

Контрольні карти Шухарта

ДСТУ ISO 8258-2001

- Традиційний підхід до виробництва, незалежно від виду продукції — це її виготовлення і контроль якості для перевірення готової продукції і відбраковування елементів, які не відповідають встановленим вимогам. Така стратегія часто призводить до втрат і не є економічною, оскільки побудована на перевірці постфактум, коли бракована продукція вже виготовлена. Натомість, ефективнішим є введення стратегії попередження втрат, що дозволяє уникнути зайвих витрат при початковому виробництві непридатної продукції. Цього можна досягти, збираючи та аналізуючи інформацію про процес виробництва таким чином, щоб потім впливати на сам процес.

Контрольна карта — це графічний засіб застосування статистичних методів, важливість яких для керування виробничими процесами була вперше показана доктором Уолтером Шухартом у 1924 р.

Теорія контрольних карт розрізняє два види мінливості.

Перший вид — випадкова мінливість через «випадкові причини» (відомі ще як «звичайні причини»). Вона зумовлена широким набором причин, що присутні постійно, які нелегко виявити, кожна з таких причин становить дуже малу частку загальної мінливості, і жодна з них не значима сама по собі. Проте сума всіх цих причин вимірنا і вважають, що вона є внутрішньою суттю процесу. Унеможливлення чи зменшення впливу звичайних причин вимагає управлінських рішень для виділення ресурсів на поліпшення процесу і системи.

Наведемо приклади групи факторів випадкового характеру:

- випадкові розкид характеристик матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів;
 - випадкові розкид параметрів технологічних процесів випадкові розкид параметрів технологічних процесів (навколишнє середовище і робоче тіло);
 - випадкові розкид параметрів технологічних процесів випадкові розкид параметрів технологічних процесів (навколишнє середовище і робоче тіло);
 - випадкові розкид характеристик і параметрів засобів технологічного оснащення, вимірювальних приладів, ріжучого і вимірювального інструменту, стендового випробувального устаткування тощо;
 - випадкові несприятливі поєднання допусків в розмірних технологічних ланцюжках при виготовленні продукції і т.д.

Мінливість, обумовлена факторами випадкового характеру, може бути зменшена шляхом проведення відповідних організаційно-технічних заходів на основі дослідження результатів їх статистичного аналізу та опису їх прояви статистичними закономірностями.

Другий вид мінливості являє собою реальні зміни в процесі. Вони можуть бути наслідком деяких обумовлених причин, не властивих процесу внутрішньо і можуть бути усунуті, принаймні теоретично. Ці причини, які виявляють, розглядають як «невипадкові» чи «особливі» причини зміни. До них можуть бути віднесені недостатня однорідність матеріалу, поломка інструменту, кваліфікація персоналу, невиконання процедур, низька ефективність виробничого чи контрольного устаткування.

Особливі причини мінливості є не випадкові фактори, що порушують стабільний перебіг процесу. Наведемо приклади групи факторів не випадкового характеру:

- застосування матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів, не передбачених технологічними процесами, в тому числі з простроченими термінами придатності;
 - недотримання встановлених нормативно-технічною документацією прийомів, методів і режимів обробки виробів і їх випробувань;
 - використання не атестованих під час засобів контролю та засобів технологічного оснащення з простроченими термінами придатності;
 - незадовільний стан засобів технологічного оснащення, ремонтної бази, лабораторного обладнання і т.д.;
- відсутність закріплення конкретних видів робіт (операцій) за певними виконавцями;
- неповне завершення попередніх операцій.

Мета контрольних карт — знайти неприродні зміни в даних для процесів, які повторюються, і дати критерії для виявлення недостатку статистичного керування. Процес знаходиться в статистично керованому стані, якщо мінливість викликана тільки випадковими причинами. Після визначення цього прийнятного рівня мінливості будь-який відхил від нього вважають результатом дії особливих причин, які варто виявити, вилучити чи послабити.

Задача статистичного керування процесами — забезпечення і підтримка процесів на прийнятному і стабільному рівні, що гарантує відповідність продукції і послуг встановленим вимогам. Головний статистичний інструмент, який використовують для цього, — контрольна карта — графічний засіб представлення і зіставлення інформації, що базується на послідовності вибірок, що віддзеркалюють поточний стан процесу, із межами, встановленими на основі мінливості, яка внутрішньо властива процесу.

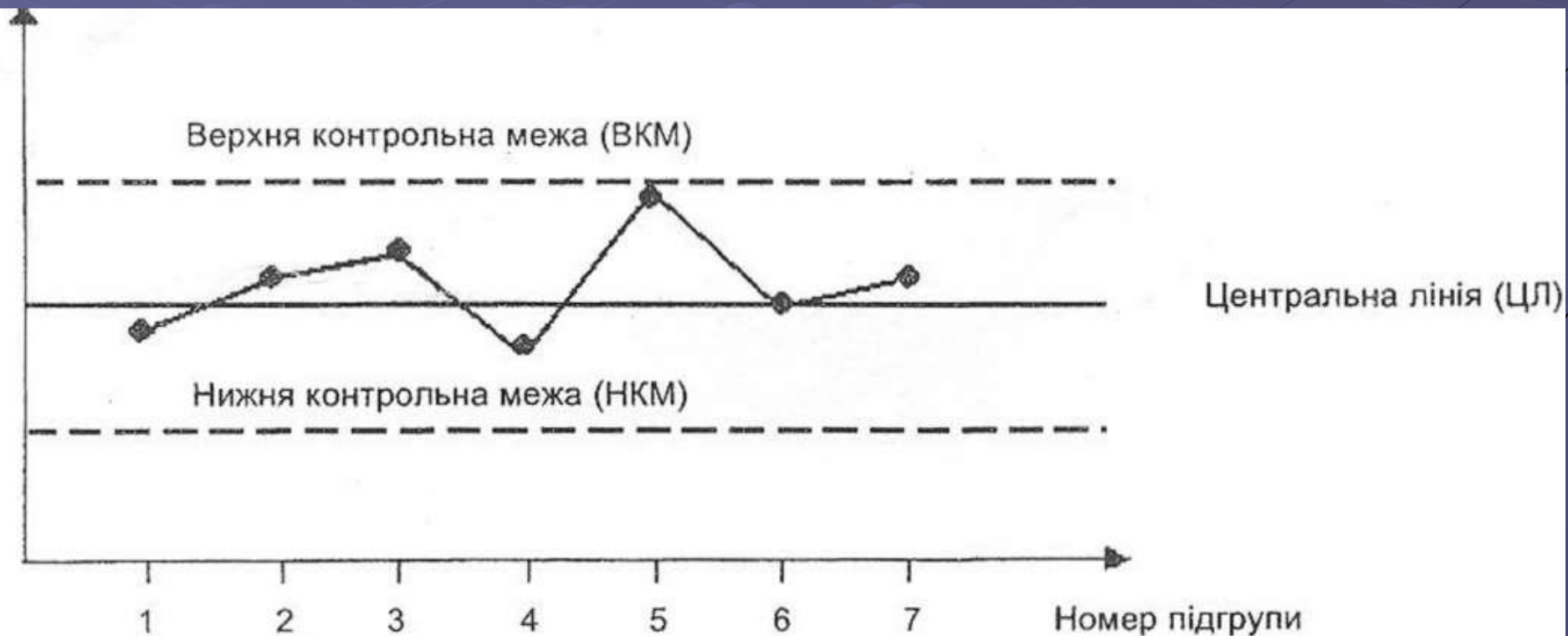
Метод контрольних карт допомагає визначити, чи дійсно процес досяг статистично керованого стану на правильно заданому рівні або залишається в цьому стані, а потім підтримувати керування і високий ступінь однорідності найважливіших характеристик продукції або послуги за допомогою неперервного фіксування інформації про якість продукції в процесі виробництва. Використовування контрольної карти і її ретельний аналіз ведуть до кращого розуміння й удосконалення процесу.

Для карти Шухарта потрібні вибіркові дані процесу, одержані через приблизно рівні інтервали. Інтервали можуть бути задані або за часом (наприклад погодинно), або за кількістю продукції (кожна партія).

Як правило, кожна підгрупа складається з однотипних одиниць продукції чи послуг з тими самими контрольованими показниками і всі підгрупи мають рівний обсяг.

Для кожної підгрупи визначають одну чи кілька характеристик, таких як середнє арифметичне підгрупи та розмах підгрупи R або вибіркове стандартне відхилення s .

Карта Шухарта — це графік значень знайдених характеристик підгруп залежно від їхніх номерів. Карта має центральну лінію (ЦЛ), що відповідає еталонному значенню характеристики.



Під час оцінювання того, чи знаходиться процес у статистично керованому стані, еталонним звичайно служить середнє арифметичне розглянутих даних.

Під час керування еталонним процесом служить довгострокове значення характеристики, встановлене в технічних умовах, чи її номінальне значення, що базується на попередній інформації про процес, або намічене цільове значення характеристики продукції чи послуги.

Карта Шухарта має дві контрольні межі (які визначають статистично) щодо центральної лінії, які називають верхньою контрольною межею (ВКМ) і нижньою контрольною межею (НКМ) (див. рисунок 1).

