

# Метрологія та вимірювальна техніка

УДК 623.004.67

О.О. Амерханова, Ю.П. Шамаєв, Ю.І. Рафальський

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВПЛИВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ

*В статті визначаються методи ефективного використання ресурсів при метрологічному забезпеченні якості продукції.*

**Ключові слова:** вимірювальні процеси, брак виробу, метрологічне забезпечення, якість продукції.

### Вступ

**Постановка задачі.** Оцінюючи метрологічне значення продукції виникає питання про її якість. Одним із чинників які визначають ефективність використання ресурсів, які затрачені на цей процес. Тому методика визначення ефективності використаних ресурсів при метрологічному зазначенні якості продукції є досить актуальним питанням, вирішенню якого присвячена ця стаття.

**Аналіз літератури:** В [1] зазначається, що економічний вклад метрологічного забезпечення в підвищення якості продукції залежить від ряду факторів, в [2] не наведено аналітичні залежності; в [3] відсутній взаємозв'язок основних показників метрологічного забезпечення виробництва з показниками якості продукції, та методи здійснення аналізу. В [4] розглядається математична модель технологічного об'єкту, але нема взаємозв'язку основних показників метрологічного забезпечення виробництва з показниками якості.

**Метою статті** є оцінка методів аналізу метрологічного забезпечення праці й ефективного виробництва.

### Основний матеріал

Провідні виробництва враховувати вартість використовуваних засобів метрологічного забезпечення через амортизаційні відрахування в ціні річного випуску продукції. Але це означає застосування в чистому вигляді витратного механізму, оскільки стимулює зростання цін на зазначені кошти. Намічено підхід до визначення втрат від похибки вимірювань в найпростіших випадках дискретного контролю, але методологія дослідження зв'язку метрологічного забезпечення з якістю продукції не розглянута. Зазначено, що для визначення втрат від браку продукції, що припадають на частку метрологічного забезпечення, і втрат через фіктивного браку необхідно встановити зв'язок похибок вимірювань з виробничими втратами.

Розглянемо цю проблему з двох точок зору системного аналізу: макроаналізу і мікроаналізу. Макроаналітичний підхід передбачає наявність інтегрованої інформації про рівень метрологічного забезпечення, тобто введення кількісних показників, його характеризують. При цьому доцільно скористатися кваліметричним методом. Для вимірювання рівня метрологічного забезпечення формується система одиничних показників, які характеризують основні напрямки метрологічної діяльності. Вони безрозмірні і змінюються від 0 до 1. Одиничний показник – відношення числа, що характеризує досягнуте значення цього показника, до необхідному значенню. Наприклад, це відношення дійсного числа перевірок або атестацій засобів вимірювань до запланованого значення, що визначають відповідно до чинної нормативно-технічної документацією. Одиничні показники є кількісними вимірювачами досягнутого рівня за основними напрямками метрологічного забезпечення виробництва (періодична перевірка, атестація, експертиза, дотримання вимог нормативно-технічної документації і т.ін.). Оскільки їх число дуже велике, з вихідного набору слід взяти основні, найбільш важливі.

Вихідна номенклатура одиничних показників визначається експертними методами. Група експертів формує вихідний набір цих показників і ранжує їх відповідно до вагомості і важливості за впливом на техніко-економічні показники виробництва, в тому числі і на якість продукції. Якість експертизи перевіряють за допомогою коефіцієнта конкордації.

Потім будують матриці коефіцієнтів якісної варіації і рангової кореляції одиничних показників  $Z_i$ , групують методами таксономії в просторі коефіцієнтів рангової кореляції. При цьому відбувається розбиття вихідної сукупності коефіцієнтів на непересічні гіперсферичної області до досягнення стійкого стану таксонів. Потім від кожного таксону вибирають показник – представник цієї групи. Набір таких одиничних показників становить номенклатуру основних показників метрологічного забезпечення виробництва  $Z_1, Z_2, \dots, Z_R$ .

