нормальний розподіл досліджуваних параметрів. Перевірка даного припущення в реальних виробничих умовах неможлива. Тому, доцільно застосувати й непараметричні критерії, що не вимагають знання виду розподілу досліджуваних параметрів.

У роботі [12] запропоновано використати непараметричний критерій Манна-Уїтні (U -критерій), що може бути використаний для довільних функцій розподілу.

Перевірка однорідності вибірок А і В зроблена з допомогою програмного пакета статистичної обробки даних STATISTICA [4].

У таблиці 3.6 наведено приклад порівняння вибірок за один рік, аналогічні розрахунки зроблені по іншим рокам,

Результати перевірки однорідності вибірок А і В за критерієм Манна-Уїтні

Таблиця 3.6

Показники якості	Z	p-level	n_A	n_B
R	0	1	15	7
G	-3,13	0,0017	15	7
C_r	-3,13	0,0017	15	7
$t_{\hat{\theta}\hat{\alpha}}$	-0,38	0,6982	15	7
pKS	-1,44	0,1484	15	7
$n_{\hat{\alpha}}$	0	1	15	7
$n_{\hat{\theta}\hat{\alpha}}$	-2,36	0,0182	15	7
$n_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$	-1,90	0,057	15	7

Рівень значимості α (p-level у наведеній таблиці 3.6) визначає ймовірність прийняття помилкового висновку, тобто оцінка ймовірності істотного розходження вибірок, що визначають якість ремонту, дорівнює $(1 - \alpha)$, n_A , n_B - число значень у вибірках А и В, відповідно.

Значення критерію Манна-Уїтні (Z у наведеній таблиці 1) і рівень значимості за результатами там перевірки однорідності показників якості ремонту авіадвигунів на підприємствах А и В за шість років зведені в таблиці 3.7.

Проведене статистичне дослідження, результати якого узагальнені в гистограмі (рис. 3.5), дає підставу для висновку – якість ремонту на підприємствах А и В істотно розрізняється з імовірністю даного твердження більше 99% для таких показників як G і C_r , й трохи меншою ймовірністю для інших показників.

Значення критерію Манна-Уїтні за результатами перевірки
однорідності показників якості ремонту авіадвигунів на
підприємствах А і Б за шість років.

Таблиця 3.7

Показники якості ремонту	Значення критерію (абсолютні величини)					
	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік	5-й рік	6-й рік
G	4,45669	3,13684	2,92770	3,13050	3,09839	3,11543
C_r	4,43348	3,13684	2,92770	3,13050	3,09839	3,11543
$t_{\hat{\delta}\hat{n}\hat{a}}$	0,78921	0,38770	1,61024	0,31944	2,19469	1,35946
pKS	2,87828	1,44506	2,56174	0,31944	1,09735	2,60563
$n_{\hat{a}}$	0,60351	0,00000	1,02470	2,61939	1,80739	0,56644
$n_{\hat{n}\hat{a}}$	2,99434	2,36144	0,00000	0,57499	0,77460	1,24617
$n_{\hat{a}\hat{a}}$	0,51066	1,90325	0,87831	0,57499	1,48464	1,41610

Продовження таблиці 3.7

Показники якості ремонту	Рівень значимості					
	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік	5-й рік	6-й рік
G	0,0000	0,0017	0,0034	0,0017	0,0019	0,0018
C_r	0,0000	0,0017	0,0034	0,0017	0,0019	0,0018
$t_{\hat{\delta}\hat{n}\hat{a}}$	0,4300	0,6982	0,1073	0,7494	0,0282	0,1740
pKS	0,0040	0,1484	0,0104	0,7494	0,2725	0,0092
$n_{\hat{a}}$	0,5462	1,0000	0,3055	0,0088	0,0707	0,5711
$n_{\hat{n}\hat{a}}$	0,0028	0,0182	1,0000	0,5653	0,4386	0,2127
$n_{\hat{a}\hat{a}}$	0,6096	0,0570	0,3798	0,5653	0,1376	0,1567

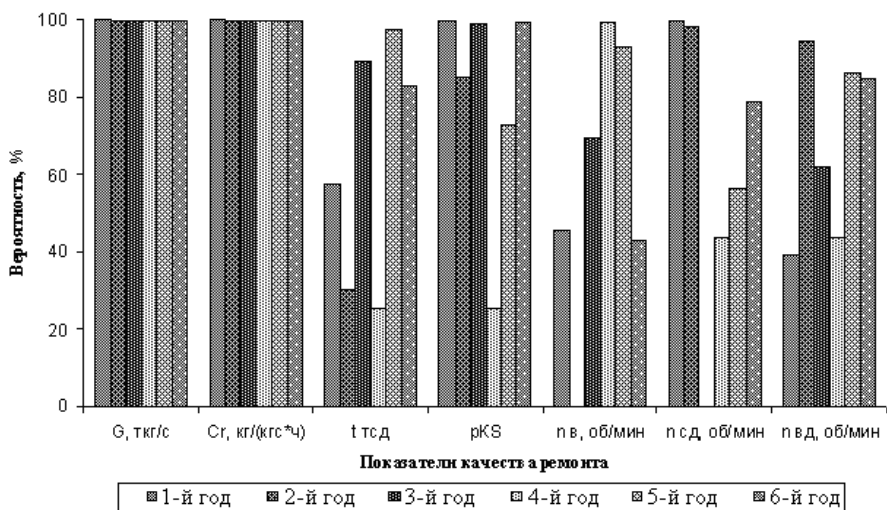


Рис. 3.5. Оцінка ймовірності істотного розходження як ремонт авіадвигунів на основі випробувань у різні роки

Таким чином, використання статистичних методів при оцінці результатів випробувань дозволить підвищити рівень керування якістю продукції, приймати науково обґрунтовані рішення.

3.4 Нормативне забезпечення якості в сучасних умовах

Актуальною проблемою сьогодення є підвищення якості продукції. Ефективним підходом до вирішення цієї проблеми є впровадження системи нормативного забезпечення, що важливо у сучасних умовах для забезпечення конкурентоспроможності виготовленої продукції. Особливу роль впровадження системи нормативного забезпечення має при виготовленні складної наукоємної продукції, до якої відноситься і авіаційна техніка.