Контрольні межі на карті Шухарта містяться на відстані 3σ від центральної лінії, де σ — генеральне стандартне відхилення.

Мінливість усередині підгрупи є мірою випадкових варіацій.

Для одержання оцінки σ обчислюють вибіркоче стандартне відхилення чи множать вибіркочий розмах на відповідний коефіцієнт. Ця міра не охоплює варіації між групами, а тільки між елементами всередині підгрупи.

Межі 3σ вказують, що приблизно 99,7 % значень характеристики підгруп потраплять у ці межі за умови, що процес знаходиться в статистично керованому стані. Іншими словами, є ризик, рівний приблизно 0,3 % чи в середньому три на тисячу випадків, що нанесена точка виявиться поза контрольними межами, коли процес знаходиться в статистично керованому стані.

Вживають слово «приблизно», оскільки відхилення від вихідних припущень, таких як вид розподілу даних, будуть впливати на значення імовірності.

Треба відзначити, що деякі спеціалісти віддають перевагу множнику 3,09 замість множника 3, щоб забезпечити номінальне значення імовірності 0,2 % (у середньому два спостереження, що вводять в оману, на тисячу), але Шухарт вибрав число 3, щоб не давати підстав до розгляду точних ймовірностей.

Аналогічно деякі спеціалісти застосовують фактичні значення ймовірностей для карт, що базуються на розподілах, відмінних від нормального, таких як карти розмахів і часток невідповідностей. І в цьому випадку в карті Шухарта також використовують межі на відстані $\pm 3\sigma$ замість імовірнісних меж, спрощуючи емпіричну інтерпретацію.

Імовірність того, що порушення меж справді випадкова подія, а не реальний сигнал, вважають настільки малою, що з появою точки поза межами треба вжити певних заходів. Оскільки заходи треба приймати саме на цьому етапі, то контрольні межі 3σ іноді називають «межі дій».

Часто на контрольній карті межі проводять ще і на відстані 2σ . Тоді будь-яке вибіркове значення, що попадає за межі 2σ , може служити застереженням про можливість виходу процесу зі стану статистичної керованості. Тому межі 2σ іноді називають «попереджувальні».

Під час застосування контрольних карт можливі два види помилок. Помилка **першого роду** виникає, коли процес знаходиться в статистично керованому стані, а точка вискакує за контрольні межі випадково. У результаті неправильно вирішують, що процес вийшов зі стану статистичної керованості, і роблять спробу знайти й усунути причину неіснуючої проблеми.

Помилка **другого роду** виникає, коли розглянутий процес не керований, а точки випадково виявляються усередині контрольних меж. У цьому випадку невірно роблять висновок, що процес статистично керований і упускають можливість попередити ріст виходу невідповідної продукції. Ризик помилки другого роду — функція трьох факторів: ширини контрольних меж, ступеня некерovanості й обсягу вибірки. їхня природа така, що можна зробити лише загальне твердження про величину помилки.

Система карт Шухарта враховує тільки помилки першого роду, рівні 0,3 % у межах 3σ . Оскільки у загальному випадку недоцільно робити повну оцінку втрат від помилки другого роду в конкретній ситуації, а зручно доволіно обирати малий обсяг підгрупи в 4 чи 5 одиниць, доцільно використовувати межі на відстані $\pm 3\sigma$ і зосереджувати увагу в основному на керуванні і поліпшенні якості самого процесу.

Якщо процес статистично керований, контрольні карти реалізують метод безупинного статистичного перевіряння нульової гіпотези про те, що процес не змінився і залишається стабільний. Але оскільки величину конкретного відхилення характеристики процесу від цільового значення, яка могла б привернути увагу, звичайно не можна визначати заздалегідь, як і ризик помилки другого роду, і обсяг вибірки не розраховують для досягнення відповідного рівня ризику, то карту Шухарта не варто розглядати для перевіряння гіпотез (див. ISO 7966 та ISO 7870).

Шухарт підкреслював саме емпіричну корисність контрольних карт для встановлення відхилень від стану статистичної керованості, а не їх імовірнісну інтерпретацію. Деякі користувачі все таки застосовують криві оперативних характеристик як засоби для інтерпретації перевірянь гіпотез.

Коли нанесене значення виходить за одну з контрольних меж або серія значень виявляє незвичайні структури відповідний стан не можна далі вважати станом статистичної керованості. У цьому випадку треба дослідити та знайти невикладкові причини, а процес можна зупинити чи скорегувати. Як тільки невикладкові причини знайдено і усунено, процес знову готовий до продовження роботи. Під час виникнення помилки першого роду зрідка можна не знайти ніякої особливої причини, і тоді вважають, що вихід точки за межі являє собою досить рідкісну подію, випадкову причину, яка викликала появу значення поза контрольними межами, навіть коли процес знаходиться в статистично керованому стані.

Якщо контрольну карту процесу будують уперше, то часто трапляється так, що процес статистично некерований. Контрольні межі, які розраховані на основі даних такого процесу, будуть іноді призводити до помилкових висновків, оскільки вони можуть виявитися занадто широкими. Тому перш ніж установлювати постійні параметри контрольних карт, треба привести процес до статистично керованого стану.

ТИПИ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ

Контрольні карти Шухарта бувають двох типів: для кількісних і альтернативних даних. Для кожної контрольної карти зустрічаються дві ситуації:

- стандартні значення не задано;
- стандартні значення задано.

Стандартні значення — це значення, встановлені відповідно до деяких конкретних вимог чи мети.

Контрольні карти, для яких не задано стандартні значення

Мета таких карт — виявити, чи є відхилення значень досліджуваної характеристики, такої як X_{CP} , R чи якої-небудь іншої статистики, лише випадковими. Ці контрольні карти базуються цілком на даних самих вибірок, їх використовують для виявлення змін, які обумовлені не випадковими причинами.

Контрольні карти за наявності заданих стандартних значень

Метою таких карт є визначання того, чи відрізняються значення X_{Cp} і т.ін. для декількох підгруп, кожна обсягом n спостережень, від відповідних стандартних значень X_0 (чи μ_0) і т.ін. більше, ніж можна чекати за впливів тільки випадкових причин.

Різниця між картами, для яких задано стандартні значення, і картами, для яких не задано стандартні значення, полягає у додаткових вимогах до центрального значення та варіації процесу.

Встановлені значення можуть базуватися на досвіді, отриманому під час використання контрольних карт без апріорної інформації, або на заданих стандартних значеннях. Вони також можуть базуватися на економічних показниках, встановлених після розгляду потреби в послугі і вартості виробництва, чи можуть бути зазначені в технічних вимогах на продукцію.

Багато, щоб встановлені значення визначали на основі дослідження попередніх даних, що, як передбачено, стануть типовими для всіх майбутніх даних. Для ефективного використання контрольних карт стандартні значення повинні бути зіставлені з природною мінливістю процесу. Контрольні карти, що базуються на таких стандартних значеннях, особливо корисні для керування процесами і підтримки однорідності продукції на бажаному рівні.

Типи контрольних карт для кількісних та альтернативних даних

Розглядають такі контрольні карти:

а) контрольні карти для кількісних даних:

- 1) карти середнього (\bar{X}) і розмахів (R) чи вибірових стандартних відхилень (s);
- 2) карти індивідуальних значень (X) і ковзних розмахів (R);
- 3) карти медіан (Me) і розмахів (R);

б) контрольні карти для альтернативних даних:

- 1) карти часток невідповідностей (p) чи карти числа невідповідних одиниць (np);
- 2) карта кількості невідповідностей (c) або карта числа невідповідностей, які приходяться на одиницю продукції (u).

КОНТРОЛЬНІ КАРТИ ДЛЯ КІЛЬКІСНИХ ДАНИХ

Кількісні дані являють собою спостереження, отримані вимірюванням і записуванням значень деякої характеристики для кожної одиниці, розглянутої в підгрупі. Прикладами вимірних значень є довжина в метрах, опір в омах, шум у децибелах тощо. Карти для кількісних даних, особливо найпростіші з них — \bar{X} - і R -карти, є класичним застосуванням контрольних карт до статистичного керування процесами.

Контрольні карти для кількісних даних мають такі переваги:

- а) Більшість процесів і їхня продукція на виході мають характеристики, що можуть бути виміряні, тому ці карти застосовують частіше.
- б) Вимірне значення містить більше інформації ніж просте твердження типу «так чи ні».
- в) Поведінка процесу може бути проаналізована без використання встановлених вимог. Карти запускають разом із процесом і дають незалежну картину того, на що процес здатний. Після цього характеристики процесу можна чи порівнювати, чи не порівнювати зі встановленими вимогами.
- г) Хоча одержання кількісних даних дорожче ніж альтернативних, обсяги підгруп для кількісних даних майже завжди набагато менші і у цьому випадку набагато ефективніші. Це дозволяє в деяких випадках знизити загальну вартість контролю і зменшити часовий розрив між виробництвом продукції і коригувальним впливом.

