

УДК 006.015

О. М. Васілевський, д.т.н., проф.

ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ І ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ ІНДЕКСІВ ВІДТВОРЮВАНOSTІ ТА ПРИДАТНОСТІ

Вінницький національний технічний університет, o.vasilevskyi@gmail.com

Розглянуто методику оцінки показників якості виробничого процесу і якості продукції на основі індексів відтворюваності та придатності, які дають змогу визначити стабільність виробничого процесу. На основі значень індексів придатності та відтворюваності можна встановити значення ймовірності появи бракованої продукції або частку значень характеристики виробничого процесу або продукції, що не відповідають встановленим вимогам.

Вступ

Більшість підприємств, установ і організацій (виробників) в своїй діяльності застосовують стратегію постійного удосконалення. Для впровадження такої стратегії виробникам продукції необхідно постійно оцінювати показники якості [1]. При цьому доцільно застосувати методи, що рекомендовані міжнародними стандартами серії ISO/TR 18532, ISO 13528 та ISO/TR 22514 [2-5]. Для успішного застосування дій із постійного удосконалення характеристик якості продукції є моніторинг стабільності та джерел відхилень виробничого процесу.

В умовах конкуренції для виробників має бути важлива не тільки ціна продукції або обслуговування, але також і витрати, які понесе споживач при використанні продукції (чи послуги). Тому метою будь-якого виробника має бути безперервне зменшення відхилень параметрів виробничого процесу (забезпечення стабільності виробничого процесу), а не тільки відповідність встановленим вимогам. Стратегія постійного удосконалення забезпечить скорочення витрат, пов'язаних з відмовами, і підвищить стійкість розвитку підприємства в умовах конкуренції. Крім того, зниження відхилень дозволить скоротити витрати на контроль або зменшити частоту вибіркового контролю.

Кількісна оцінка відхилень дозволить зробити висновки про придатність та відповідність виробничого процесу встановленим вимогам. Для ідентифікації відхилень можуть бути використані такі методи, як складання блок-схеми та ідентифікація входів і виходів виробничого процесу, використання причинно-наслідкової діаграми, тощо.

Низка міжнародних та державних стандартів [1-7] рекомендують різноманітні статистичні методи, які можна застосувати для управління, контролю та удосконалення виробничого процесу з метою аналізу даних і оцінки показників якості продукції. Тому актуальною є задача опису процедури точкової оцінки опорних (еталонних) значень на основі індексів відтворюваності та придатності виробничого процесу для підтвердження його статистичної стабільності, що і є метою даної статті. Опис методики оцінки показників якості на основі індексів відтворюваності та придатності є актуальною, оскільки багато виробників продукції не враховують їхньої відмінності та відповідно невірно трактують отримані індекси.

Параметри відтворюваності та придатності виробничого процесу.

Показник відтворюваності виробничого процесу – це міра власної зміни вихідної характеристики виробничого (технологічного) процесу, що знаходиться в стані статистичної керованості, яка дає змогу оцінити здатність процесу підтримувати вихідну характеристику виробничого процесу на рівні встановлених для неї вимог. Ця міра характеризує змінність, що залишається після усунення всіх відомих причин. Якщо при цьому контроль виробничого процесу здійснюють з використанням контрольної карти, то саме контрольна карта показує, що виробничий процес знаходиться в керованому стані [4, 6, 8].

Відтворюваність виробничого процесу часто оцінюють за часткою продукції, характеристика якої знаходиться в межах поля допуску. Так як виробничий процес в статистично керованому стані може бути описаний прогнозованим законом розподілу, то може бути оцінена частка продукції, характеристика якої виходить за межі поля допуску. Поки виробничий процес залишається в стані статистичної керованості, то продукція, яка виготовляється має в середньому одну і ту ж частку невідповідної продукції.

Дії щодо управління виробничим процесом, які спрямовані на зменшення відхилень, викликаних випадковими причинами, дадуть змогу покращити відповідність виробничого процесу вимогам системи управління якості [9]. Для цього необхідно:

- визначити характеристики виробничого процесу і умови експлуатації. Якщо визначені умови змінюються, то необхідні нові дослідження характеристик виробничого процесу;
- оцінити параметри короткострокових та довгострокових відхилень у вигляді відсотків від повних змін і мінімізувати їх;
- підтримувати стабільність виробничого процесу і забезпечувати його статистичну керованість;
- оцінити власну змінність виробничого процесу, яка залишається;

- вибрати відповідний параметр відтворюваності виробничого процесу.