Розглянемо впровадження нормативного забезпечення на прикладі проектування авіаційної техніки [13, 19].

Українська школа проектування авіаційної техніки (повітряних суден) та їх компонентів, зокрема авіаційних двигунів),

започаткована ще у першій половині ХХ ст., розвивалася у загальній системі авіапрому Радянського Союзу і спиралася на положення стандартів, інших державних і галузевих нормативних документів (НД), у яких знайшли своє відображення науково-технічні досягнення у сфері створення нових зразків авіаційної техніки та доведення їх параметрів до вимог, зазначених у технічних завданнях замовників.

Роботи у сфері авіабудування в Україні ведуться, в основному, із використанням ГОСТ, галузевих стандартів, інших НД колишнього СРСР. Поява у практиці проектування міжнародних чи європейських стандартів, а також стандартів авіакосмічної галузі, які використовуються у західних авіаційних державах, відбувається повільно, що пов'язано із певними відмінностями в існуючих традиціях створення авіаційної техніки. В Україні відсутній загальнодержавний галузевий фонд НД авіаційної промисловості, практично не розробляються українські НД для авіабудування. Зазначені умови нормативного забезпечення авіабудівної галузі ставлять перешкоди на шляху створення нових зразків авіаційної техніки. Суттєвою проблемою є використання в українських розробленнях нових матеріалів, на які відсутні технічні умови з переліком нормованих значень параметрів цих матеріалів.

Як вихід із такої ситуації можна запропонувати використання нових (для систем стандартизації підприємств) НД, які в національній системі стандартизації отримали позначення – стандарти організації (СО) України (СОУ). Згідно з ДСТУ 1.0:2003 СО приймаються суб'єктами стандартизації іншого рівня, ніж національний орган стандартизації, на основі поєднання виробничих, наукових, комерційних, інших загальних інтересів. Отже, такі стандарти можуть вирішувати такі ж завдання, що й національні, лише на відповідно нижчому рівні.

Основними об'єктами для СО можуть бути продукція та послуги, які є результатом діяльності цих організацій. Проте не виключається розроблення СО й на отримані у результаті наукових досліджень принципово нові види продукції, процеси, послуги, методи випробувань. Наприклад, на нетрадиційні технології, принципи організації та управління виробництвом, іншими видами

діяльності, а також з метою поширення і використання результатів фундаментальних і прикладних досліджень, отриманих у різних галузях знань і сферах професійних інтересів.

СО застосовують організації або підприємства, що прийняли їх, підприємства-суміжники, та інші суб'єкти господарювання, на діяльність яких або на її результати поширюється дія СО, за умови отримання згоди на їх застосування від організації, яка прийняла стандарт.

За допомогою розроблення СО підприємство може вирішити ряд завдань, пов'язаних з питаннями стандартизації. Наприклад, коли випускається продукція для іноземних замовників або у кооперації з підприємствами різних країн, у спеціальних СО можна викласти необхідні вимоги до продукції, не вдаючись до посилань на стандарти країн, що не беруть участі в кооперації. У СО можна закріпити накопичений досвід випуску продукції, який базується на застосуванні нині скасованих або заміненних галузевих стандартів авіаційної промисловості колишнього СРСР. До вирішення питання щодо взаємного забезпечення підприємств авіаційної галузі України необхідними стандартами, чинними нині, у СО можна зафіксувати необхідні для розроблення і виготовлення вимоги до продукції, не вдаючись до посилань на недоступні стандарти іншої сторони або на скасовані стандарти. Можуть бути вирішені також інші питання, наприклад, зафіксовані результати проведених власних досліджень матеріалів, на які немає технічних умов, тощо.

Система СО будується за тими ж правилами, що і національна система стандартів. Тому, у рамках одного підприємства, його СО можуть бути класифіковані за приналежністю до того або іншого класифікаційного угруповання згідно з Українським класифікатором НД ДК 004:2008. Така класифікація відображається в позначенні СО. В Україні позначення СО складається:

із індексу документа — СОУ;

через пропуск — із коду Міністерства України, якщо стандарт належить Міністерству, або восьмизначного цифрового коду згідно з Єдиним державним реєстром підприємств і організацій України

(ЄДРПОУ), якщо власником стандарту є інша організація або підприємство;

через пропуск — із коду класу і групи згідно з Українським класифікатором нормативних документів ДК 004:2008;

через дефіс — із порядкового номера реєстрації стандарту в організації;

через двокрапку — вказується рік прийняття СО (чотири знаки).

Наприклад, позначення засадничого стандарту системи стандартизації підприємства виглядатиме так: СОУ ХХХХХХХХ 01.120-001:2014, де ХХХХХХХХ — код організації за ЄДРПОУ.

У таблиці 3.8 подано перелік основних класифікаційних груп для цілей створення СО на підприємствах, що проектують зокрема авіаційні двигуни.

Класифікаційні групи згідно з ДК 004

Таблиця 3.8

Код за ДК 004	Найменування груп
01.040	Словники
01.100	Технічні креслення
01.110	Технічна документація на продукцію
01.120	Стандартизація
03.100	Організація та управління підприємством
03.120	Управління якістю і забезпечення якості. Сертифікація
03.140	Патенти. Інтелектуальна власність
23.040	Трубопроводи та елементи трубопроводів
23.100	Гідравлічні і пневматичні системи
25.020	Виробничі складальні процеси
25.040	Системи автоматизації промислового виробництва
25.200	Термічне оброблення
49.025	Матеріали для авіаційно-космічних конструкцій
49.030	Кріпильні вироби для авіаційно-космічних конструкцій
49.035	Елементи авіаційно-космічних конструкцій
49.040	Покриття і пов'язані з ними процеси

49.045	Конструкції та елементи конструкцій
49.050	Авіаційні та ракетні двигуни і силові установки
49.060	Авіаційно-космічне електроустаткування і системи
49.080	Гідравлічні й пневматичні системи та їх складові
49.090	Бортове устаткування і прилади

Розроблення СО може стати основою для створення корпоративних систем стандартизації підприємств, які займаються спорідненими видами діяльності, працюють у кооперації одне з одним та постачають і супроводжують у процесі експлуатації спільно розроблену та виготовлену авіаційну техніку.