Для контрольних карт, що використовують кількісні дані, передбачено нормальний (гауссівський) розподіл відхилень в межах вибірок, причому відхилення від цього припущення впливають на ефективність карт.

Коефіцієнти для обчислювання контрольних меж виведені за умови нормального розподілу. Оскільки більшість контрольних меж використовують тільки як емпіричні критерії під час прийняття рішень, доцільно нехтувати малими відхилення від нормальності.

У будь-якому разі завдяки центральній граничній теоремі вибіркові середні мають розподіл, що наближається до нормального з ростом обсягу вибірки, навіть коли окремі спостереження не підкоряються нормальному закону; це обґрунтовує можливість припущення про нормальність для \bar{X} - карт навіть за таких малих обсягів вибірок як 4 чи 5 одиниць, узятих для проведення контролю.

Під час розгляду окремих спостережень для вивчення властивостей процесу важливу роль відіграє його істинний розподіл. Рекомендовано періодично перевіряти виконання таких припущень, щоб переконатися, що використовувані дані належать одній сукупності. Треба зазначити, що розподіли розмахів і стандартних відхилень відрізняються від нормального, хоча припущення нормальності використовували під час оцінювання коефіцієнтів для обчислювання контрольних меж, які, як правило, прийнятні для процедур прийняття емпіричних рішень.

Карти середніх (X_{CP}) та розмахів (R) або вибірових стандартних відхилень (s)

Карти для кількісних даних можуть описувати вибірові дані процесу через розкид (мінливість від одиниці до одиниці) і через положення центра (середнє процесу). Тому контрольні карти для кількісних даних майже завжди застосовують і аналізують парами - одна карта для положення центра й одна - для розкиду. Найчастіше використовують пари X_{CP} - та R -карт. У таблицях 1 і 2 наведено формули контрольних меж і коефіцієнти для відповідних карт.

Таблиця 1 — Формули контрольних меж для карт Шухарта з використанням кількісних даних

Статистики	Стандартні значення не задано		Стандартні значення задано	
	Центральна лінія	ВКМ і НКМ	Центральна лінія	ВКМ і НКМ
\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ чи $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$	X_0 чи μ	$X_0 \pm A?_0$
R	\bar{R}	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	R_0 чи $d_2 ?_0$	$D_1 ?_0, D_2 ?_0$
s	\bar{s}	$B_3 \bar{s}, B_4 \bar{s}$	s_0 чи $c_4 ?_0$	$B_5 ?_0, B_6 ?_0$
Примітка. X_0, R_0, s_0, μ та σ — задані стандартні значення.				

Таблиця 2 — Коефіцієнти для обчислювання ліній контрольних карт

Кількість спостережень у підгрупі, n	Коефіцієнти для обчислювання контрольних меж												Коефіцієнти для обчислювання центральної лінії			
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	C ₄	1/C ₄	d ₂	1/d ₂	
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865	
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907	
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857	
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299	
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946	
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698	
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512	
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367	
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249	
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152	
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069	
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998	
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9810	1,0194	3,407	0,2935	
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880	
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831	
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787	
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747	
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711	
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677	
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647	
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,9882	1,0119	3,819	0,2618	
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592	
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567	
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,434	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,0105	3,931	0,2544	

Джерело: ASTM, Philadelphia, PA, USA.

Контрольні карти для індивідуальних значень (X)

У деяких ситуаціях для керування процесами неможливо або непрактично мати справу з раціональними підгрупами. Час або вартість, необхідні для вимірювання за одиночного спостереження, настільки великі, що проведення повторних спостережень навіть не розглядають. Це звичайно відбувається, коли вимірювання дорого коштує (наприклад, за руйнівного контролю) або вихід продукції весь час відносно однорідний. В інших ситуаціях можливо отримати тільки одне значення, наприклад покази приладу або значення характеристики партії вихідних матеріалів. У таких випадках необхідно, щоб контроль процесу базувався на індивідуальних значеннях.

У випадку карт індивідуальних значень для одержання оцінок мінливості в межах партії не використовують раціональні підгрупи, а контрольні межі розраховують на основі міри варіації, отриманої за ковзними розмахами, часто двох спостережень.

Ковзний розмах — це абсолютне значення різниці вимірювань в послідовних парах; тобто це різниця першого і другого вимірювання, потім другого і третього тощо.

На основі ковзних розмахів обчислюють середній ковзний розмах \bar{R} , який використовують для побудови контрольних карт. Також на основі всіх даних обчислюють загальне, середнє $\bar{\bar{X}}$.

У таблиці 3 приведено формули для розрахунку контрольних меж для карт, індивідуальних значень.

Таблиця 3 — Формули контрольних меж для карт індивідуальних значень

Статистика	Стандартні значення не задано		Стандартні значення задано	
	Центральна лінія	ВКМ і НКМ	Центральна лінія	ВКМ і НКМ
Індивідуальне значення X	\bar{X}	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$	X_0 чи μ	$X_0 \pm 3\sigma_0$
Ковзний розмах R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	R_0 чи $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0,$ $D_1 \sigma_0$

Примітка 1. X_0, R_0, μ та σ_0 — задані стандартні значення.

Примітка 2. \bar{Y} означає середній ковзний розмах з двох спостережень ($n = 2$).

Примітка 3. Значення коефіцієнтів d_2, D_1, D_2, D_3, D_4 та опосередковано $E_2 = 3/d_2$ можна отримати з таблиці 2 за $n = 2$.

Під час використання карт індивідуальних значень необхідно враховувати таке:

- карти індивідуальних значень не так чутливі до змін процесу, як X_{CP} - та R - карти;
- під час інтерпретації карт індивідуальних значень потрібно виявляти обережність, якщо розподіл процесу не є нормальним;
- карти індивідуальних значень не вирізняють повторюваність процесу від елемента до елемента, і тому в деяких випадках краще використовувати звичайні X_{CP} – та R - карти з малими обсягами вибіркового підгруп (від 2 до 4), навіть якщо це вимагає збільшення інтервалу між підгрупами.

Контрольні карти для медіан (Me)

Карти медіан є альтернативою – X_{CP} - та R -карт для керування процесом з вимірюваними даними; вони забезпечують аналогічні висновки і мають певні переваги. Такі карти прості під час застосовування і не вимагають великих обчислювань. Це може полегшити їх впровадження у виробництво. Оскільки на карти наносять значення медіан нарівні з індивідуальними значеннями, карта медіан дає розкид результатів процесу і докладну картину варіацій.

Контрольні межі для карт медіан обчислюють двома способами: за допомогою розрахунку медіан від медіан підгруп і медіан розмахів; або розрахунку середніх від медіан підгруп і середніх розмахів. Лише останній спосіб, який і простіший, і зручніший, розглядають в цьому стандарті.

Контрольні межі розраховують таким чином

Карта медіан

Центральна лінія $= \bar{Me}$ = середнє значення медіан підгруп.

$$ВКМ_{Me} = \bar{Me} + A_4 \bar{R}, \quad НКМ_{Me} = \bar{Me} - A_4 \bar{R}.$$

Карту розмахів будують таким самим чином, як і \bar{X} - т R -карти. Значення коефіцієнтів A_4 приведені в таблиці 4.

Таблиця 4 — Значення коефіцієнтів A_4

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_4	1,88	1,19	0,80	0,69	0,55	0,51	0,43	0,41	0,36

Треба відзначити, що карта медіан з межами 3? повільніше реагує на вихід процесу зі стану статистичного керування ніж \bar{X} -карта.

Карта розмахів

Центральна лінія = \bar{R} = середнє значення розмахів R для всіх підгруп.

$$\text{ВКМ}_R = D_4 \bar{R}, \text{ НКМ}_R = D_3 \bar{R}.$$

Значення констант D_3 та D_4 наведено у таблиці 2.

МЕТОД КЕРУВАННЯ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ ДЛЯ КІЛЬКІСНИХ ДАНИХ

Система карт Шухарта спирається на той факт, що коли мінливість процесу від елементу до елементу і середнє процесу залишаються постійними на даних рівнях (оцінених, відповідно, за \bar{R} та $\bar{\bar{X}}$), то розмахи (R) та середні (\bar{X}) окремих підгруп будуть змінюватися тільки випадковим чином і рідко виходити за контрольні межі. Також не повинно бути очевидних трендів або структур даних, окрім тих, що виникають випадково з деякою часткою імовірності.

\bar{X} -карта показує, де знаходиться середнє процесу і віддзеркалює стабільність процесу.

\bar{X} - карта виявляє небажані варіації між підгрупами і варіації відносно їх середнього.

R -карта виявляє будь-яку небажану варіацію всередині підгруп і служить індикатором мінливості процесу, який досліджують.

Це міра слухності (конзистентності) і однорідності процесу. Якщо R -карта показує, що варіації всередині підгруп не змінюються, то це означає, що процес залишається в статистично керованому стані. Це має місце тільки в тому випадку, якщо всі вибірки обробляли однаково. Якщо R -карта показує, що процес вийшов з керованого стану або рівень на R -карті зростає, то це може означати, що або окремі підгрупи зазнали різного обробляння, або в процесі діє декілька різних систем причинно-наслідкових зв'язків.

