

М.М. Микийчук, Т.Г. Бойко, Т.З. Бубела  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

## ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

© Микийчук М.М., Бойко Т.Г., Бубела Т.З., 2007

**Детально проаналізовано зовнішні впливні фактори на показники якості технологічних процесів. Дано рекомендації щодо створення узагальненої моделі технологічних процесів з метою забезпечення повноти та адекватності оцінки їх якості.**

**The work contains the detailed analysis of external influence factors on technological process quality indices. The authors present recommendations concerning the creation of technological process general model on purpose to provide the completion and adequateness of their quality estimation.**

### Вступ

Предметом науки про якість є властивості продуктів праці з врахуванням потреб та можливостей їх суспільного відтворення. Сьогодні в літературі та практиці існують різні трактування поняття якості. Якість у філософії – це суттєва характеристика предмета, що вирізняє його серед інших і оцінює його своєрідність [1]. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) визначає якість [2] як ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги. У національному стандарті України [3] якістю продукції називають сукупність її характеристик, які стосуються здатності цієї продукції задовольняти передбачені потреби. Визначення якості процесу як такого вітчизняні нормативні документи не регламентують, натомість в згадуваному вже стандарті [3] є поняття “якість виготовлення” – сукупність властивостей процесу виготовлення продукції, від яких залежить відповідність цього процесу та його результатів установленим вимогам. Це пов’язано, очевидно, з тим, що одним з найпоширеніших різновидів процесів є виробничий процес (процес виготовлення продукції) і, зокрема, його основні складові – технологічні процеси – тому всі подальші викладки стосуватимуться саме їх.

### Актуальність проблеми

Незважаючи на різноманітність трактування самого поняття, очевидно, що якість формується в процесі отримання продукції і є наслідком належного її виготовлення, що безпосередньо пов’язано з якістю окремих технологічних процесів. Тому контроль за якістю є одним з вирішальних чинників у формуванні якісних властивостей майбутньої продукції. Окрім цього, правильно організований контроль процесу виготовлення сприяє своєчасному виявленню і запобіганню недопустимого погіршення якості продукції, що дає можливість суттєво зменшити виробничі витрати, а, отже, підвищить її конкурентоспроможність та економічну ефективність виробництва.

Відомо, що оцінювання якості продукції ґрунтується на системі показників якості (ПЯ), які характеризують її властивості [3]. Так само як на кожний різновид продукції існує нормативний документ, який визначає перелік показників, за якими відбуваються її випробування, наприклад, під час її сертифікації або під час оцінювання її якісного рівня, очевидною є потреба в показниках, що характеризуватимуть процес виготовлення продукції.

Тоді як номенклатура ПЯ продукції і самі показники є важливими об’єктами стандартизації і вимоги до них добре відображені в нормативних документах, показники якості процесів, зокрема технологічних, залишаються поза увагою. Адже об’єктами в системі технічного регулювання є не лише продукція чи послуги, але й процеси і оцінювання їх якості є не менш актуальним. Тому спробуємо систематизувати трактування ПЯ технологічних процесів і сформулювати вимоги до них.

### Відбір та систематизація показників якості технологічних процесів

Вважатимемо, що будь-яка властивість, якою можна кількісно характеризувати технологічний процес (ТП), іменується його параметром. ПЯ процесу – це окремі параметри, через які можна оцінювати його якісні властивості. Якість ТП визначається показниками і умовами перебігу процесу, які, своєю чергою, описуються через впливні фактори (ВФ). Фактор трактуватимемо як змінну величину, що набуває у визначений момент часу певного значення і відповідає одному з можливих способів дії на об'єкт дослідження, яким є ТП. Впливний фактор стає предметом нашого аналізу тоді, коли він спричиняє будь-яку зміну параметра ТП. Відхилення параметра процесу від заданого номінального значення надалі називатимемо похибкою параметра ТП.

Вимоги до відбору параметрів, що визначають якість ТП, можна сформулювати так:

- параметри повинні бути кількісно виражені;
- перелік повинен містити, насамперед, ті вхідні параметри, що найбільше впливають на точність технологічних перетворень;
- між початковими параметрами не повинно бути кореляційних зв'язків;
- межі значень параметрів мають бути чітко визначені.

Окрім того, треба врахувати, що якість ТП є безпосередньо пов'язана з якістю готової продукції, що характеризується власними ПЯ. Результатом відхилення параметра від заданого номінального значення у виготовленій партії виробів є так звані виробничі похибки. Відповідно, величина розкиду окремого ПЯ в партії виробів опосередковано теж характеризує якість виробничого процесу і його складових ТП.