СО не повинні суперечити вимогам відповідних національних стандартів, які використовуються в авіаційній галузі, а також не можуть суперечити національним стандартам, що забезпечують застосування міжнародних стандартів ISO, IEC, ICAO, інших міжнародних організацій, до яких приєдналася Україна, чи стандартам, розробленим для забезпечення виконання міжнародних зобов'язань.

У цілому можна відзначити, що на сьогодні СО є важливим засобом на шляху модернізації нормативної бази підприємств, які виконують проектування авіаційної техніки.

Проблемою співробітництва підприємств і фірм різних держав у цей час стають бази, що відрізняються, нормативних документів. Для встановлення відповідності стандартів повинні випускатися відомості взаємозамінності нормативних документів, використовуваних у спільних проектах.

В організаціях, що виконує замовлення іноземних фірм або працюючих у кооперації з іноземними фірмами над створенням авіаційних двигунів або іншої наукоємної продукції, у сучасних умовах виникає ряд проблемних питань, пов'язаних із застосуванням стандартів. Основна проблема полягає в тім, що в сучасних умовах співробітництва не всі необхідні стандарти доступні учасникам робіт рівною мірою. Для рішення завдань нормативного забезпечення міждержавного авіадвигунобудування необхідно вирішити проблему спільного використання вимог, пропонуваніх запропонованими до застосування нормативними документами.

База нормативних документів, на якій будується система стандартів підписання міждержавних угод про офіційний обмін нормативними документами, необхідними для виконання спільних технічних проектів шлях рішення проблеми може бути знайдений в умовах, що змінилися, застосування стандартів у технічній документації. Раніше дія стандартів підприємств (СТП) не поширювалося на поставляє продукцію, що. Тепер в об'єкти стандартизації СОУ включена продукція, що поставляє підприємством, як на внутрішній, так і на зовнішній ринок. Єдині системи конструкторської й технологічної документації (ЕСКД і ЕСТД) тепер допускають посилання не тільки на державні й галузеві стандарти (до речі, останні виведені із числа офіційних категорій у сучасній стандартизації), але й посилання на стандарти організації. Якщо замовник погодив стандарти організації, вони офіційно можуть бути застосовані в проектах, здійснюваних для даного замовника. Використовуючи цю можливість, представляється доцільним на підприємствах, що не мають офіційного доступу до стандартів з інших держав, випускати відповідні власні стандарти.

Сучасна практика стандартизації допускає прийняття іноземних стандартів у якості власних у вигляді ідентичного перевидання з посиланням на першоджерело й позначкою IDT (ідентичний), у модифікованому виді з позначкою MOD або у вигляді нееквівалентного документа з позначкою NEQ.

Таким чином, сьогодні можливо підготувати стандарт організації, що буде містити необхідні підприємству для роботи вимоги з непередаваного відповідного державного або галузевого стандарту іншої країни. В основу створення стандарту організації можна закласти вимоги, викладені в такому вихідному нормативному документі, що є на всіх родинних підприємствах авіапромисловості. Підготовлений у такий спосіб проект стандарту організації повинен бути спрямований підприємству або фірмі, з якої ведеться співробітництво. Фірма порівнює пропонований стандарт організації з вимогами відповідного стандарту, що поширюється тільки на території їхньої країни й вносить, при необхідності, додаткові вимоги, істотні для виконання спільної роботи й не утримуючу інформацію, складову таємницю даної

держави. Після узгодження підприємством-кооперантом і представництвом замовника (або незалежною інспекцією) на цьому підприємстві стандарт організації стає офіційним документом для використання в роботі. При цьому в технічній документації (конструкторської, технологічної, експлуатаційної) посилання можна давати на основний стандарт.

Для встановлення відповідності стандартів у проекті повинна бути випущена відомість взаємозамінності нормативних документів. Тоді при використанні технічної документації на території підприємства-розроблювача, необхідні вимоги будуть братися зі стандарту організації. На території замовника документація буде використовуватися з безпосереднім застосуванням посилальних нормативних документів.

Якщо виникне необхідність використати зовсім нові стандарти обмеженого доступу, то всі необхідні в роботі вимоги з таких стандартів повинні бути надані розроблювачеві замовником.

Подібний підхід до використання стандартів іншої держави, через випуск відповідного стандарту організації й відомості взаємозамінності нормативних документів, дозволить без додаткових коректувань технічної документації використати її й у проектах для третьої сторони. У цих випадках, по посиланнях у технічній документації на стандарт-першоджерело, третій стороні може бути представлений стандарт організації, що відбиває необхідні вимоги.

Грунтуючись на вимогах нормативних документів підтримки наукомісткої продукції починаючи із самих ранніх стадій її створення виникла необхідність використання інтегрованої логістичної підтримки.

Інтегрована логістична підтримка (ІЛП) виробу являє собою сукупність процесів, організаційно-технічних заходів і регламентів робіт, які здійснюються на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ) виробу: від його розробки до утилізації. Головною метою впровадження ІЛП є скорочення «витрат на володіння виробом», які для складного наукомісткого виробу можуть бути рівними або навіть перевищувати витрати на його закупівлю. Комп'ютеризована система логістичної підтримки є основним сучасним інструментом рішення завдань ІЛП. Побудова такої

комп'ютеризованої системи немисливо без опори на систему спеціалізованих стандартів.

У цей час замовники висувують досить широке коло питань, що підлягають рішенню вже на етапі проектування виробів.

До таких питань ставляться наступні:

- розробка Плану-програми ІЛП із обов'язковим твердженням його в замовника,
- висновок довгострокових контрактів з постачальниками підсистем і комплектів запасних частин,
- організація процесу ІЛП всієї системи, що пов'язана із ЖЦ виробу, і яка повинна включати: визначення відповідальних за ІЛП систему,
- визначення технічних і людських ресурсів і засобів по виконанню завдань;
- розробку графіка поставки документації продуктів ІЛП і створення їхнього переліку.