На \bar{X} -карту також можуть впливати умови, за яких процес вийшов зі стану статистичної керованості за R -карти. Можливість інтерпретувати розмахи або середні значення підгруп залежить від оцінювання мінливості від елемента до елемента, тому R -карту необхідно аналізувати першою.

Треба слідувати наступній процедурі керування

- Збирають і аналізують дані, обчислюють середні і розмахи.
- Спочатку будують R -карту. Зіставляють нанесені точки розмахів зі контрольними межами, виділяють точки поза межами, незвичайні структури або тренди. Для кожного сигналу про наявність невикладкової причини в значеннях розмаху аналізують операції процесу, щоб визначити причину. Проводять корегувальні дії і дії щодо запобігання повторенню даної причини. Вилучають усі підгрупи, на які вплинула невикладкова причина; потім перераховують і наносять на карту нові середній розмах (\bar{R}) і контрольні межі. Необхідно отримати підтвердження того, що всі точки розмахів під час порівняння з новими межами вказують на статистичну керованість, і, якщо потрібно, повторити послідовність дії: ідентифікування - коригування - перерахування.

Якщо деякі підгрупи вилучено з R -карти через виявлені особливі причини, їх треба вилучити і з \bar{X} -карти. Переглянуті значення \bar{R} та $\bar{\bar{X}}$ треба використати для перерахування пробних контрольних меж для середніх: $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$.

Коли розмахи знаходяться в статистично керованому стані, розкид процесу (відхилення всередині підгруп) вважають стабільним. У цьому випадку можна проаналізувати середні, щоб побачити, чи міняється у часі середнє значення процесу.

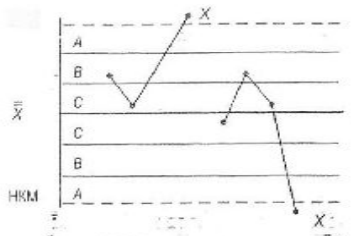
Тепер будують \bar{X} - карту і порівнюють точки з контрольними межами. Виділяють точки поза межами, незвичайні структури точок або тренди так само як і для R -карти необхідно аналізувати будь-який зі станів статистичної некерованості і провести корегувальні і попереджувальні заходи.

Треба вилучити точки, які характеризують цей стан і для яких були знайдені невинні причини; повторно обчислити і нанести на графік нове середнє процесу ($\bar{\bar{X}}$) та контрольні межі. Перевіряють, щоб, порівняно з новими межами, всі точки показували статистично керований стан, за необхідності поновлюючи послідовність дії: ідентифікування — коригування — перерахування.

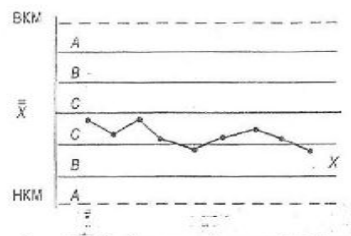
Якщо початкові дані для встановлення еталонних значень контрольних меж розташовують лише всередині пробних меж, розширюють межі, щоб охопити майбутні дані. Виконавці (оператор і (або) майстер) повинні користуватися цими межами для подальшого керування процесом, реагувати на сигнали про вихід процесу з керованого стану на будь-якій з \bar{X} - та R -карт і виконувати належні дії.

ПЕРЕВІРЯННЯ СТРУКТУРИ НА ОСОБЛИВІ ПРИЧИНИ

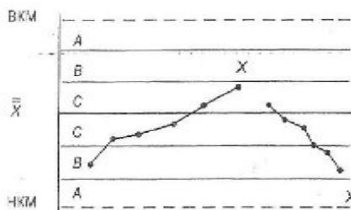
Для інтерпретації ходу процесу за картами Шухарта існує набір з восьми додаткових критеріїв, який схематично показаний на рисунку 2.



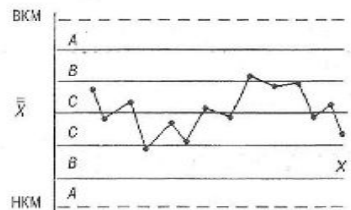
Критерій 1. Одна точка поза межами зони А



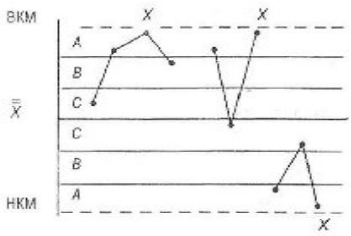
Критерій 2. Дев'ять точок підряд у зоні С або по одну сторону від центральної лінії



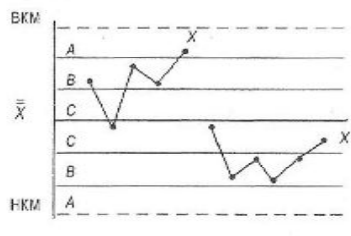
Критерій 3. Шість підряд зростаючих чи спадаючих точок



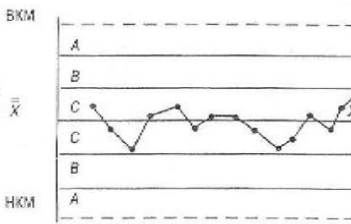
Критерій 4. Чотирнадцять попереміно зростаючих та спадаючих точок



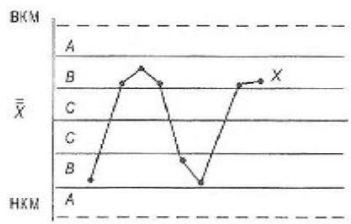
Критерій 5. Два з трьох послідовних точок у зоні А чи зовні зони А



Критерій 6. Чотири з п'яти послідовних точок у зоні В чи зовні зони В



Критерій 7. Пятнадцять послідовних точок у зоні С вище та нижче центральної лінії



Критерій 8. Вісім послідовних точок з обох сторін центральної лінії та жодної у зоні С

Цей набір критеріїв можна прийняти за основу, але користувачі повинні звертати увагу на будь-яку незвичайну структуру точок, яка може вказувати на вияв особливих (невипадкових) причин. Тому ці критерії потрібно розглядати тільки як приклади ситуацій, коли можуть бути встановлені невідповідні причини. Поява будь-якого з випадків, описаних в цих критеріях, - вказівка на присутність особливих причин, які повинні бути проаналізовані і скориговані.

Верхня та нижня контрольні межі розташовано на відстані 3σ над і під центральною лінією. Для застосовування цих критеріїв контрольну карту поділяють на шість рівних зон шириною σ . Ці зони позначають літерами A, B, C, C, B, A , причому зони C розташовано симетрично відносно центральної лінії. Дані критерії можна застосовувати до \bar{X} -карт та до карт індивідуальних значень (X). Передбачено нормальний розподіл.

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ І МОЖЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ

- Призначення системи керування процесом полягає в отриманні статистичного сигналу про наявність особливих (невипадкових) причин варіацій. Систематичне усунення особливих причин надмірної мінливості приводить процес в стан статистичної керованості. Якщо процес знаходиться в статистично керованому стані, якість продукції можна передбачувати, і процес придатний для задоволення вимог, встановлених в нормативних документах.

Можливості процесу визначають повною мінливістю (розкидом процесу), зумовленою звичайними причинами, тобто мінімальною мінливістю, яка залишається після усунення всіх невідповідних причин. Можливості процесу представляють показники самого процесу в статистично керованому стані. Процес спочатку приводять в такий стан, а потім визначають його можливості.

Таким чином, визначати можливості процесу починають після того, як задачі керування за \bar{X} - та R -картами вирішено; тобто особливі причини виявлено, проаналізовано, скориговано та їх повторення відвернути, а поточні контрольні карти демонструють збереження процесу в статистично керованому стані, принаймні, для 25 підгруп. Далі розкид даних на виході процесу порівнюють з технічними вимогами для підтвердження того, що ці вимоги можуть бути впевнено виконані.