Авторами запропоновано таку номенклатуру груп ПЯ для оцінювання ТП (рис. 1).

Показники призначення зумовлюють галузь використання процесу і можуть містити підгрупи класифікаційних показників та показників технічної ефективності.

Група показників безпеки повинна враховувати вимоги, дотримання яких забезпечує захист людини під час виконання тієї чи іншої операції процесу.

Зокрема, патентно-правові показники повинні відображати ступінь використання новітніх передових технологій та враховувати коефіцієнт морального старіння використовуваної процедури для здійснення процесу.

Технологічність процесів, очевидно, визначатиметься групою показників трудомісткості (витрати часу на виконання операцій, з яких складається процес) та матеріаломісткості (витрати матеріалів на виконання того чи іншого процесу). При цьому остання група показників є демонстрацією економного використання ресурсів під час забезпечення ТП.

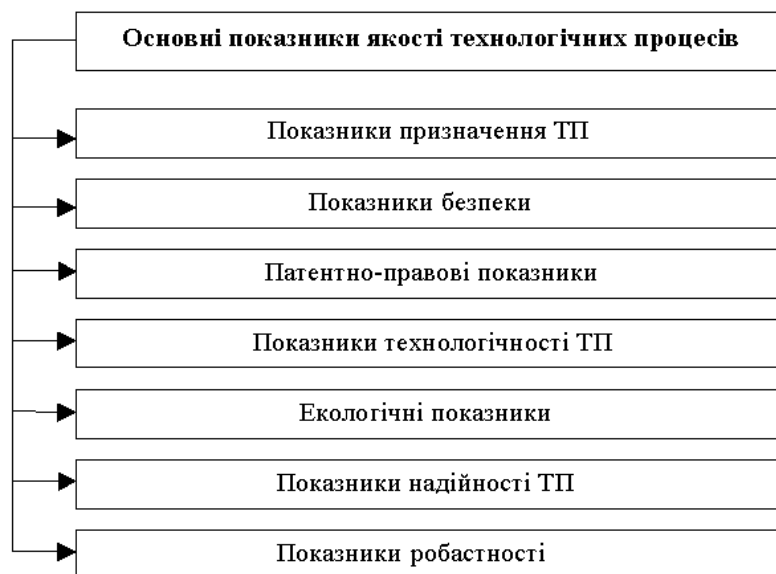


Рис. 1. Основні групи показників якості процесів

Екологічні показники характеризуватимуть рівень шкідливого впливу на довкілля, який виникає під час проходження процесів. Врахування екологічних показників забезпечить обмеження та мінімізацію шкідливих викидів. Одним з екологічних показників може бути, наприклад, наявність процедури очищення чи аварійного попередження в ТП.

Вважаємо за потрібне докладніше зупинитися на показниках надійності та робастності процесів. Отже, під надійністю ТП розуміють його здатність зберігати протягом встановлених відрізків часу значення всіх показників, що характеризують спроможність виконувати потрібні функції в заданих режимах. Іншими словами, йдеться про здатність ТП до стабільного протікання.

Дуже близькими до показників надійності (можливо, їх треба об'єднати в одну групу) є показники, які характеризують чутливість перебігу ТП до зовнішніх ВФ. Мовою якості цей показник називають робастністю [4, 5].

### **Моделювання механізмів проходження технологічних процесів**

Через те, що будь-який серійний виробничий процес супроводжується розкидом значень параметрів, практично неможливо отримати вироби з абсолютно однаковими ПЯ. Для ТП, на відміну від продукції, яка є завершеним виробом, переважно стійким до зовнішніх впливів, важливими чинниками, що впливають на його перебіг, є ВФ. Похибки ТП виникають, в основному, через наявність останніх. Параметрична структура процесу ставить вимогу контролювати значення ВФ.

Для більшості складних ТП можна виділити ряд закономірностей, які стосуються зовнішніх впливів, а саме:

1. На ТП діє велика кількість різноманітних ВФ. Цими факторами можуть бути зміни температури, тиску, вологості, параметрів довкілля; характеристики сировини, матеріалів і комплектувальних виробів; старіння і зношування обладнання; індивідуальні якості та кваліфікація працівників; хімічні і фізичні впливи на ТП тощо.

2. Всі ВФ можуть бути як сталими, так і змінними в часі.

3. Більшість ВФ піддаються вимірюванню і ними можна керувати.

4. Ряд факторів можна лише реєструвати і враховувати, але вони не піддаються керуванню. Наприклад, властивості отриманої сировини, умови виробничого середовища.

5. На ТП можуть діяти випадкові збурення, які не можуть бути ні передбачені, ні змінені. Наприклад, приховані дефекти комплектувальних виробів, випадкове пошкодження чи зношування обладнання, стрибки напруги в електромережі, недобросовісне ставлення чи втома працівників.