Стандартами по ІЛП передбачається також розробка технічних керівництв, необхідних для експлуатації, ремонту й технічного обслуговування системи з урахуванням міжнародних вимог до технічної документації, що виконана з використанням загальної бази даних ASD S1000D; розробка підходу по забезпеченню якості технічних керівництв; створення переліку технічних керівництв; розробка й твердження Плану-Програми по технічним керівництвам; створення й введення єдиної системної документації технічних керівництв. Уже на стадії розробки проекту виробу, для його наступної логістичної підтримки, замовник вимагає створення апарата інтеграції й контролю підсистем; розробки переліку запасних інструментів і пристосувань (ЗІП) для експлуатації, ремонту й технічного обслуговування системи, заснований на аналізі логістичної підтримки. При створенні ІЛП виробу повинен також бути розроблений і затверджена План-Програма по забезпеченню ЗІП; а також складений каталог ЗІП із цінами.

Важливу роль в ІЛП грає навчання персоналу, що буде здійснювати експлуатацію, ремонт і технічне обслуговування виробу. Тому, складовою частиною в ІЛП є розробка Програми технічного навчання персоналу; розробка переліку пропонованих

курсів, навчального встаткування й навчальних матеріалів; розробка й твердження Плану-Програми по технічному навчанню.

Крім цього ІЛП передбачає: створення переліку засобів наземного обслуговування (стандартних і спеціальних), заснованого на аналізі логістичної підтримки; створення й ведення єдиного системного переліку аналізів і рекомендацій із засобів наземного обслуговування; складання каталогу засобів наземного обслуговування із цінами; розробку й твердження Плану-Програми по засобах наземного обслуговування; розробку й твердження Плану-Програми забезпечення транспортельності й зберігання виробу; розробку й твердження Плану-Програми забезпечення утилізації.

Як основних факторів, які впливають на організацію ІЛП на підприємствах, і ресурсів підприємства, необхідних для забезпечення ІЛП, можна виділити наступне. Фактори, які забезпечують організацію ІЛП, - це в першу чергу інтеграція розроблювач - виробник - експлуатант. До основних факторів також варто віднести: наявність національної нормативної бази по ІЛП, наявність відповідної законодавчої бази й необхідного фінансування. До ресурсів, необхідним підприємству для забезпечення ІЛП у першу чергу варто віднести: конструкторський супровід; наявність бази технічного навчання персоналу; наявність служби експлуатаційно-ремонтного напрямку; наявність розвиненого інформаційного комплексу, інтегрованого в єдине інформаційне середовище ІЛП виробу.

Сучасна ІЛП базується на створенні в рамках групи підприємств єдиного інформаційного простору, що підтримує всі етапи ЖЦ продукції, що випускається. Ідея єдиного інформаційного простору й інформаційної інтеграції етапів ЖЦ стала базовою в підході, що одержав назву CALS - безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу. У широкому змісті слова CALS - це методологія створення єдиного інформаційного простору промислової продукції, що забезпечує взаємодію всіх промислових автоматизованих систем. У цьому змісті предметом CALS є методи й засоби як взаємодії різних автоматизованих систем і їхніх підсистем, так і самі автоматизовані системи з урахуванням всіх видів їхнього забезпечення. У цей час

ідея CALS сформувалася в цілий напрямок в області інформаційних технологій і оформилася у вигляді стандартів ISO, національних (державних) стандартів і нормативних документів галузей і окремих підприємств.

Стандарти - це основні "будівельні" блоки ІЛП і CALS, які описують правила електронного подання даних про виробу, інформаційне середовище й процеси, а також правила обміну цими даними. Основою стандартизації в даній сфері питань є стандарти ISO. На їхній основі в країнах, які впроваджують у себе системи ІЛП і CALS прийняті національні стандарти, гармонізовані з відповідними стандартами ISO. У Російській Федерації - це стандарти серії ДЕРЖСТАНДАРТ Р ІСО 10303, в Україні - відповідно стандарти серії ДСТУ ISO 10303.

Базовими стандартами, що визначають подання інформації про продукт, є: стандарт ДСТУ ISO 10303-1-2007, у якому приводиться огляд і основні принципи системи промислової автоматизації й інтеграції подання даних щодо виробів і обміну даних; стандарт ДСТУ ISO 10303-11-2007, що містить довідковий посібник з інформаційної мови EXPRESS, що рекомендується для застосування в CALS-технологіях; стандарт ДСТУ ISO 10303-41-2007, що містить вимоги по поданню даних про виріб і обмін цими даними; а також інші стандарти серії ДСТУ ISO 10303.

Особливе місце в системі ІЛП приділяється створенню інтерактивних електронних технічних керівництв. Як відомо, для наукомістких промислових виробів витрати на створення й підтримку експлуатаційної технічної документації можуть становити значну частину в загальних витратах на експлуатацію самого виробу. Можна виділити кілька основних проблем, пов'язаних з використанням традиційних паперових керівництв: підтримка в актуальному стані документації, у зв'язку з необхідністю обліку безлічі змін, які вносяться в неї в процесі експлуатації виробу; повне й однозначне подання експлуатаційної інформації; підтримка фізичної цілісності документації.

У відповідності зі стратегією CALS рішення цих проблем полягає в перекладі всіх даних, необхідних для створення й підтримки технічних посібників, в електронний формат і створення єдиного інформаційного простору. Споживач як учасник ЖЦ

виробу, також має потребу в доступі в єдиний інформаційний простір. Засобами, що забезпечує такий доступ, повинне стати інтерактивне електронне технічне керівництво, що входить у систему інтегрованої логістичної підтримки виробу.

Інтерактивні електронні технічні керівництва - це структурований комплекс взаємопов'язаних технічних даних, покликаний надати в інтерактивному режимі довідкову й описову інформацію про експлуатаційні й ремонтні процедури, пов'язаних з конкретним виробом. Самі складні інтерактивні електронні технічні керівництва дають можливість прямої взаємодії з модулями діагностики виробів, а також організації автоматизованого замовлення запасних частин і матеріалів.