У загальному випадку можливості процесу визначають індексом можливостей процесу ІМП (чи cp):

$$\text{ІМП} = \text{номінальний допуск} / \text{розкид процесу} = \\ = (\text{ВПЗ} - \text{НПЗ}) / 6\sigma,$$

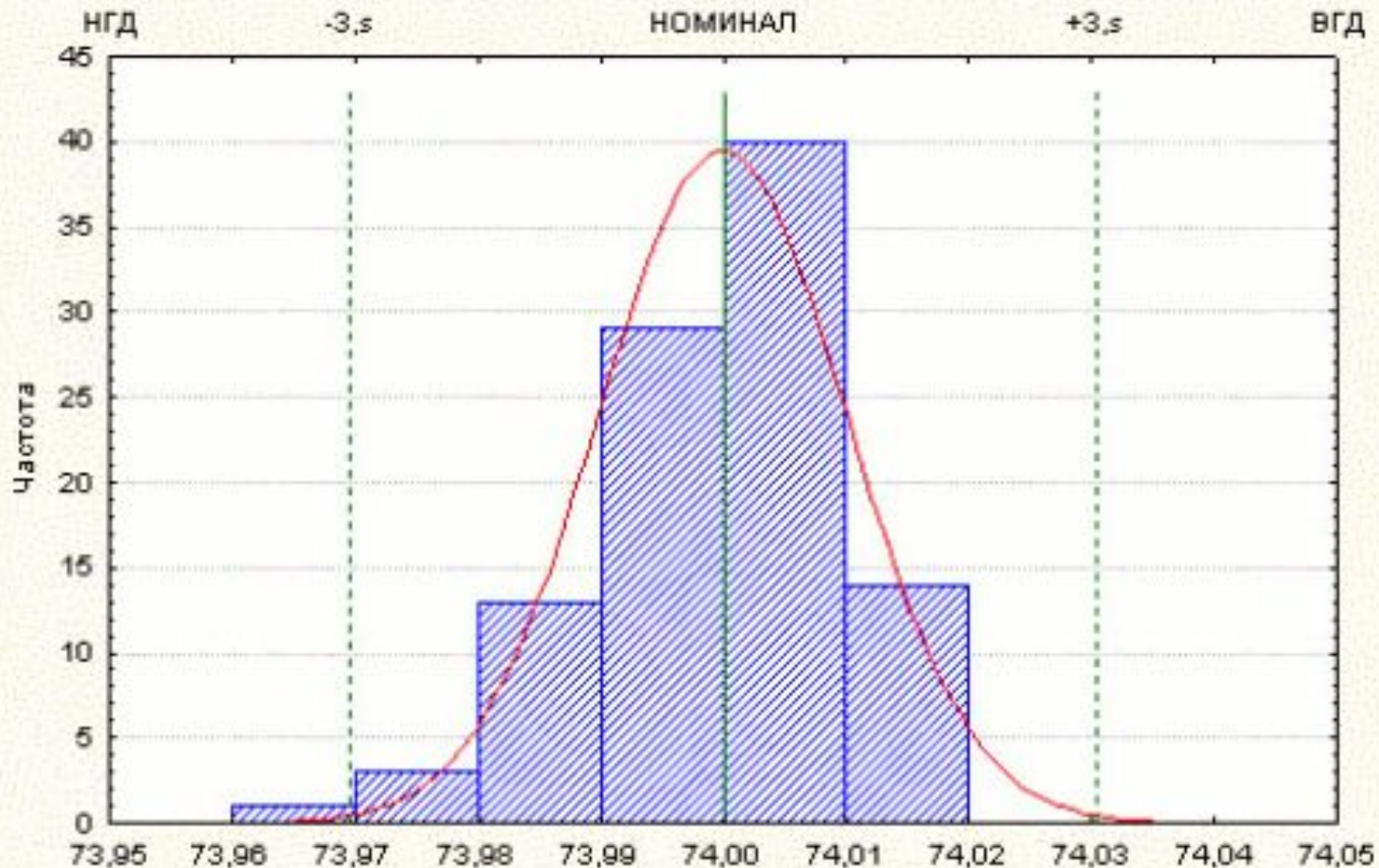
- де ВПЗ — верхнє максимально припустиме значення параметра, яке контролюють, НПЗ — нижнє максимально припустиме значення параметра, яке контролюють, σ — оцінюють за середньою мінливістю всередині підгруп і виражають як \bar{s}/c_4 або \bar{R}/d_2 .

Нижня/верхня потенційна придатність: C_{pl} , C_{pu} .

$$C_{pl} = (\text{Середнє} - \text{НПЗ})/3\sigma \text{ и } C_{pu} = (\text{ВПЗ} - \text{Середнє})/3\sigma$$

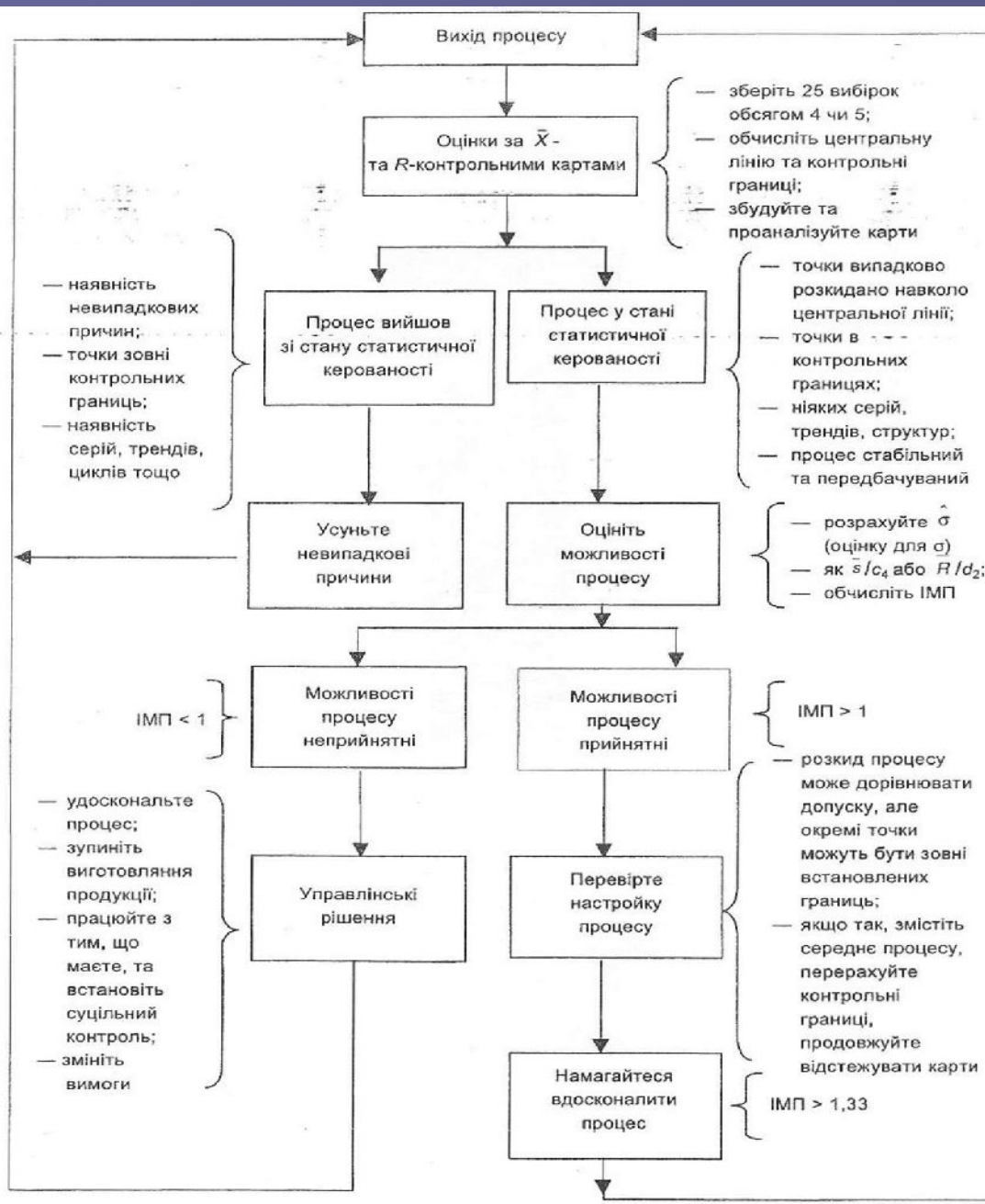
Нормальний розподіл, границі допуску

Перемен.: SAMPLE_1 Средн: 74,0000 Сигма: ,010109
Спецификации: НГД=73,9500 Номинал=74,0000 ВГД=74,0500
Норм.: Ср=1,649 Срк=1,648 Срl=1,648 Сру=1,649