Проведена на підприємствах приладобудування робота показала правомірність такого підходу, але при його використанні можливі випадки, коли ряд основних показників метрологічного забезпечення слабо корельован з якісними показниками. Отримані регресійні рівняння їх взаємозв'язку матимуть низький рівень значущості. Зазначена ситуація може виникнути з двох причин:

невдало обрана вихідна номенклатура показників метрологічного забезпечення;

змінюються виробничі фактори настільки сильно впливають на техніко-економічні показники, що вплив фактора метрологічного забезпечення на ці показники важко виявити.

Перший недолік може бути усунутий шляхом уточнення номенклатури показників  $Z_i$  і методів їх розрахунку. Подолати другий недолік найбільш важко, так як на техніко-економічні показники впливає цілий ряд виробничих факторів: технічний рівень продукції, що випускається, якість дослідно-конструкторської розробки, рівень технології, досконалість устаткування, якість сировини, матеріалів і комплектуючих елементів, якість праці виконавців і т.ін. Тому, для того щоб виділити частку впливу чинника метрологічного забезпечення на техніко-економічні показники, необхідний критерій досконалості метрологічного забезпечення по комплексу вимірюваних параметрів.

Таким критерієм є похибка вимірювань, яку можливо розглядати як своєрідний фільтр відділення впливу виробничих факторів від впливу фактора метрологічного забезпечення. Використання похибки вимірювань як фільтра полягає у визначенні, в першому наближенні, ступеня спотворення виробничими факторами зв'язку фактора метрологічного забезпечення з техніко-економічними показниками  $Y_i$ . Якщо із зростанням похибки  $\Delta_i$ , спостерігається погіршення показників  $Y_i$ , то цей статистичний матеріал може бути використаний для побудови відповідних моделей. Якщо такого положення не спостерігається, то виробничі фактори не можна прийняти наближено постійними на певному відрізку часу і отримані статистичні дані недоцільно використовувати для встановлення зв'язку показників  $Z_i$  с  $Y_i$ . Таким чином, аналіз залежностей  $\Delta_i=f(Y_i)$  дозволяє відібрати необхідні дані для побудови моделей  $Y_i=\varphi(Z_i)$ .

На техніко-економічні показники виробництва, з метрологічного погляду, впливають похибки вимірювань всіх виробничих параметрів. Тому «накопичена» похибка  $\Delta_n$  описує досконалість метрологічного забезпечення системи вимірюваних параметрів:

$$\Delta_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \Delta_i, \quad (1)$$

де  $n$  – число вимірюваних параметрів;  $\alpha_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го параметра;  $\Delta_i$  – відносна похибка вимірювання  $i$ -го параметра.

Ця сума безрозмірна, оскільки коефіцієнт вагомості  $\alpha_i$  являє собою безрозмірну величину, і  $\Delta_i$  теж безрозмірна, оскільки є відносною величиною. Відносність пояснюється і тим, що підсумовані повинні бути похибки різних фізичних величин. З іншого боку, «накопичена» похибка залежить від стану метрологічного забезпечення, тобто від значень показників  $Z_i$ . На цій основі будується макроаналіз зв'язку техніко-економічних показників з показниками метрологічного забезпечення.

Припустимо, що вихідна номенклатура з  $\ell$  показників  $Z_i$  сформована експертними методами і відомі значення  $Z_i$ ,  $\Delta_i$ ,  $\alpha_i$ . Для виділення з  $\ell$  показників основних скористаємося апаратом регресійного аналізу. У кожному конкретному дослідженні вид регресійного рівняння повинен бути обґрунтований. Не знижуючи спільності міркувань, вибір основних показників метрологічного забезпечення розглянемо на прикладі лінійного регресійного рівняння.