6. На ВФ часто накладаються різноманітні технологічні, фізичні та економічні обмеження. Наприклад, потужність електромережі, швидкість подачі матеріалів, виробничі кошти, кількість працівників.

З метою аналізу механізму протікання ТП та ефективного управління ним необхідно виявити в кількісній формі взаємозв'язок між факторами і параметрами, що визначають хід процесу. Для цього розглянемо існуючі моделі ТП. Залежно від джерела інформації, що використовується для побудови моделі ТП, розрізняють фізико-хімічні та статистичні моделі. У першому випадку за основу беруть фізико-хімічні закономірності модельованих процесів. Як правило, такі моделі процесів подаються у вигляді системи рівнянь, які дають можливість достатньо точно описати процес, однак є громіздкими, вимагають проведення тривалих і об'ємних досліджень процесу, а тому галузь їх застосування є доволі обмеженою.

У другому випадку за основу побудови моделі беруть результати статистичної обробки експериментальних даних, зібраних безпосередньо дослідженням параметрів ТП. Структура такої моделі може вибиратися досить довільно, а відповідність до досліджуваного об'єкта обмежується лише кількісним аспектом. Для більшості випадків побудова таких моделей можлива за порівняно незначних витрат часу та засобів.

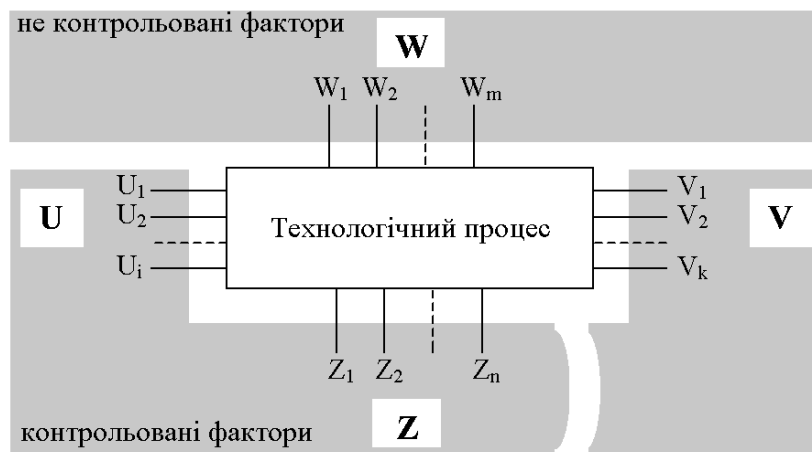


Рис. 2. Фактори, що визначають стан технологічного процесу

Більшість ТП можна подати у вигляді узагальненої моделі, показаної на рис. 2.

Всі фактори, що визначають стан ТП як об'єкта дослідження, можна розділити на чотири групи:

1. Група  $U$  містить фактори, які характеризують вхідні та проміжні продукти і не допускають цілеспрямованої їх зміни під час процесу. До вхідних та проміжних продуктів можна віднести сировину та продукти попередніх ланок ТП. Інформацію про значення змінних цієї групи отримують в результаті лабораторних аналізів та вимірювань. Цю групу факторів можна визначити як контрольовані некеровані фактори ТП.

2. Групу  $Z$  утворюють керовані ВФ ТП. За допомогою цих факторів реалізується заданий технологічний режим. До них належать керівні впливи, що контролюються через покази контрольно-вимірювальних засобів, та уставки регуляторів. На значення керованих факторів накладаються різноманітні технологічні обмеження. Фактори груп  $Z$  та  $U$  часто об'єднують в групу  $X$  і називають контрольованими вхідними факторами ТП.

3. Групу  $W$  утворюють неконтрольовані впливні фактори, які не можуть бути змінені (неконтрольовані домішки в сировині, старіння різноманітних елементів тощо). Саме наявність цих факторів переважно обумовлює імовірнісний характер більшості конкретних ТП і веде до необхідності використання статистичних методів.

4. Групу  $V$  становлять так звані вихідні контрольовані фактори, які можна лише умовно вважати ВФ ТП, оскільки вони впливають на процес шляхом впровадження зворотних зв'язків. До них можна віднести техніко-економічну ефективність процесу, технологічні властивості та параметри готової продукції. Однак фактори цієї групи мають одне з вирішальних значень при оцінюванні якості ТП та використовуються як цільові величини при оптимізації процесів шляхом накладання на зворотні зв'язки цілеспрямованих керівних впливів.