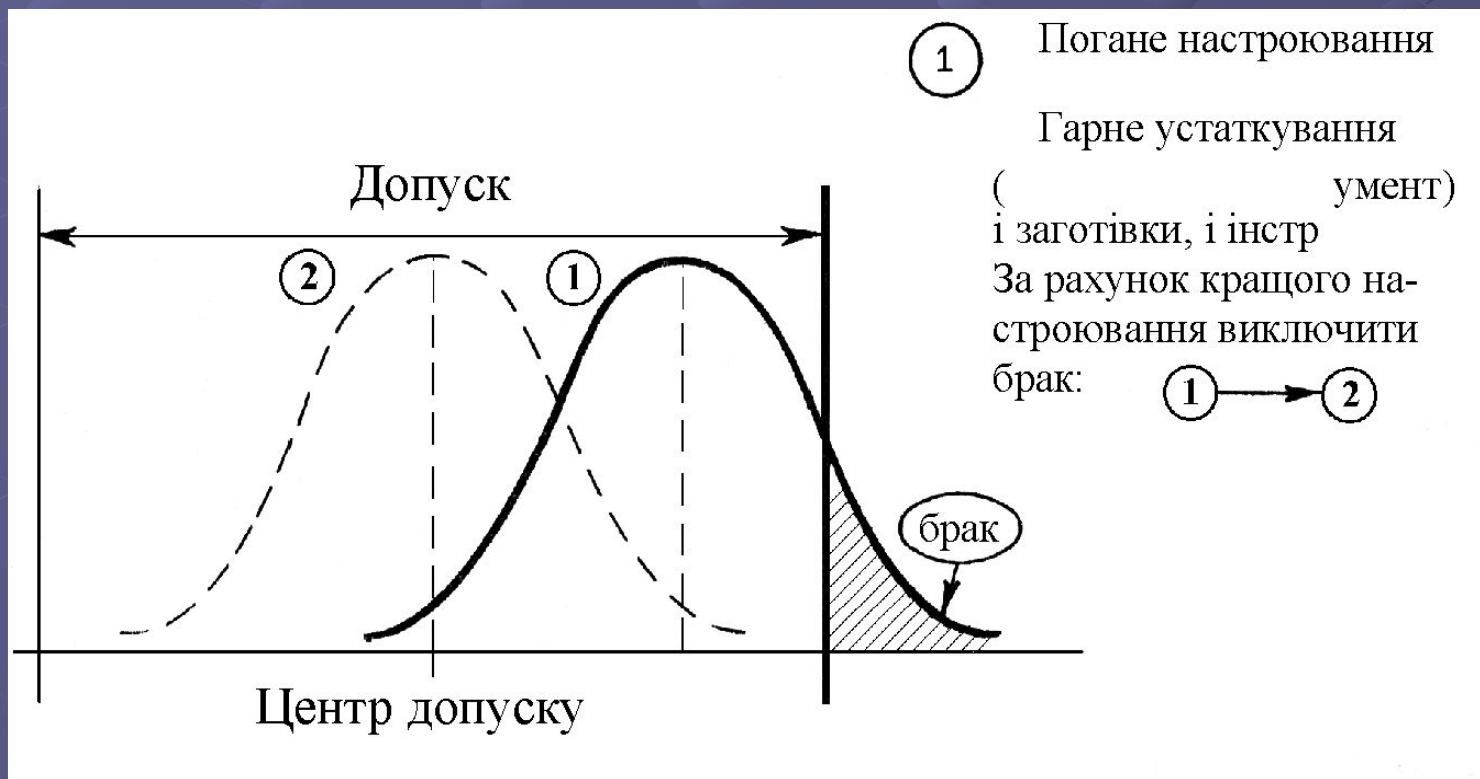
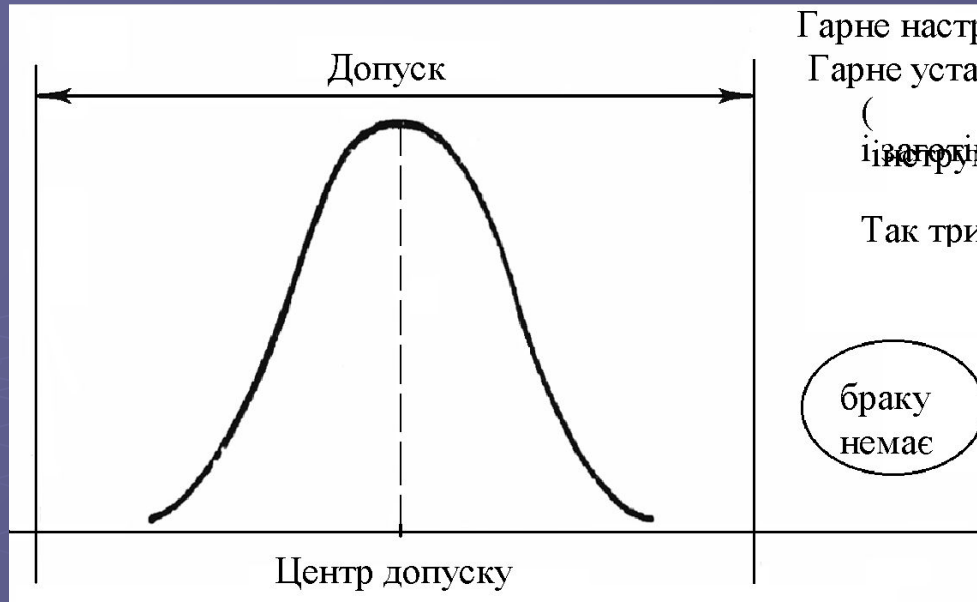
- За ІМП, меншому ніж 1, можливості процесу неприйнятні, а за ІМП, що дорівнює 1, процес знаходиться на межі потрібних можливостей. На практиці як мінімальне прийнятне значення беруть $ІМП = 1,33$, оскільки завжди є деякі варіації у вибірках та немає процесів, які завжди знаходяться в статистично керованому стані.

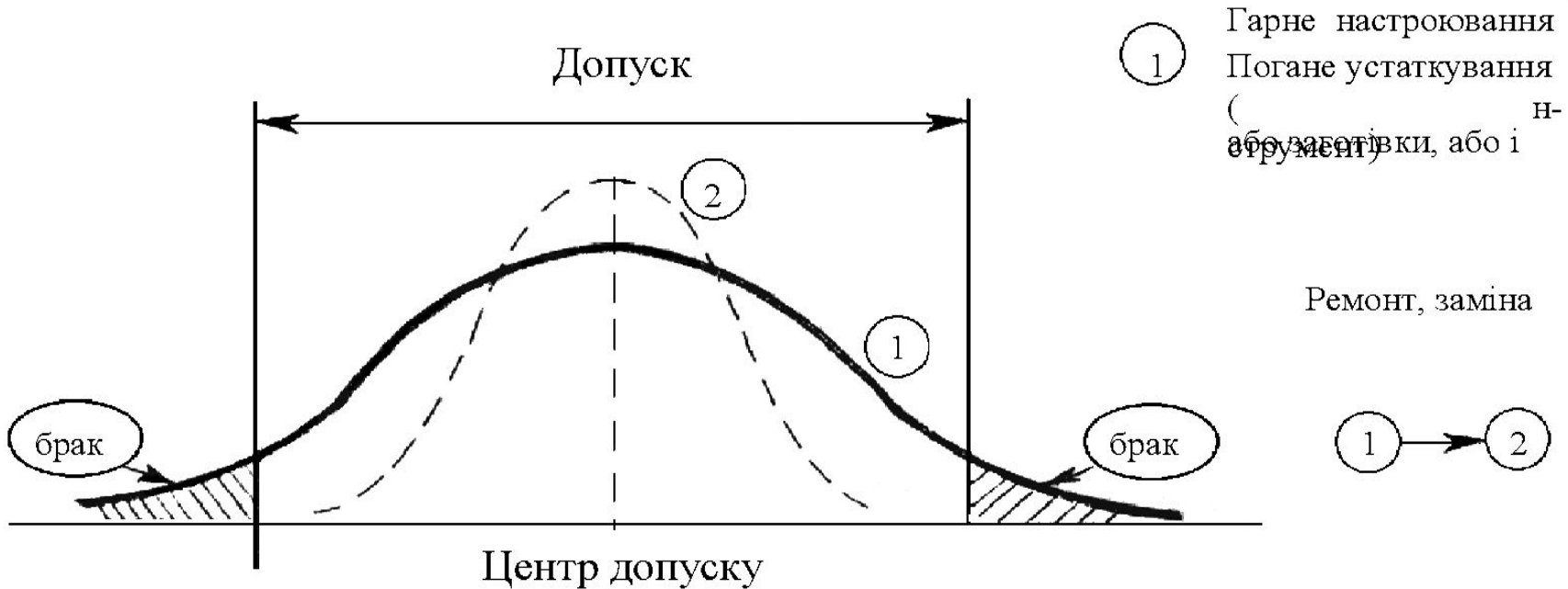
Потрібно зазначити, що ІМП вимірює тільки відношення розкиду процесу і допуску, а положення або центрування процесу не враховують. За високих значень ІМП все-таки можливий вихід частки значень за встановлені межі. Тому важливо також оцінювати відстань між середнім значенням процесу і найближчим гранично допустимим значенням.



Як керівництво до дій за статистичного контролю та поліпшення процесу можна використати процедуру, схематично представлену на рисунку 3.