При аналізі відтворюваності виробничого процесу необхідно враховувати такі умови:

- a) мають бути встановлені всі вимоги виробничого середовища (наприклад, вимоги щодо температури і вологості) [10];
- b) мають бути встановлені вимоги до невизначеності вимірювань [10, 11];
- c) має бути забезпечена можливість аналізу багатофакторних, багаторівневих аспектів виробничого процесу;
- d) має бути встановлена і зареєстрована тривалість збирання даних;
- e) мають бути встановлені періодичність відбору вибірки, а також дата початку і кінця збирання даних [10];
- f) при управлінні виробничим процесом має бути використана контрольна карта [6, 8];
- g) виробничий процес має знаходитися в стані статистичної керованості.

Також необхідно перевірити контрольну карту, дані якої були використані для статистичного контролю, і гістограму даних з усіма встановленими межами, нанесеними на неї. Крім цього, необхідно перевірити нормальність закону розподілу за допомогою валідованого критерію, такого як критерій Андерсона-Дарлінга [12] або χ^2 критерій [4]. Ці критерії ефективні при виявленні відхилень закону розподілу від нормальності на хвостах розподілу, оскільки саме ця область важлива при визначенні оцінок індексів придатності і відтворюваності виробничого процесу. Також повинні бути знайдені пояснення аномалій даних і вжиті відповідні дії з даними до обчислення досліджуваного параметра. Виключення даних, що виділяються щодо інших, є неприйнятним. Такі відхилення можуть бути дуже інформативними щодо властивостей виробничого процесу та мають бути досліджені.

Параметром відтворюваності виробничого процесу може бути величина, що характеризує одну або кілька властивостей розподілу вихідної характеристики в умовах відтворюваності виробничого процесу. **Загальним параметром** положення розподілів є середнє значення (математичне очікування) μ , але інколи використовують вибіркочну медіану $X_{50\%}$. Для нормального закону розподілу кращим параметром положення є медіана.

Кращим параметром, що характеризує **власну** змінність виробничого процесу є стандартне відхилення σ – **показник відтворюваності** виробничого процесу. Його рекомендовано оцінювати за середнім розмахом \bar{R} , який отримується за контрольною картою, коли виробничий процес стабільний і знаходиться в стані статистичного управління

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (1)$$

де d_2 - константа, яка відповідає об'єму вибірки в підгрупі, її значення вибирається з таблиці 1 [13].

Якщо використовувати середнє стандартне відхилення для контролю відхилень в межах під групи, яке визначається за даними контрольної карти, то **власне** стандартне відхилення виробничого процесу можна оцінити за формулою

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}, \quad (2)$$

де \bar{S} - середнє вибіркоче стандартне відхилення; c_4 - константа, яка відповідає об'єму вибірки в підгрупі (n), її значення вибирається з таблиці 1 [13].

Якщо для кожної підгрупи можна обчислити стандартне відхилення підгрупи, то рекомендується формула для оцінки **власного** стандартного відхилення виробничого процесу, що дає більш точну оцінку, ніж формули (1) і (2), яка описується виразом

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m S_j^2}{m}}, \quad (3)$$

де S_j - вибіркоче стандартне відхилення j -ої підгрупи; m – кількість підгруп з n спостереженнями в кожній підгрупі.

Таблиця 1 - Коефіцієнти контрольної карти для оцінки стандартного відхилення

Об'єм вибірки (n)	d ₂	c ₄
2	1,128	0,7979
3	1,693	0,8862
4	2,059	0,9213
5	2,326	0,9400
6	2,534	0,9515
7	2,704	0,9594
8	2,847	0,9650
9	2,970	0,9693
10	3,078	0,9727

Також необхідно розрізняти стандартне відхилення, що характеризує лише короткострокові зміни виробничого процесу, і стандартне відхилення, що характеризує довгострокові зміни виробничого процесу. Причому дані, що зібрані протягом тривалого періоду часу, мають більше значення стандартного відхилення за рахунок більш суттєвої зміни виробничого процесу. В цьому випадку для позначення стандартного відхилення рекомендується використовувати символ σ_t – загальне (повне) стандартне відхилення.