Таким чином, очевидно, в Україні існує досить розвинена, гармонізована з міжнародними стандартами, нормативна база по ІЛП і CALS-технологіях, що дозволяє промисловим підприємствам адекватно відповідати на запити сучасного ринку, що стосуються після продажного обслуговування в першу чергу наукомістких виробів тривалого використання.

Організація процесу ІЛП повинна базуватися на результатах проведення аналізу логістичної підтримки системи. В обов'язковому порядку повинне бути зроблене опис процесу аналізу логістичної підтримки системи з розглядом таких питань як: опис загального підходу до аналізу логістичної підтримки; перелік конкретних завдань, дій, аналізів і підсумкових документів; детальний виклад методології аналізів, для оцінки замовником достатності такої методології; перелік додаткових видів аналізу логістичної підтримки.

Наведений перелік основних заходів, необхідних при розгортанні робіт з логістичної підтримки наукомісткого виробу, показує наскільки детально в сучасних нормативних документах пророблені питання формування ІЛП і яку роль повинні грати учасники загального процесу для реального впровадження ІЛП.

Найважливішим напрямком нормативного забезпечення якості є нормоконтроль конструкторської документації.

Нормоконтроль конструкторської документації проводиться з метою підвищення якості нормативної й технічної документації й забезпечення впровадження вимог стандартів на підприємстві.

Порядок проведення нормоконтроля документів, випущених за правилами Єдиної Системи Конструкторської Документації (ЕСКД). Нормоконтроль проводиться з метою забезпечення однозначності застосування конструкторської документації й установлених у ній норм, вимог і правил на всіх стадіях життєвого циклу виробу та здійснюється спеціалістами-нормоконтролерами, що мають великий досвід роботи у відповідній області.

Основними завданнями нормоконтроля є забезпечення:

- дотримання в конструкторській документації норм, вимог і правил, установлених у стандартах і в інших нормативних документах, зазначених у документації;

- досягнення в розроблювальних виробках необхідного високого рівня уніфікації й стандартизації на основі широкого використання раніше спроектованих, освоєних у виробництві й стандартизованих виробках, типових конструкторських рішень;

- раціонального застосування обмежувальних номенклатур покупних і стандартизованих виробів і їхніх документів, норм (типорозмірів, квалітетів точності, умовно-графічних позначень і ін.), марок матеріалів, напівфабрикатів і т.п.;

- досягнення однаковості в оформленні, обліку, зберіганні, зміні конструкторської документації.

- дотримання нормативних вимог в умовах випуску документів автоматизованим способом у паперовій і (або) електронній формі.

Нормоконтроль конструкторської документації, виконаної в електронній формі, варто проводити відповідно до нормативних документів ЕСКД.

Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва як один з найважливіших етапів життєвого циклу виробів для формування якості багато в чому визначає технічний рівень, конкурентоспроможність, строки випуску нової й модернізації діючої продукції.

Підготовка виробництва нових виробів вимагає виконання комплексу робіт конструкторсько-технологічного напрямку, у тому числі розробку великого обсягу технічної документації. Дефекти в конструкторській документації (КД) у значній мірі впливають на якість виробу, і чим пізніше вони виявляються, тим дорожче обходиться їхнє усунення.

Робота із закордонними замовниками вимагає підготовки конструкторської документації відповідно до міжнародних стандартів.

Крім того, ускладнюється й стає більше різноманітної продукція, підприємства створюють єдиний інформаційний простір, у якому зростає значення нормоконтроля.

Отже, найважливіші складові якості виробів, що випускають - надійність і безпека - формуються на стадії розробки технічної документації. Нормоконтроль і метрологічна експертиза конструкторської документації як форма метрологічного контролю є частиною комплексу робіт з нормативного й метрологічного забезпечення відповідності документації встановленим вимогам.

Введення нормоконтроля в процес конструкторської підготовки виробництва обумовлено зростанням ролі нормативного забезпечення в підвищенні якості продукції, стабільності й безпеці процесів, а також ефективності виробництва. Завдання нормоконтроля успішно вирішуються за умови його проведення на всіх етапах розробки документації, починаючи з розробки технічного завдання й ескізного проекту. тільки 10 % дефектів конструкторської документації обумовлені помилками конструювання, а інші 90 % - недотриманням вимог документів по стандартизації.

У результаті значну частину готової КД доводиться допрацьовувати в процесі виготовлення досвідчених зразків. Крім того, відсутність служби нормоконтроля й кваліфікованих фахівців знижують якість продукції й конкурентоспроможність українських підприємств. Для виправлення положення, що створилося, необхідна інформаційна підтримка нормоконтролеров: ознайомлення з актуалізованими нормативними документами (НД), інформування про особливості проведення нормоконтроля різних видів документа.

3.5 Корпоративна система нормативних документів для підприємств та організацій авіаційної промисловості України

Авіаційна галузь є стратегічно важливим сектором економіки України. Незважаючи на те, що для підприємств, що розробляють і виготовляють авіаційну техніку (АТ), пріоритетом є пряме впровадження міжнародних і європейських нормативних документів (НД), включаючи стандарти НАТО, а також національних стандартів ДСТУ, на сьогоднішній день основою їхнього функціонування поки залишається система діяльності й взаємодій, заснована на комплексі НД, розроблених і прийнятих ще в часи існування міністерства авіаційної промисловості СРСР: теперішніх міждержавних стандартів (ДЕРЖСТАНДАРТ), галузевих стандартів (ОСТ), керівництв, положень, правил, інструкцій і т.п.