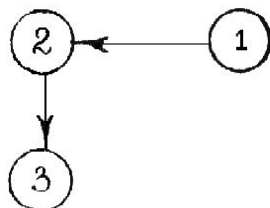
Рисунок 3 — Стратегія удосконалення процесу



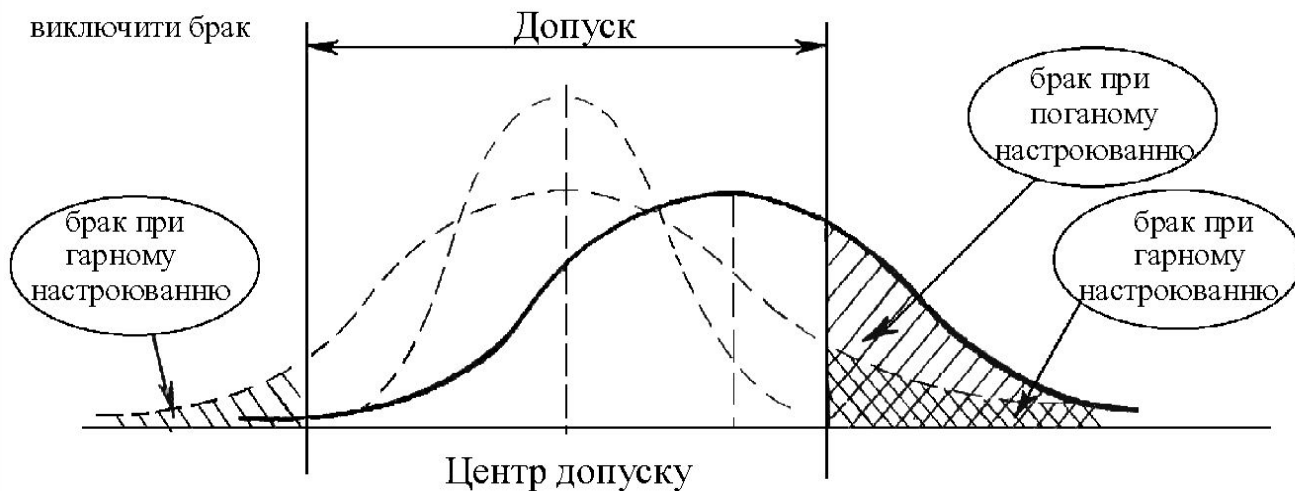


За рахунок кращого настроювання зменшити брак

За рахунок ремонту, заміни, забезпечення стабільності заготовок виключити брак



Погане настроювання
Погане устаткування (або заготовки, або інструмент)



ЗІРКА 2: ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ ЯК ВІДПОВІДНІСТЬ СТАНДАРТАМ І СТАБІЛЬНІСТЬ ПРОЦЕСІВ



ЗІРКА 3: ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ, ПРОЦЕСІВ, ДІЯЛЬНОСТІ ЯК ВІДПОВІДНІСТЬ РИНКОВИМ ВИМОГАМ



Явище самоорганізації і його застосування при вирішенні завдань менеджменту якості

У результаті досліджень процесів створення продукції визначені особливості виробничої системи за критеріями спадковості:

а) якість – функція організованості структури процесів створення продукції;

б) виникнення відмов обумовлене негативною спадковістю виробництва, нагромадженням її на стадіях життєвого циклу;

в) як міру організованості структури виробництва приймаємо ентропію виробничої системи; ентропія, у свою чергу, – це функція ступеню дефектності процесів створення продукції;

г) ентропія оцінюється рівнем дефектності на етапах створення продукції або в процесі технологічних операцій (переходів);

д) заходи, що знижують рівень дефектності, – суть керуючі впливи, що підвищують організованість системи.

- Відкрита інформаційна система, зв'язана з зовнішнім світом, відкіля надходить потік енергії (інформації), що стимулює внутрішні процеси перетворення системи, що викликають її оновлення, у вигляді створення нової продукції.

Оновлення системи сприяє убуванню ентропії, що означає процвітання компанії.

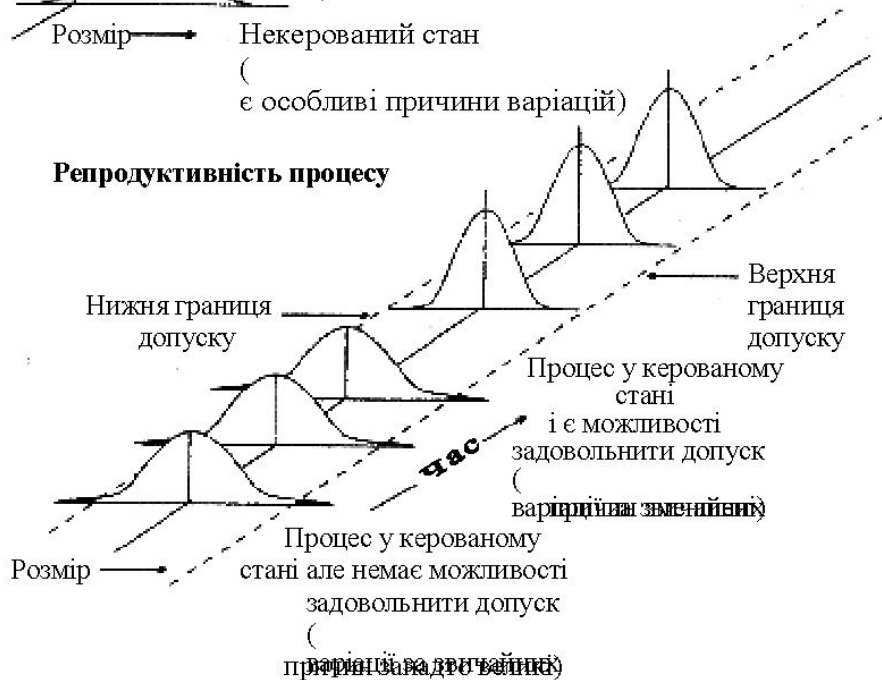
Неадекватна реакція фірм на зміни в зовнішньому світі (зміни вимог споживача) веде до збільшення ентропії і деградації виробничої системи. Навіть компанія, що має довгу історію успішного функціонування, має потребу в припливі свіжої управлінської енергії у свої елементи, щоб зупинити невблаганні сили руйнування.

Управління процесом і відтворюваність процесу

Управління процесом

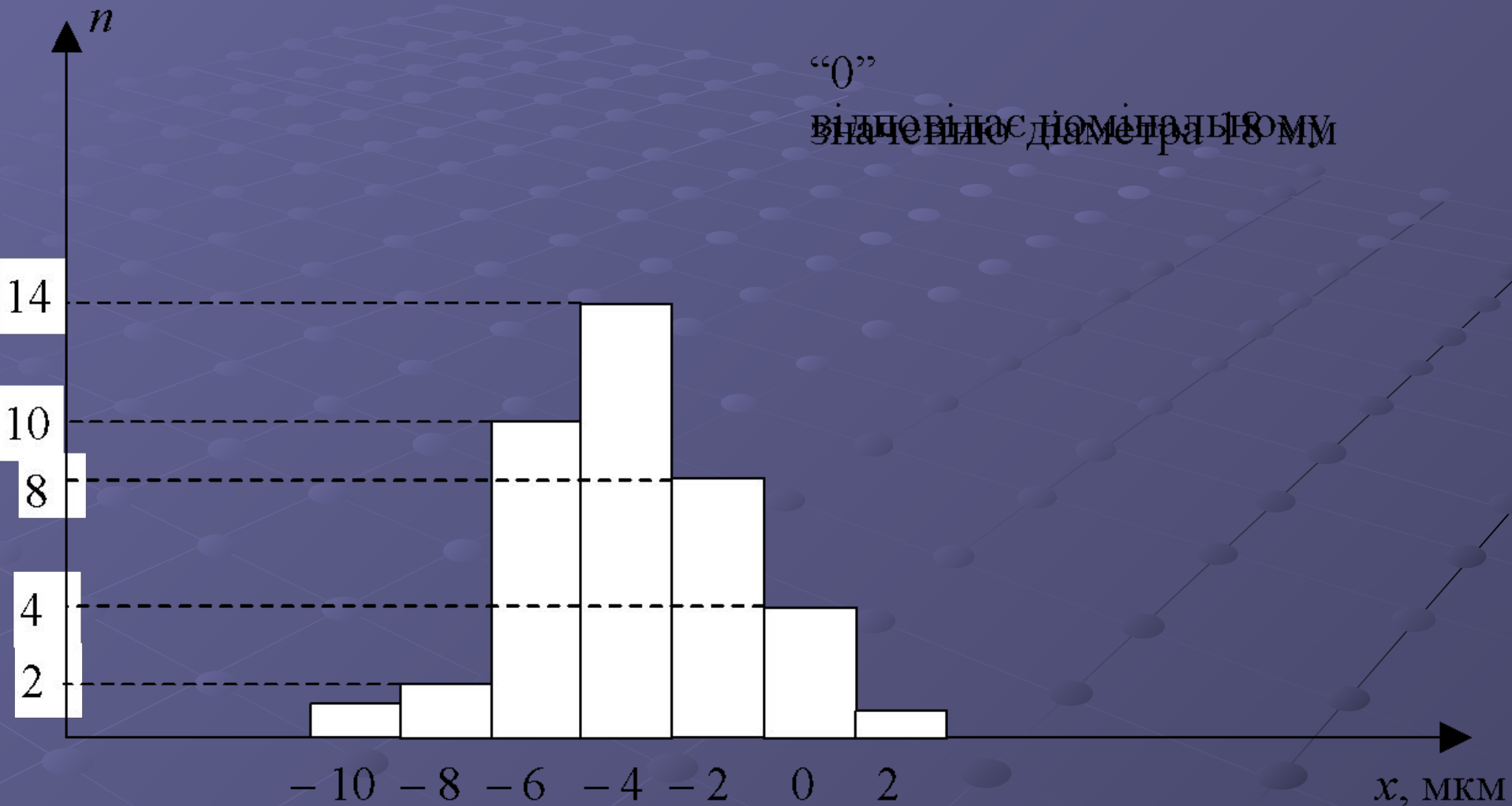


Репродуктивність процесу



- Напрямок процесів виникнення відмов у процесі роботи виробу, відповідно до другого закону термодинаміки, вказує на зростання ентропії системи. У цій асиметричності власних процесів, що відбуваються, криється причина психологічного розрізнення минулого і майбутнього. Такий висновок дуже важливий для розуміння фізичної природи відмов і ролі етапів створення виробів у процесах формування рівня надійності.