Якщо дані отримані при спостереженні за виробничим процесом, що не перебуває у стані статистичної керованості або якщо контрольні картки не використовувались, то для обчислення стандартного відхилення не слід використовувати формули (1) – (3), а необхідно застосовувати таку формулу

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}, \quad (4)$$

де N – загальний об'єм вибірки; x_i – i-те значення у вибірці; \bar{x} – середньоарифметичне вибірових значень.

Рівняння (4) доцільно використовувати тоді, коли виробничий процес має зміни середнього значення, що викликані наявністю систематичної похибки [14], яка не може бути вилучена, і така змінність повинна бути врахована разом з випадковою змінністю. Цей параметр змінності також підходить для використання при обчисленні індексів придатності виробничого процесу.

При нормальному законі розподілі в якості оцінки показника відтворюваності виробничого процесу можна використати вираз

$$\bar{x} \pm z_{\alpha} \cdot \hat{\sigma}_t, \quad (5)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_j$ – середньоарифметичне значення декількох вибірових середніх; \bar{x}_j – вибірове

середнє j-ої підгрупи; z_{α} – квантиль нормованого нормального розподілу.

Вибір значення z_{α} залежить від використовуваного значення показника відтворюваності виробничого процесу в одиницях продукції на мільон. Як правило z_{α} присвоюють значення 3, 4 або 5. Якщо показник відтворюваності технологічного процесу відповідає встановленим вимогам, $z_{\alpha} = 3$ означає наявність в середньому 2700 одиниць продукції на один мільон за межами вимог. Аналогічно $z_{\alpha} = 4$ означає наявність в середньому 64 одиниці продукції на один мільон, які не відповідають встановленим вимогам, а $z_{\alpha} = 5$ означає в середньому 0,6 таких одиниць продукції на один мільон.

Індексами відтворюваності виробничого процесу є точкові оцінки їх опорних (еталонних) значень. Використання індексу відтворюваності виробничого процесу дозволяє охарактеризувати стан виробничого процесу. **Індекс відтворюваності** виробничого процесу являє собою відношення різниці межі поля допуску до довжини опорного інтервалу

$$C_p = (U - L) / (X_{99,865\%} - X_{0,135\%}), \quad (6)$$

де L – нижня межа поля допуску; U – верхня межа поля допуску; $X_{0,135\%}$ – нижня межа опорного інтервалу, що визначена як квантиль розподілу на рівні 0,135%; $X_{99,865\%}$ – верхня межа опорного інтервалу, що визначена як квантиль розподілу на рівні 99,865%.

Для оцінки індексу відтворюваності виробничого процесу як правило [4, 5] використовується опорний інтервал $T = Y_2 - Y_1$, що включає 99,73% значень характеристики виробничого процесу, які знаходяться в стані статистичної керованості. При цьому відсікається 0,135% з кожного боку закону розподілу [4, 5]. Такий інтервал рекомендовано застосовувати навіть при не нормальному законі

розподілі значень характеристики виробничого процесу [4]. Для нормального розподілу довжина опорного інтервалу становить шість стандартних відхилень (рис. 1) [4, 15, 16].