Для цього вихідна множина з  $p$  вимірюваних параметрів розбивається на  $m$  непересічних підмножин:

$$\sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i Z_i = \sum_{i \in n_1} \alpha_i \Delta_i, \dots, \sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i Z_i = \sum_{i \in n_m} \alpha_i \Delta_i, \quad (2)$$

Ізвідкіля знаходимо коефіцієнти  $\alpha_i$ . Номенклатура основних показників вибирається на основі аналізу значень, стандартних помилок і значущості коефіцієнтів. Знаючи основні показники  $Z_1, Z_2, \dots, Z_R$ , будемо моделі їх взаємозв'язку з техніко-економічними показниками:

$$Y_i = \sum_{i=1}^k b_i \cdot Z_i, \quad (3)$$

де  $b_i$  – коефіцієнти, що визначаються методами регресійного аналізу.

Макроаналітичний підхід передбачає отримання великого обсягу інформації про показники  $Z_i$  за досить тривалий період. Крім того, визначення вагомостей  $\alpha_i$  експертними методами вносить суб'єктивізм в отримання взаємозв'язку. Такий підхід не дозволяє повною мірою позбутися впливу інших виробничих факторів. Найсуттєвіше ж полягає в тому, що укрупнення, інтегральні оцінки показників метрологічного забезпечення та якості ускладнюють логічний аналіз і вивчення механізму їх взаємозв'язку. Додатково можна відзначити те, що коефіцієнти  $\alpha_i$  доцільно визначати через економічні відносини, тобто важливість контролю даного параметра повинна залежати від негативних наслідків, які виникають з недостовірним його контролі. Це означає, що  $\alpha_i$  можна трактувати як відношення втрат від похибки вимірювань по  $i$ -му параметру до суми втрат від похибки вимірювань за всіма параметрами. А в цьому полягає суть мікроаналітичного підходу, коли інформація не агрегується, а навпаки розглядає зміна техніко-економічних показників в

залежності від похибки вимірювань кожного параметра з подальшим переходом до аналізу системи параметрів. Техніко-економічні показники (собівартість, прибуток, сортність продукції, продуктивність обладнання і т.ін.) Також повинні бути більш докладними, безпосередньо пов'язаними з параметром.

Мікроаналіз буде проводитися для трьох видів вимірювальних процесів: вимірювального контролю; вимірювань витрати, а також вимірювань при обліку і дозуванні ресурсів; вимірювань при управлінні технологічними процесами. При вимірювальному контролі питання точності є дуже важливим, так як вона пов'язана з достовірністю судження про якість продукції. На стадії виробництва для оцінки якості продукції застосовують коефіцієнт дефектності:

$$D = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^r \mu_i d_i, \quad (4)$$

де  $r$  – число всіх видів дефектів у проконтрольованій продукції;  $d_i$  – кількість дефектів  $i$ -го виду;  $\mu_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го дефекту;  $A$  – число проконтрольованих одиниць продукції.

Коефіцієнт вагомості  $\mu_i$  виражається витратами на усунення  $i$ -го дефекту або в балах. Вартісний метод визначення вагомості складніше бального, але він більш повно і об'єктивно відображає якість виготовлення продукції. Розглядаються всі параметри, оскільки вплив одного параметра на якість є окремим випадком і може бути з'ясовано із загальних результатів аналізу. Формула (4) припускає, що коефіцієнт дефектності визначений точно. Насправді, при вимірювальному контролі неминучі похибки вимірювань, які спотворюють дійсну картину дефектності. Це пов'язано з наявністю шлюбу вимірювального контролю, коли є ймовірність бракування придатної продукції та пропуску дефектної.

Після технологічних операцій надійшли на контроль виробу складаються з придатних і дефектних. При контролі відбувається їх поділ на виробу, визнані виробу, визнані дефектними.

Похибки вимірювань при контролі призводять до того, що в загальному випадку серед виробів, визнаних придатними, маються дефектні. І навпаки – в сукупності дефектних виробів маються придатні. При цьому частка виробів, неправильно визнаних дефектними, називається помилкою – контролю I роду і позначається  $n$ . Частка виробів, неправильно визнаних придатними, називається помилкою контролю II роду і позначається  $m$ .