Гістограма результатів вимірів діаметра поршневого пальця



Варіації: звичайні та особливі причини

Окремі одиниці відрізняються одна від одної

Розмір Розмір Розмір Розмір
але вони утворюють структуру, що, якщо вона стабільна, може бути зображена у вигляді розподілу

Розмір Розмір Розмір
Розподіли можуть різнитися за положенням розкидом формою

Розмір Розмір Розмір
або за будь-якою їхньою комбінацією

Якщо мають місце тільки звичайні причини варіації, то результати процесу утворюють розподіл, що є стабільним у часі і передбачуваним

Якщо мають місце особливі причини варіацій, то результат процесу не є стабільним у часі

**ЦІЛЬОВА
ЛІНІЯ**

прогноз

ЧАС

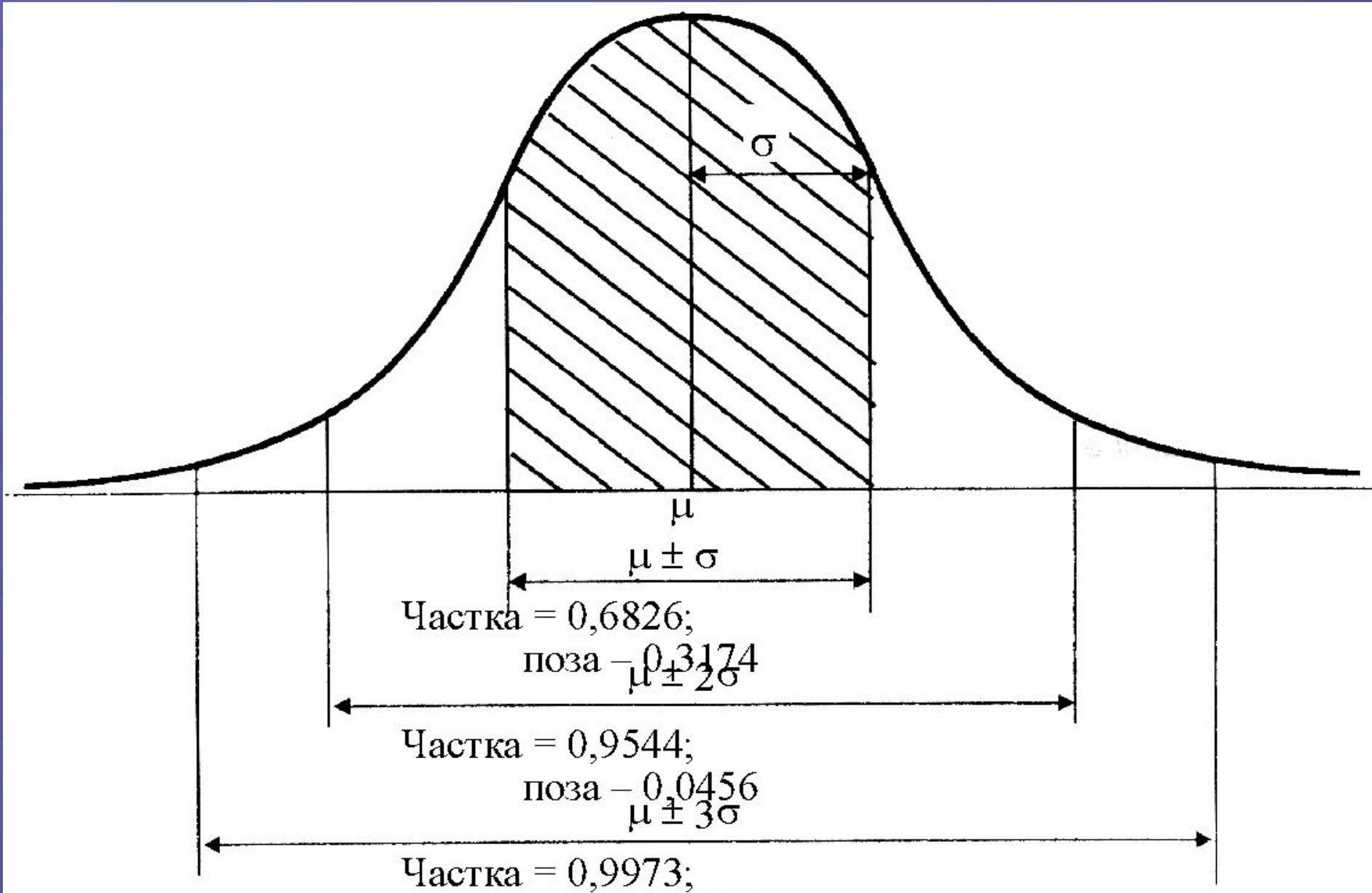
**ЦІЛЬОВА
ЛІНІЯ**

прогноз

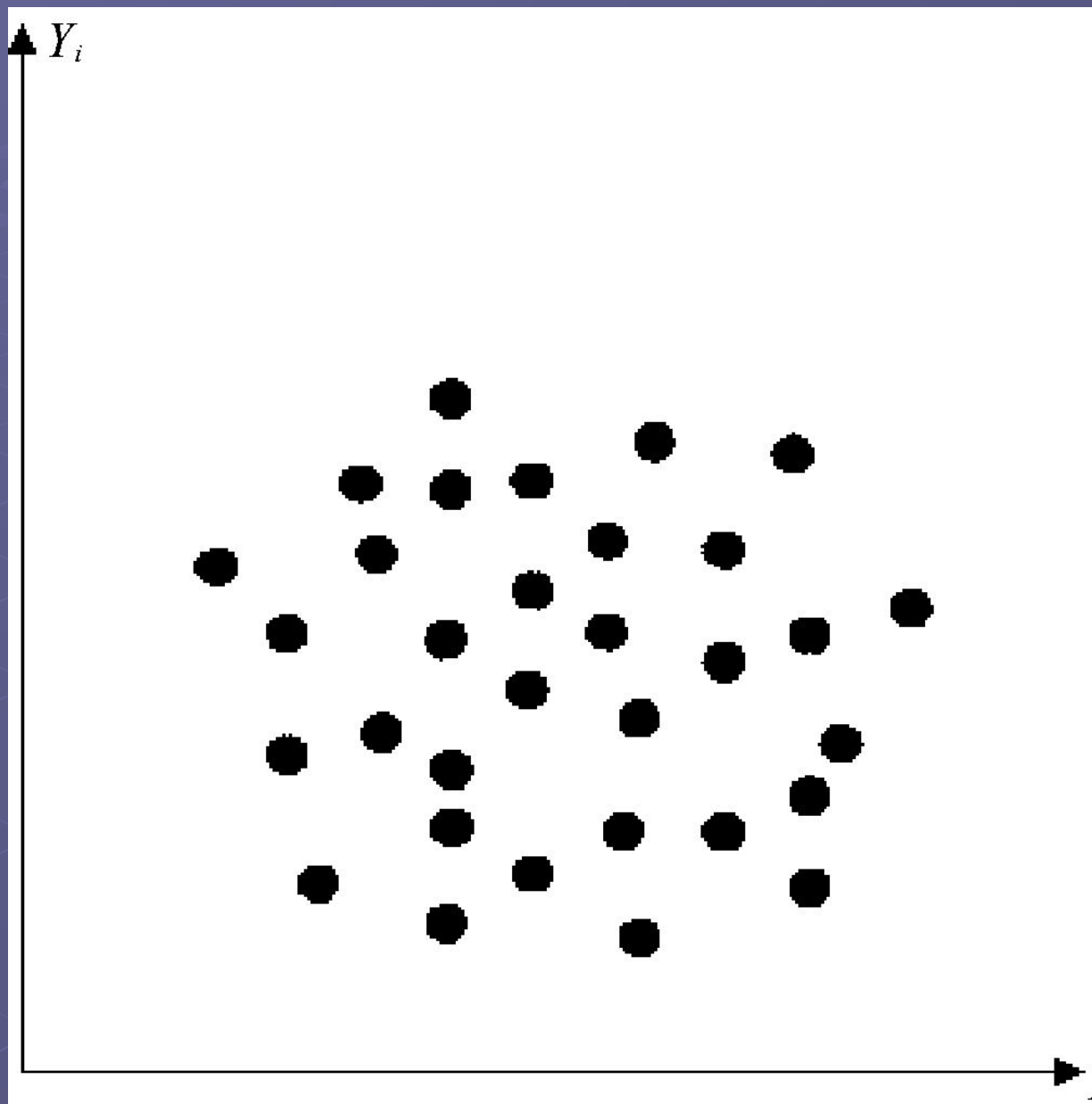
ЧАС

Розмір

Частки розподілу



Приклад двовимірної випадкової величини



Графічні приклади поведінки “хмари експериментальних точок” при різних значеннях коефіцієнта кореляції K (діаграми розкиду (розсіювання))