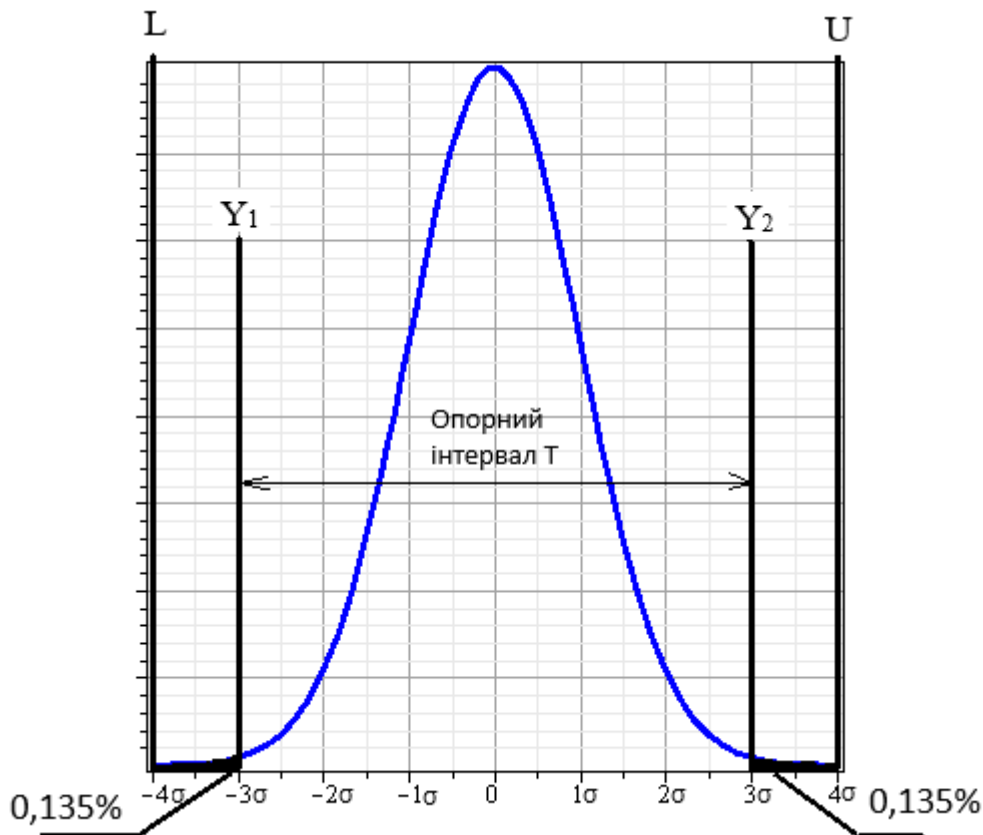


Рисунок 1 - Довжина опорного інтервалу та нижня і верхня межі поля допуску

Для оцінювання відтворюваності як правило використовують контрольні карти. Якщо на контрольній карті наведені лінії ослабленого контролю або змінені лінії контролю, то реальне стандартне відхилення процесу буде більше, ніж стандартне відхилення, отримане за даними контрольної карти із стандартними лініями контролю. Зазначені особливості впливають на опорний інтервал, тому важливо, щоб стандартні лінії контролю були вказані при оцінюванні відтворюваності виробничого процесу.

Відтворюваністю є виробничий процес, у якого опорний інтервал менший меж поля допуску на певну величину так як це зображено на рис. 1.

Також міжнародними стандартами [1, 3, 4] рекомендовано використовувати і інші індекси, що характеризують як стан, так і змінність виробничого процесу, наприклад, індекс відтворюваності C_{pk} . Якщо цей індекс менший заданого значення, то можна вважати, що в процесі виготовлення існує велика ймовірність появи бракованої продукції, тобто характеристика виробничого процесу виходять за межі поля допуску (L, U).

Індекси відтворюваності C_{pk} можна визначати як відношення різниць меж поля допуску і параметра положення виробничого процесу до різниць відповідних дійсної межі значення виробничого процесу і параметра положення виробничого процесу:

$$C_{pkU} = (U - X_{50\%}) / (X_{99,865\%} - X_{50\%}); \quad (7)$$

$$C_{pkL} = (X_{50\%} - L) / (X_{50\%} - X_{0,135\%}), \quad (8)$$

де $X_{50\%}$ - квантиль розподілу виробничого процесу на рівні 50%.

Ці індекси відтворюваності дають змогу отримати інформацію про те, наскільки щільно згруповані значення характеристики навколо центральної лінії і чи можуть бути порушені вимоги специфікації продукції.

Навіть якщо значення індексу C_p має високе значення, то низькі значення індексів C_{pk} показують, що виробничий процес слабо сконцентрований навколо центральної лінії і ймовірність появи значень характеристики якості, що виходять за встановлені межі встановлених вимог, висока.

Якщо спостережувані значення розподіляються за нормальним законом розподілу, то довжина опорного інтервалу дорівнює 6σ , а індекс відтворюваності можна оцінити за виразом

$$\hat{C}_p = (U - L)/(6\hat{\sigma}). \quad (9)$$

Якщо розподіл окремих значень підпорядковується нормальному закону розподілу, то квантиль $X_{50\%}$ дорівнює математичному очікуванню μ , а верхній і нижній індекси відтворюваності C_{pk} можна оцінити за виразами:

$$\hat{C}_{pkU} = (U - \mu)/(3\hat{\sigma}); \quad (10)$$

$$\hat{C}_{pkL} = (\mu - L)/(3\hat{\sigma}). \quad (11)$$

На основі оцінки нижнього \hat{C}_{pkL} і верхнього \hat{C}_{pkU} індексів відтворюваності за кінцеву оцінку індексу відтворюваності C_{pk} приймають значення меншого індексу відтворюваності, тобто

$$\hat{C}_{pk} = \min(\hat{C}_{pkL}, \hat{C}_{pkU}). \quad (12)$$

При обчисленні індексу відтворюваності виробничого процесу необхідно враховувати, що змінність виробничого процесу має відповідати ситуації, коли дані отримані в стані **статистичної керованості виробничого процесу**.