Контроль з забраковкою продукції на придатну і дефектну є не тільки інформаційним, а й виробничим процесом, так як при цьому зазнають зміна і кількість і якість продукції.

Основним фактором, що впливає на кількісні показники, є помилкова бракування продукції. Вплив на якість проявляється через пропуск дефектних виробів.

Брак контролю впливає на значення коефіцієнта дефектності, тому формула (4) з урахуванням похибки вимірювань при контролі повинна бути записана у вигляді

$$D_{zm} = D_{\phi} + \Delta D(n) + \Delta D(m), \quad (5)$$

де  $D_{zm}$  – коефіцієнт дефектності, отриманий за результатами вимірювань;  $D_{\phi}$  – фактичний (істинний) коефіцієнт дефектності;  $\Delta D(n)$  – похибка оцінки коефіцієнта дефектності, пов'язана з помилками I роду;  $\Delta D(m)$  – похибка оцінки коефіцієнта дефектності, пов'язана з помилками II роду.

Якщо міркувати формально, то в рівнянні (5) коефіцієнт  $\Delta D(m)$  повинен мати знак мінус, так як наявність виявленого шлюбу зменшує коефіцієнт дефектності. Але в такому випадку при ідеальному вимірювальному контролі повинна виконуватися умова  $\Delta D(n) = \Delta D(m)$ , і тоді справжній коефіцієнт дефектності збігається з коефіцієнтом, отриманим за результатами вимірювань. Виходить, що при яких завгодно значеннях  $\Delta D(n)$  і  $\Delta D(m)$  і, відповідно, що виникають при цьому втратах якість вимірювального контролю дуже високе, т. е. контроль є ідеальним.

Насправді це не так. Ідеальним контроль буде лише за умови  $\Delta D(n) = \Delta D(m) = 0$ . При цьому передбачається, що визначенню підлягають середні значення  $\Delta D(n)$  і  $\Delta D(m)$ , тобто їх математичні очікування. Очевидний економічний сенс формули (4) – це збиток від всіх видів дефектів у розрахунку на одиницю продукції. Зазначений збиток може виражатися як у грошах, так і в умовних одиницях.

Оскільки помилки I і II положів призводять до збитку, відповідні коефіцієнти у формулі (5) слід підсумовувати.

Методику визначення значень показників  $\Delta D(n)$  і  $\Delta D(m)$  розглянемо в загальному випадку, стосовно до вимірювального контролю деталей і готової продукції протягом року.

Припустимо, деталь має  $t$  вимірюваних параметрів; річний обсяг випуску деталей –  $A_d$ . Ймовірність помилки контролю I роду на  $i$ -му параметрі –  $n_i$ ; фіктивно забракована деталь виправленню і доопрацюванню не береться. Тоді після контролю по першому параметру фіктивно бракують  $A_d n_1$  деталей, які виключають з процесу виробництва. Економічні втрати, пов'язані з такою бракуванням, позначимо  $C_1$ .

При контролі за другим параметром фіктивно бракують  $(A_d - A_d \cdot n_1) \cdot n_2 = A_d \cdot (1 - n_1) \cdot n_2$  деталей. Аналогічно, при контролі по третьому параметру розмір фіктивного шлюбу дорівнює

$$(A_d - A_d \cdot n_1 - A_d \cdot n_2) \cdot n_3 = A_d \cdot (1 - n_1 - n_2) \cdot n_3.$$