Організація роботи в Україні по створенню єдиної корпоративної системи нормативних документів (КСНД) відбита в [14, 15]

Відповідно до Закону України «Про стандартизацію», стандарти, кодекси сталої практики й технічні умови, прийняті центральними органами виконавчої влади до набрання чинності цього Закону, а також ОСТ й прирівняні до них інші НД колишнього СРСР, галузеві стандарти України (ГСТУ) застосовуються до їхньої заміни або скасування в Україні, але не більше 15 років від дня набрання чинності дійсним Законом. Проведений аналіз показує, що в структурі існуючого нормативного базису авіабудування України стандарти ДЕРЖСТАНДАРТ і ДСТУ становлять 5 %, що керують технічні матеріали, виробничі інструкції, технічні рекомендації, методичні вказівки – 20 %, технічні умови – 25 %, галузеві стандарти ОСТ і ГСТУ – 45 %, інші НД – 5 %. Фактично близько 65 % цих НД є нормативами галузевого рівня. Звідси видно, що для підприємств і організацій авіаційної галузі робота із заміни масиву міждержавних стандартів, що скасовують в Україні, ДЕРЖСТАНДАРТ і галузевих НД, дія яких повинне припинитися в 2029 році, є вкрай важливою й досить актуальною.

Забезпечення безперервного процесу розробки й виробництва авіаційної техніки в Україні в умовах чинності Закону «Про

стандартизацію» шляхом створення й забезпечення функціонування Корпоративної системи нормативних документів (КСНД) в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України є важливою місією підприємств, що взяли на себе ініціативу проведення такої роботи. Початок робіт було покладено підписанням 12 грудня 2018 р. АТ «Укрніат», ГП «Ивченко-Прогресс» і АТ «МОТОР СИЧ» протоколу робочої наради по питанню створення КСНД, до якого приєдналися ГП «ЛГАРЗ», ГП «ОАЗ», ГП «Луцький завод «Мотор», АТ «ФЭД».

Метою розробки КСНД є встановлення загальних правил виконання робіт зі стандартизації в сфері авіаційної промисловості України.

Для організації робіт зі створення й функціонування КСНД загальним рішенням підприємств і організацій, засновників системи, визначена Головна організація по корпоративній стандартизації (ГОС) в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України, що буде здійснювати свою діяльність відповідно до затвердженого Положення про ГОС. Функції ГОС доручено виконувати АТ «Укрніат».

Відповідно до Програми корпоративної стандартизації й щорічних планів, розробка нормативних документів для КСНД може здійснюватися як безпосередньо підприємствами й організаціями - учасниками системи, так і технічним комітетом з корпоративній стандартизації (ТКК) в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України, що передбачається створити при участі зацікавлених юридичних і фізичних осіб як консультативно-дорадчий орган у сфері корпоративної стандартизації, що діє відповідно до Положення про ТКК. Передбачається створення єдиного Фонду корпоративних нормативних документів в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України. Функції Фонду може виконувати спеціальне підприємство, засноване учасниками КСНД (або окремий існуючий учасник КСНД). Фонд буде здійснювати формування й ведення каталогу корпоративних нормативних документів, абонентське обслуговування учасників КСНД і інші функції відповідно до його Уставу.

Принципова організаційна структура КСНД [14] в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України і її

взаємодія з органами виконавчої влади, державними установами й іншим корпоративними системами НД показана на рис.3.6.

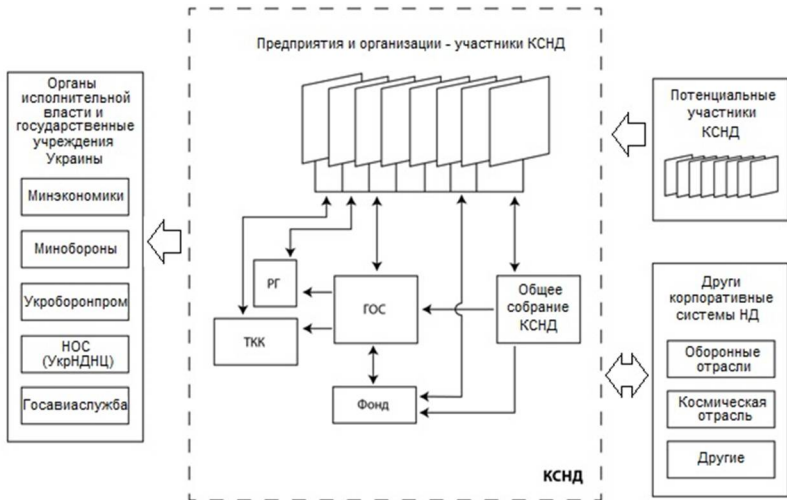


Рис.3.6. Організаційна структура КСНД

До числа основних функцій учасників КСНД ставляться: розробка, узгодження й виконання Програми корпоративної стандартизації; розробка корпоративних НД і їхнє прийняття. Основними функціями ГОС і Фонду корпоративних нормативних документів є: оцифровка фонду корпоративних НД; формування, ведення й наповнення фонду й сайту КСНД; формування й видання каталогу корпоративних НД; абонентське обслуговування учасників КСНД; установлення й підтримка зв'язків з міжнародними організаціями по стандартизації, з державними органами, з НІС і його технічні комітети, з організаціями по стандартизації інших галузей.

Відповідно до Закону України «Про стандартизацію», корпоративні НД, не будучи документами національного рівня, прийнятими національним органом стандартизації, ставляться до рівня стандартів, кодексів сталої практики й технічних умов, прийнятих підприємствами, установами й організаціями, що здійснюють власну стандартизацію, тобто, ставляться до рівня

стандартів організацій, У зв'язку із цим, документи КСНД прийнятий позначати, як показано на рис.3.7.

Як коментар до рис.3.7 слід зазначити, що функціонування КСНД в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України як наукомісткої галузі в умовах конкурентного середовища зажадає як перегляду існуючої й застосовуваної бази НД, так і обліку сучасного міжнародного досвіду стандартизації, зокрема шляхом прийняття НД визнаних авторитетних міжнародних організацій по стандартизації як корпоративні документи КСНД.