Якщо значення індексу відтворюваності $C_n < 1$ (або $C_{pk} < 1$), то **верхня U і нижня L межі поля допуску знаходяться всередині опорного інтервалу T** виробничого процесу - це означає, що виготовлення продукції без браку неможливе, а **виробничий процес є незадовільним** (ймовірність появи неякісної продукції дуже висока та може бути більшою 0,27%).

Якщо значення $C_n = 1$ (або $C_{pk} = 1$), то верхня U і нижня L межі поля допуску збігаються з опорним інтервалом T виробничого процесу. При цьому, якщо процес центровано і розподіл показників якості підпорядковується нормальному закону, то можливий брак продукції становить 0,27% (2700 бракованих виробів на 1 млн виготовленої продукції). При цьому виробничий процес вважається мінімально прийнятним (задовільним, тобто признається відтворюваним).

Якщо значення індексу відтворюваності $C_n > 1$ (або $C_{pk} > 1$), то верхня U і нижня L межі поля допуску знаходяться за межами опорного інтервалу T виробничого процесу - це означає, що можливе виготовлення продукції **без браку**, а виробничий процес вважається задовільним. Якщо значення C_{pk} (або C_p) лежить в межах $1 < C_{pk} < 1,33$, то ймовірність появи бракованої продукції буде знаходитись в межах від 0,006% до 0,27%. Якщо ж значення індексу відтворюваності більше 1,33 ($C_{pk} > 1,33$), то ймовірність появи бракованої продукції менша 0,006%, а виробничий процес вважається добрим.

Придатність виробничого процесу щодо характеристики якості продукції є досягнутий розподіл результатів. Єдина важлива відмінність між придатністю і відтворюваністю виробничого процесу полягає в тому, що для оцінювання придатності виробничого процесу немає вимог щодо наявності у виробничого процесу стану статистичної керованості і застосування для управління виробничим процесом контрольних карт. При аналізі придатності виробничого процесу:

- 1) повинні бути встановлені всі технічні умови, в тому числі вимоги виробничого середовища, наприклад, вимоги щодо температури і вологості [11, 17-20];
- 2) повинні бути встановлені вимоги до невизначеності вимірювань [11, 17-19];
- 3) має бути забезпечена можливість аналізу багатofакторних і багаторівневих аспектів виробничого процесу;
- 4) дані повинні бути зібрані протягом встановленого періоду часу і зареєстровані;
- 5) частота відбору вибірки, а також час початку і кінця збирання даних повинні відповідати встановленим системою менеджменту якості [1];
- 6) процес не повинен бути контрольованим за допомогою контрольної карти;
- 7) процес не повинен бути в стані статистичної керованості, зокрема, отримані раніше дані, послідовність яких невідома, можуть бути використані для аналізу придатності виробничого процесу.

Показник придатності виробничого процесу - статистичний показник, що визначається за вихідною характеристикою виробничого процесу, який використовується для оцінювання виробничого процесу, перебування якого в стані статистичної керованості не підтверджене.

Параметром придатності виробничого процесу можуть бути величини, що описують одну або кілька властивостей розподілу характеристики якості в умовах придатності. Оцінювати параметр придатності, на відміну від параметру відтворюваності, при нормальному законі розподілу характеристики якості можна лише за виразом (4).

Індекс придатності виробничого процесу - це індекс, що відображає стійкість виробничого процесу до встановленого поля допуску.