У відповідності зі структурою формули (4) необхідно враховувати в якості коефіцієнта вагомості втрати  $C_i$ . Тоді

$$\Delta D(n) = \sum_{i=1}^t C_i (1 - n_{i-1}) \cdot n_i. \quad (6)$$

Для випадку, коли фіктивно забракована деталь піддається доробці,  $\Delta D(n)$  має вигляд

$$\Delta D(n) = \sum_{i=1}^t C_i n_i. \quad (7)$$

Для обчислення показника, що характеризує похибка оцінки коефіцієнта дефектності через помилки II роду  $\Delta D(m)$ , розглянемо процес контролю комплексу вимірюваних параметрів з пропуском дефектних деталей. При цьому візьмемо два випадки: після фіктивної бракування деталі або покидають виробничий процес, або в доопрацьованому вигляді надходять на подальші технологічні операції. У першому випадку вплив на похибку коефіцієнта дефектності відповідає виразу (6), у другому – формулі (7). Внаслідок того, що в другому випадку неправильно забраковані деталі не покидають виробничого процесу, обсяг контрольованих деталей залишається постійним, тобто

$$A_D = a_i^*, \quad (8)$$

де  $A^*$  – кількість деталей після контролю по  $i$ -му параметру.

При остаточній фіктивній бракуванні деталей буде мати місце співвідношення  $A_D = a_i^*$ , так як після контролю по кожному вимірюваному параметру обсяг партії буде зменшуватися. Після контролю по першому параметру обсяг партії скоротиться на  $A_D n_1$  деталей, тобто  $a_1^* = A_D \cdot (1 - n_1)$  одиниць.

Після контролю по другому параметру:

$$\begin{aligned} a_2^* &= A_D \cdot (1 - n_1) - A_D \cdot (1 - n_1) \cdot n_2 = \\ &= A_D \cdot (1 - n_1) \cdot (1 - n_2). \end{aligned}$$

У загальному випадку

$$A_0^* = A_D \prod_{i=1}^{\theta} (1 - n_i). \quad (9)$$

Після контролю по першому параметру пропускається  $A_0^* m_1$  дефектних деталей і приймається  $A_0^* (1 - m_1)$  насправді придатних деталей.  $A_0^*$  означає кількість деталей перед контролем по першому параметру, тобто  $A_0^* = A_D$ .

Аналогічний аналіз взаємозв'язку точності вимірювань і якості продукції справедливий для вхідного контролю комплектуючих виробів і елементів.

## Висновки

1. В статті визначено втрати від браку продукції, що припадають на частку метрологічного забезпечення, і втрати через фіктивність браку необхідно встановити зв'язок похибок вимірювань з виробничими втратами

2. Описаний макроаналітичний підхід, який передбачає отримання великого обсягу інформації про показники за досить тривалий період. Крім того, визначення вагомостей експертними методами вносить суб'єктивізм в отримання взаємозв'язку. Такий підхід не дозволяє повною мірою позбутися впливу інших виробничих факторів.

3. Проведений мікроаналіз для трьох видів вимірювальних процесів: вимірювального контролю; вимірювань витрати, а також вимірювань при обліку і дозуванні ресурсів; вимірювань при управлінні технологічними процесами.

## Список літератури

1. ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю.
2. Основи стандартизації та кодифікації: навч. посіб. / В.Б. Кононов, І.В. Толок та ін. – Х.: ХУПС, 2012.
3. Никифоров А.Д. Управление качеством / А.Д. Никифоров. – 2006.
4. Шамаев Ю.П. Визначення математичної моделі планування експерименту при ідентифікації випробування / Ю.П. Шамаев, Ю.С. Лисенко // Збірник наукових праць Харківського Університету Повітряних Сил – Х.: ХУПС імені Івана Кожедуба, 2014. – С. 228-229.

Надійшла до редколегії 24.12.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ВЛИЯНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ

А.О. Амерханова, Ю.П. Шамаев, Ю.И. Рафальский

*В статье определяются методы эффективного использования ресурсов при метрологическом обеспечении качества продукции.*

**Ключевые слова:** измерительные процессы, брак изделия, метрологическое обеспечение, качество продукции.

## INFLUENCE METROLOGICAL ASSURANCE ON PRODUCT QUALITY AND EFFICIENT USE OF RESOURCES

O.O. Amerhanova, Yu.P. Shamaev, Yu.I. Rafalskiy

*The article defined methods for efficient use of resources in Metrological assurance of product quality.*

**Keywords:** measurement processes, workmanship, metrological support, quality of products.