Відповідно для оцінки стану ТП, згідно з запропонованою моделлю, найкраще надається експериментально-статистичний підхід, що ґрунтується на теорії експерименту, основою якої є математична статистика. Остання використовується для аналізу в тих випадках, коли результати можна розглядати як випадкові величини чи випадкові процеси.

Математична статистика містить методи аналізу даних і прийняття рішень відносно досліджуваного технологічного об'єкта на основі опрацьованих результатів експерименту. Ці методи враховують стохастичний характер результатів і ґрунтуються на статистичній перевірці гіпотез.

Отже, залежно від того, яких числових значень набувають початкові ВФ, їх можна розділити на систематичні і випадкові. Систематичні фактори, своєю чергою, поділяються на сталі, що набувають певних числових значень, наприклад, при обробці кожної наступної деталі, і варіативні, що закономірно змінюються при переході від однієї деталі до іншої.

Випадкові фактори можуть набувати того чи іншого числового значення, наперед невідомо якого саме, при повторному відтворенні причин їх виникнення. Ці фактори можна подати випадковими величинами або випадковими функціями. Залежно від того, чи змінюються або залишаються сталими значення математичного очікування і дисперсії під час виготовлення партії деталей, всі випадкові фактори, що впливають на ТП, можуть бути поділені на чотири групи:

- 1) фактори, математичні очікування і дисперсії яких залишаються сталими в часі;
- 2) фактори, для яких математичні очікування змінюються, а величина дисперсії є сталою;
- 3) фактори, що характеризуються зміною дисперсії при сталому математичному очікуванні;
- 4) фактори, для яких одночасно змінюються і математичні очікування, і дисперсії.

Така класифікація факторів дає можливість визначити характер діаграми відхилень від номінального перебігу ТП в часі і встановити закони розподілу похибок його параметрів.

Якщо ТП характеризується параметрами, що змінюються під дією факторів першої групи, то це призводить до формування діаграми з функціями  $m_x(t)=const$  і  $\sigma_x(t)=const$ . У цьому випадку отримуємо закон Гаусса розподілу відхилень параметрів, наприклад, для різних деталей партії.

За наявності факторів другої групи спостерігається зміщення у часі центру групування. Цей випадок призводить до формування діаграми з функцією  $m_x(t)=var$ . Фактори, що належать до третьої групи, призведуть до формування діаграми з функцією  $\sigma_x(t)=var$ .

Складніші діаграми і відповідні їм “негауссові” закони розподілу існують за наявності факторів четвертої групи, тобто коли нестабільність умов виготовлення деталей характеризується одночасно і функцією  $m_x(t)=var$ , і функцією  $\sigma_x(t)=var$ .

### **Висновки**

Випадкові вхідні фактори, звичайно ж, вирішально впливають на параметричну структуру та якість технологічних процесів, що проявляється через відповідні показники якості ТП. До таких факторів можна віднести, наприклад, пружні деформації, зношування інструменту, температурні деформації технологічної системи, відхилення розмірних параметрів деталей і неоднорідність властивостей матеріалу, неточності верстату, внутрішні напруження в матеріалі деталі та інше. На початковій стадії дослідження є важливою правильною їх класифікація і ідентифікація згідно з поданою моделлю (рис. 2). Врахування ступеня впливу випадкових вхідних факторів на перебіг ТП і на виробничий процес загалом позитивно відобразатиметься на якості самого процесу та на якості готової продукції.

*1. Універсальний словник-енциклопедія / Гол. ред. ради чл. кор. НАНУ М. Попович. – 2-ге вид., доп. – К.: Всеуито. Новий друк, 2003. – 1414 с. 2. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. 3. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. 4. Сотниченко В. Тенденції якості у новому тисячолітті // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2000. – №4. – С. 48–51. 5. Засименко В., Столярчук П. Загальна концепція складової оцінки якості продукції на основі факторного аналізу // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – №59. – С. 131–134.*

**УДК 621.317**

**І.Р. Петровська**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

## **ВПЛИВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОХИБОК НА РЕЗУЛЬТАТ РЕКОНСТРУКЦІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТОМОГРАФІЇ**

© Петровська І.Р., 2007

**Наведено результати досліджень інструментальних похибок вимірювання при реконструкції питомої провідності в електричній томографії.**

**Results of instrumental measurement error research at the reconstruction of specific conductance in electrical tomography are notified in the article.**

### **Вступ**

Систематичні і випадкові адитивні інструментальні похибки вимірювань вихідних величин електрично збудженого струмом об'єкта є одними з найвпливовіших факторів, які погіршують якість реконструкції томографічних образів в електричній томографії, незалежно від її виду (резистивна, провіднісна чи ємнісна) [1]. Значення цих похибок залежать від кількості вимірю-