Якщо значення параметрів, які спостерігаються розподіляються за нормальним законом розподілу, то довжина опорного інтервалу дорівнює $6\hat{\sigma}_t$ [15, 16]. Тому значення індексу придатності P_p може

бути розраховане за виразом

$$P_p = (U - L)/(6\hat{\sigma}_t). \quad (13)$$

Верхній P_{pKU} і нижній P_{pKL} індекси придатності виробничого процесу можна оцінити за виразами:

$$P_{pKU} = (U - \bar{x})/(3\hat{\sigma}_t); \quad (14)$$

$$P_{pKL} = (\bar{x} - L)/(3\hat{\sigma}_t). \quad (15)$$

Індекс придатності виробничого процесу P_{pk} приймається рівним значенню меншому із двох значень P_{pKU} та P_{pKL} , тобто $P_{pk} = \min(P_{pKU}, P_{pKL})$. Чим менше значення індексу придатності, тим більша ймовірність появи бракованої продукції, при цьому виробничий процес не буде задовольняти установленим вимогам.

Як видно з виразів (13) – (15), оцінка індексів придатності аналогічна оцінці індексів відтворюваності (6) – (12). Відмінність оцінювання індексів придатності від індексів відтворюваності полягає в тому, що виробничий процес не обов'язково має бути статистично керованим, а середньоквадратичне відхилення, яке характеризує кращий показник придатності виробничого процесу не може бути розраховане на основі параметрів контрольної карти.

Індекс придатності P_{pk} характеризує підтверджену (демонстровану) якість. Якщо виробничий процес центрований, то индекс придатності $P_{pk} = P_p$, але при зміщенні процесу индекс придатності зміщується від свого номінального значення, і P_{pk} стає меншим P_p . Високий индекс P_{pk} буде тільки у тому випадку, коли мета досягнута при мінімальному відхиленні від середньоарифметичного значення.

У випадку нецентрованості виробничого процесу индекс придатності P_p можна скорегувати, увівши поправку на нецентрованість

$$P_{pk} = (1 - k)P_p, \quad (16)$$

де k – коригуючий коефіцієнт, який відповідає величині нецентрованості та визначається як задане опорне (еталонне) значення специфікації (характеристики продукції) мінус середнє значення виробничого процесу.

Якщо процес центрований, то $k=0$ і $P_{pk} = P_p$. Якщо процес зміщується відносно заданого опорного (еталонного) значення, то k збільшується і индекс придатності P_{pk} стає меншим індексу P_p .

Якщо індекси придатності рівні між собою $P_{pk} = P_p$, то виробничий процес знаходиться в межах допуску. Якщо индекс $P_p < 1$, то це означає, що виробничий процес має низьку точність. Якщо индекс придатності P_{pk} знаходиться в межах від 1 до 1,33 ($1 \leq P_{pk} < 1,33$), то виробничий процес має достатню точність. Якщо индекс $P_p > 1,33$, то виробничий процес вважається задовільним. Якщо индекс $P_p > 1,66$, то виробничий процес ідеально налаштований [21, 22].

Оцінка загальної частки значень p_t характеристики виробничого процесу або продукції, що не відповідають вимогам при нормальному законі розподілу може бути здійснена на основі верхньої і нижньої часток одиниць, що не відповідають вимогам:

$$\hat{p}_t = \hat{p}_L + \hat{p}_U = \Phi\left(\frac{L - \bar{x}}{\hat{\sigma}_t}\right) + \Phi\left(\frac{\bar{x} - U}{\hat{\sigma}_t}\right); \quad (17)$$

$$\hat{p}_L = 1 - \Phi(3\hat{C}_{pKL}); \quad (18)$$

$$\hat{p}_U = 1 - \Phi(3\hat{C}_{pKU}), \quad (19)$$

де \hat{p}_L - оцінка нижньої частки одиниць, що не відповідають вимогам – частка розподілу значень характеристики процесу чи продукції, що не перевищує нижньої межі поля допуску L ; \hat{p}_U - оцінка верхньої частки одиниць, що не відповідають вимогам – частка розподілу значень характеристики процесу чи продукції, що перевищує верхню межу поля допуску U ; $\Phi(*)$ - функція розподілу нормованого нормального закону розподілу.

Для оцінки частки одиниць продукції, які не відповідають вимогам, необхідно замінити у формулах (17) і (18) індекси відтворюваності \hat{C}_{pKL} та \hat{C}_{pKU} на індекси придатності P_{pKL} та P_{pKU} .