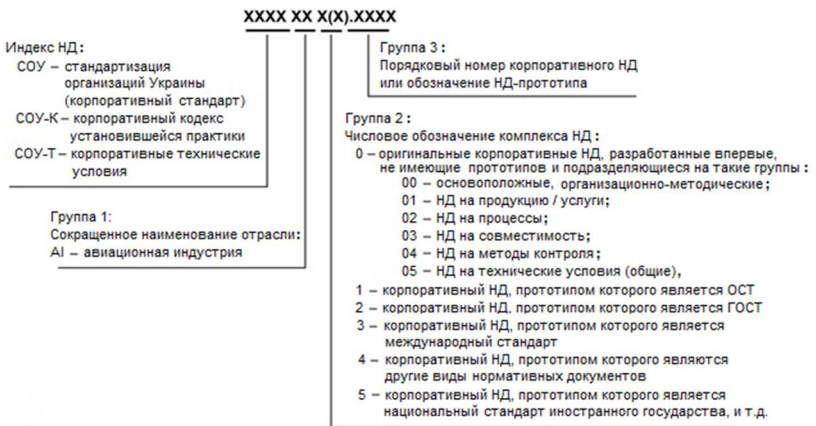


Рис. 3.7. Структура позначення корпоративного НД

Перегляд НД із метою придбання ними статусу корпоративних на основі наявних прототипів здійснюється з використанням методів підтвердження й перевидання, останній у свою чергу підрозділяється на методи передруку, перекладу й переробки. На рішення про метод прийняття НД у якості корпоративного впливає ступінь його відповідності прототипу: НД буде прийматися без змін; у НД будуть прийматися певні технічні відхилення від прототипу; у НД будуть вносити редакційні зміни. Крім того, приймається рішення про необхідність зміни структури НД, що здобуває статусу корпоративного. В остаточному підсумку,

установлюється ступінь відповідності корпоративного НД із Нд-прототипом. Позначення прототипу вказується в дужках після назви КНД із вказівкою ступеня відповідності: ідентичний - IDT; модифікований MOD; нееквівалентний - NEQ.

Для визначення масивів НД, які повинні в першу чергу здобувати статус корпоративних застосовуються різні методи. Використовуючи надані підприємствами масиви діючих НД, планованих до перегляду в якості корпоративних (структуровані за формою, розробленої ГОС), може бути застосований метод накладення. За результатами обробки заповнених форм від підприємств загальною чисельністю «n» ГОС формує масив НД, що збігаються для всіх «n» підприємств, які надалі будуть здобувати статусу корпоративних, рис.3.8.

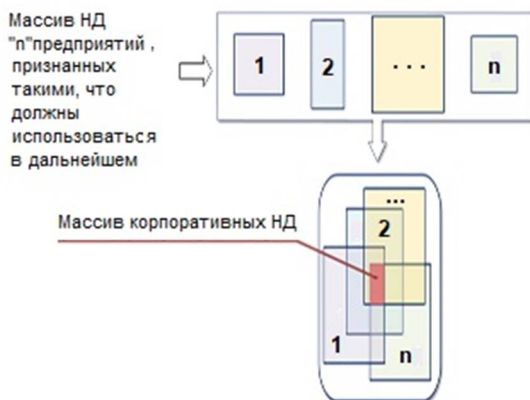


Рис.3.8. Метод накладення

Інший метод - це метод підсумовування. За результатами обробки заповнених форм від «n» підприємств ГОС формує масив НД, які надалі повинні придбати статусу корпоративних, шляхом підсумовування масивів від кожного з «n» підприємств із паралельним виключенням тих НД, які дублюються. Принцип методу підсумовування показаний на рис3.9.

Застосуємо також секторний метод (по галузевій ознаці). У цьому випадку формуються масиви НД, які збігаються для окремих груп підприємств із числа «n», наприклад, для 2-х, 3-х, 4-х

підприємств тощо. Такі масиви надалі будуть використатися для створення корпоративних НД по секторальній ознаці, наприклад, корпоративні НД авіаційних двигунів, літакобудування тощо. Крім того, можуть ураховуватися пропозиції окремих учасників КСНД про включення в масиви корпоративних НД тих документів, які не ввійшли в них, однак їхнє внесення вважається важливим для забезпечення діяльності зазначених учасників.

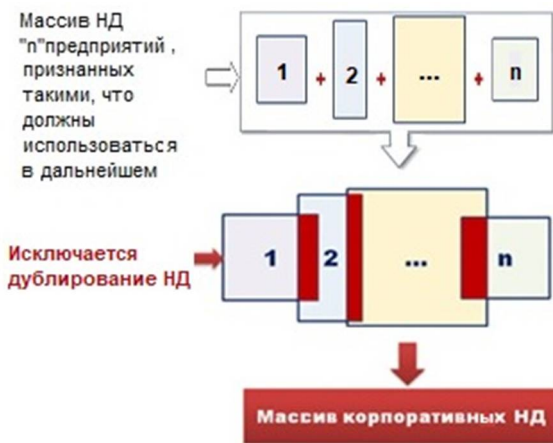


Рис. 3.9. Метод підсумовування

Робота над створенням корпоративної стандартизації в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України включає встановлення контактів з міжнародними, регіональними й національними організаціями закордонних країн по стандартизації для рішення питань щодо використання їх НД для потреб КСНД, а також розробку нових корпоративних НД шляхом підтвердження, передруку, перекладу НД міжнародних, регіональних або національних організацій по стандартизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П. Контрольные карты Шухарта [Текст] / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. - 2003. - N 5. - С. 33-37.
2. Бичківський Р.В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація / [Текст]: підручник /Р.В.Бичківський, П.Г.Столярчук, П.Р.Тамула.- Львів: Львівська політехніка, 2002.-560 с.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. / [Текст] // Под ред. В.Ф. Писаренко. – М.: Мир, 1974, кн. 1. – 406 с
4. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере (+CD). Для профессионалов / [Текст] // В. Боровиков. – 2-е изд., СПб: Питер, 2004. – 688 с.
5. Вальд А. Последовательный анализ / [Текст] – М.: Наука, 1980. – 326 с.
6. Коледов Л.А. Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок (3-е издание) / [Текст]: СПб.: Издательство «Лань», 2021. — 400 с.:
7. Николаева Э.К. «Семь инструментов качества» в японской экономике [Текст] / Э.К. Николаева. - М.: Изд-во стандартов, 2006.
8. Основи електроніки [Текст] : навчальний посібник / А. С. Васюра, Г. Д. Дорошенко, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко ; ВНТУ. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 197 с.
9. Томашевський О.В. Комп'ютерні технології статистичної обробки даних [Текст]: навчальний посібник / О.В. Томашевський, В.П. Рисіков – Запоріжжя: Запорізький національний технічний університет, 2014. – 175 с.
10. Володарский Е. Особенности, возможности та застосування контрольних карт накопичувальних сум. Частина 1. Метод графічного оцінювання розладнання технологічного процесу / [Текст] Е. Володарский, Л. Кошечая, И. Потоцкий. // Метрологія та приладобудування. – 2019. – №1.
11. Вьюнов В.А., Степаненко С.М., Томашевский А.В. Сравнение некоторых статистических методов оценки качества ремонта авиадвигателей // Авіаційно - космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. - Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». – 2006. – №10(36). – С. 127 – 129.
12. Вьюнов В.А., Степаненко С.М., Томашевский А.В. Оценка качества ремонта авиадвигателей непараметрическими методами статистики // Авіаційно - космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. - Харків: Нац.

- аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т». – 2007. – №7(43). – С. 183 – 186.
13. Кокотина В. В., Степаненко С. М. Нормоконтроль конструкторской документации в условиях реформирования системы технического регулирования // Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиационно-т», 2019. – Вып. 8(160). – С. 158–162
 14. Кривов Г.А., Кравченко И.Ф., Степаненко С.М., Шулепов В.Н., Кайнов М.Н., Атанасова А.А. О корпоративной системе нормативных документов в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины // Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиационно-т», 2020. – Вып. 5(165). – С. 13–19.
 15. Г.А. Кривов, И.Ф. Кравченко, С.М. Степаненко, В.Н. Шулепов, А.А. Атанасова О программе корпоративной стандартизации в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины // Авиационно-космічна техніка і технологія. - 2021. - № 4(172) - С. 4–10.
 16. Маринина А.Н., Степаненко С.М., Харченко В.Г. Мониторинг внутренней среды предприятия-разработчика авиационной техники, согласно требованиям стандарта EN 9100 // Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиационно-т», 2020. – Вып. 4(164). – С. 96–101
 17. Назаренко Ю.А., Степаненко С.М., Харченко В.Г. Оценка результативности процесса проектирования авиационных двигателей // Вестник двигателестроения. Научно-технический журнал. – 2018. – №2. – С. 143 – 147
 18. Назаренко Ю. А., Степаненко С. М. Оценка результативности и эффективности планирования в системе менеджмента качества предприятия-разработчика авиационной техники // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: Нац. аэрокосмический? Научно-технический журнал. ун-т «Харьк. авиационно-т», 2019. – Вып. 7(159). – С. 173–177

19. Степаненко С.М. Нормативне забезпечення проектування авіаційної техніки // Стандартизація, сертифікація, якість. Науково-технічний журнал. – 2014. – № 6. – С. 14 – 17.
20. Степаненко С.М. К вопросу о применении в авиадвигателестроении новых версий стандартов ISO 9001:2015 и AS/EN9100D:2016 // Авіаційно - космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. - Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2017. – Вип. 7(142). – С. 10 – 17.
21. Степаненко С.М., Серета Т.Н., Назаренко Ю.А. Оценка результативности процесса проектирования авиадвигателей с помощью графов // Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2020. – Вып. 5(165). – С. 41–46.
22. Томашевский А.В., Погосов В.В., Снежной Г.В. Использование последовательного критерия Вальда для обнаружения «разладок» технологических операций / [Текст] Авиационно-космическая техника и технология, 2008, № 10(57). с.222-226.
23. Томашевський О.В., Погосов В.В. Про критерії ефективності управління якістю інтегрованих мікросхем на етапі виробництва / [Текст] // Радіоелектроніка, інформатика, управління. № , 2009, с. 35-38.
24. Томашевський О.В. Використання статистичних методів при сертифікаційних випробуваннях інтегрованих мікросхем / [Текст] О.В.Томашевський, В.В.Погосов, Г.В.Сніжної // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2009. – № 1. – С. 38-41.
25. Томашевский А.В. Анализ статистических методов обеспечения надежности сложных технических систем [Текст] / Томашевский А.В., Тевс А.А. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 9(86). – С.116-119.
26. Томашевский А.В. Статистический анализ качества изготовления турбинных лопаток [Текст] / А.В.Томашевский, В.И.Фомичева // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 7(94). – С.7-10

27. Метрологічне забезпечення контролю якості продукції : монографія / [Ігнаткін В. У., Туз Ю. М., Левківський К. М., Томашевський О. В.]. за ред. Ігнаткін В. У. – Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, – 2017. – 202 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/309>
28. Якість продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.refine.org.ua/pageid-5382-1.html>
29. ДСТУ ISO 9000-2001 Системи управління якістю. Основні положення та словник. – К.: Держстандарт України, 2001. – 33 с.
30. ДСТУ 3514-97 Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення. – К.: Держспоживстандарт України, 1997. - 59с.
31. ДСТУ ISO 8258-2001 Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта – [Чинний від 2003–01–01].– К.: Держспоживстандарт України, 2003. –32 с.
32. ДСТУ ISO/TR 7871:2004 (ISO/TR 7871:1997, IDT) Статистичний контроль. Контрольні карти кумулятивних сум. Настанови щодо контролю якості та аналізу даних з використанням методик CUSUM – 47 с. 7 1
33. ДСТУ ISO 7873:2004 (ISO 7873:1993, IDT) Статистичний контроль. Контрольні карти для арифметичного середнього з попереджувальними межами – 18 с.
34. ДСТУ ISO 7870-1:2010 (ISO 7870-1:2007, IDT) Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 1. Загальні настанови –19 с.
35. ДСТУ ISO 7870 – 4: 2016 (ISO 7870 – 4:2011, IDT) Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 4. Карти кумулятивних сум.
36. AS/EN9100D:2016. Quality Management Systems - Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations [Tekst]. – Superseding AS/EN9100C; current 2016-09-20. – IAQG: SAE International, 2016. – 54 p.