Висновки

Якість продукції значною мірою визначається ефективністю системи управління якістю на підприємстві та належною організацією самого виробничого процесу. Система управління якістю, що побудована згідно з принципами загального управління якістю, передбачає постійне вдосконалення маркетингової діяльності підприємства, поліпшення якості продукції і задоволення потреб усіх зацікавлених сторін: споживачів, постачальників, персоналу за рахунок створення відповідного менеджменту на підприємстві.

Застосування індексів відтворюваності та придатності виробничого процесу в системі контролю якості продукції дозволяє наочно оцінити можливість зниження відсотка бракованої (невідповідної) продукції за рахунок зниження і усунення впливів, що мають невідповідні причини відхилення параметрів виробничого процесу (забезпечення стабільності виробничого процесу), а також зниження впливу випадкових причин, що призводять до відхилень параметрів виробничого процесу (підвищення можливостей виробничого процесу задовольняти встановлені вимоги). Це дозволить своєчасно приймати попереджувальні та коригувальні дії, які дадуть змогу знаходити резерви для підвищення якості продукції, знижувати фінансові витрати на виправлення браку, підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Список використаних джерел

1. ISO 9000:2015. Quality management systems - Fundamentals and vocabulary.
2. ISO/TR 18532:2009. Guidance on the application of statistical methods to quality and to industrial standardization.
3. ISO 22514-2:2017. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 2: Process capability and performance of time-dependent process models.
4. ISO/TR 22514-4:2016. Statistical methods in process management - Capability and performance - Part 4: Process capability estimates and performance measures.
5. ISO 13528:2015. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.
6. ДСТУ ISO 7870-1:2010 (ISO 7870-1:2007, IDT) “Статистичний контроль. Карти контролю”. Частина 1. Загальні настанови (Замінює ДСТУ ISO 7870:2004).
7. ДСТУ ISO 2859-5:2009 (ISO 2859-5:2005, IDT) “Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою”. Частина 5. Система планів послідовного відбирання, індексованих межами прийняття якості (МПЯ) для послідовного вибіркового перевірення партій.
8. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювань. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 87 с.
9. Микийчук М. Основні завдання та ознаки метрологічного забезпечення якості продукції / М. Микийчук, П. Столярчук, Т. Бубела // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2013. – Вип. 74. – С. 92–98.
10. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [навчальний посібник]. - Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. – ISBN 978-966-641-348-5.
11. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : [підручник]. - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.
12. Stephens M. A. Anderson-Darling Test for Goodness of Fit. In: Encyclopedia of Statistical Sciences. – Vol. 1. – 1982. - pp.81-85, (eds. Johnson, N.L. and Kotz, S.), Wiley Interscience.
13. ISO 7870-2:2013. Control charts - Part 2: Shewhart control charts.
14. Васілевський О.М. Статистичні методи виявлення систематичних похибок вимірювань // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2012. - № 1. - С. 9 - 12.
15. D.J. Wheeler, An Honest Gauge R&R Study. Manuscript No. 189, 2009, available in: <http://www.spcpress.com/pdf/DJW189.pdf>
16. Suelí Fischer Beckert and Wagner Saucedo Paim, Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement systems evaluation, *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 8,23 (2017).
17. Vasilevskiy O.M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty // *International Journal of Metrology and Quality Engineering*. – 2014. - 5 (4). - DOI: 10.1051/ijmqe/2014017.
18. Vasilevskiy O.M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty // *Technical Electrodynamics*. – 2014. - № 6. - pp. 81-88.
19. Vasilevskiy, O.M., Kucheruk, V.Y., Bogachuk, V.V., Gromaszek, K., Wójcik, W., Smailova, S., Askarova, N. The method of translation additive and multiplicative error in the instrumental component of the measurement uncertainty // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 10031. – 2016. - art. no. 1003127. - DOI: 10.1117/12.2249195.
20. Поджаренко В. О., Дідич В. М., Васілевський О. М. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумвсу в ґрунті // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. - № 639. - С. 51 – 54.
21. Демчук Л. В. Удосконалення системи контролю якості виробничого процесу // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/3 (25). – С. 18–21.
22. Demchuk Lesya. Achievement Particularities of Application of Theory of Constraints, Lean and Six Sigma for Ensuring the Quality of Products and Processes / Lesya Demchuk, Roman Baitsar // *Intern. Journal Sustainable Development*. – 2014. – Vol. 16. – P. 98–103.