

УДК 681.518

# Використання статистичних методів контролю в системі моніторингу якості виробництва тари із ПЕТФ

М.В. Васьків, В.В. Івашук, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ

За останні 15–20 років поліетилентерефталат (ПЕТФ) став дуже популярним і широко застосовуваним, бо в багатьох випадках він може замінити скло та інші пакувальні матеріали. Поряд з його особливими фізичними властивостями (міцність, герметичність, стійкість до ударів, легка вага), ПЕТФ має ще одну важливу перевагу — прийнятну ціну. Оскільки ПЕТФ є чудовим захистом проти дії кисню і вуглекислоти [1], цей матеріал широко використовується у виробництві тари для зберігання напоїв: мінеральної води, газованих безалкогольних напоїв, а також пива. Збереження початкової якості напоїв безпосередньо залежить від показників якості тари, тому налагоджений, стабільний процес виробництва упаковки з ПЕТФ теж впливає на якість початкової продукції.

Технологічний процес виготовлення тари з ПЕТФ дуже складний за кількістю факторів, що впливають на її кінцеві параметри. За стадіями виготовлення технологічний процес можна поділити на:

- виготовлення преформи — дуже складний процес, що стосується фізики полімерів і більш детально розглянутий у наукових працях [2, 3];
- формування пляшки необхідної форми та розміру.

Остання стадія також є багатофакторною, де параметри впливу можна поділити на ті, що характеризують до-виробничий стан заготовки ПЕТФ (подряпаний зовнішній край шийки преформи, великий вміст вологи у преформі, холодна преформа тощо), і ті, що породжуються виготовленням пляшки (погана орієнтація пляшки у прес-формі, неправильний профіль нагрівання преформи, незадовільний тиск видування, потрапляння масла у преформу, раннє перевидування пляш-

ки, неправильна кінетика нагрівання, нерівномірне охолодження пляшки). Переважна частина перших факторів залежить від умов транспортування преформ та їхнього до-виробничого зберігання.

За даними дослідників, близько 80 % усіх дефектів, що виявляються під час виробництва і застосування продукції, обумовлені недостатньою обґрунтованістю розробки концепції продукції, конструювання і підготовки її виготовлення [4]. Тому на сьогодні перед будь-яким підприємством постає питання організації роботи з підвищення якості продукції так, щоб реалізація технології виготовлення продукції або робота функціонального модуля переробки з самого початку були вдалим.

Проблема поточного моніторингу якості продукції у процесі її виготовлення завжди гостро стояла перед виробниками. Якщо необхідним є не лише оцінювання придатності отриманих виробів, але й спостереження за тенденціями зміни якості, то поставлене завдання представляється досить трудомістким та коштовним. Так, для контролю температури, геометрії та лінійної деформації тари з ПЕТФ необхідним буде використання спеціального метрологічного обладнання: інфрачервоних камер для визначення температурного поля преформи, сканерів профілю виробу із системою

розпізнавання образів, ультразвукових товщиномірів для визначення лінійної деформації ПЕТФ на стінках пляшки. Такі засоби вже зараз існують і застосовуються, але, враховуючи їхню вартість, кількість експлуатаційного обслуговування, оцінивши дійсну швидкість роботи таких сканерів, можна сказати, що вони суттєво впливатимуть на час повернення інвестицій, вкладених у використання лінії виготовлення пляшок з ПЕТФ.

Єдиним практично застосовуваним методом усунення браку на цій стадії є приймальний контроль із статистичним оцінюванням можливої кількості бракованих преформ за оціночною вибіркою [5].

Система моніторингу якості продукції і контролю процесів на всіх етапах технологічного циклу продукції представлена в національному стандарті України ДСТУ ISO 9001-2009 (ISO 9001:2008, IDT) [6] (прийнятий на заміну ДСТУ ISO 9001-2001), згідно з яким забезпечується оперативне управління якістю процесів виготовлення. Відповідно до пункту 8.2.3 стандарту ДСТУ ISO 9001-2009, для проведення моніторингу недостатньо просто відслідковувати параметри процесу. Практика запровадження спостережного виробництва вимагає застосування належних методів моніторингу системи управління якістю

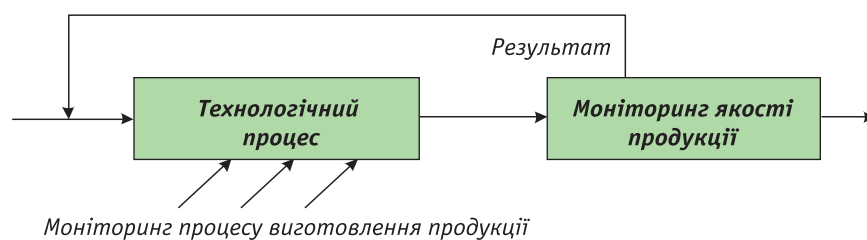
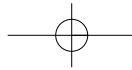


Рис. 1. Схема контролю технологічного процесу



для доведення спроможності процесів у досягненні запланованих результатів. Якщо запланованих результатів не досягнуто, то потрібно належним чином реалізувати коригувальні дії (рис. 1).

В основу моделі процедури моніторингу якості виробництва продукції (пляшок з ПЕТФ) поставлене завдання розробки системи, що гарантує усунення дефектів виробів, які пов'язані з незадовільною реалізацією процесів виробництва, а також збільшення автономності процесу прийняття рішень, що сприяє зменшенню тривалості загального виробничого циклу та підвищує ритмічність потоку процесів.

Умови отримання змінних процесу призводять до використання методів математичної статистики, що пов'язані із статистичною природою інформації, яка породжується у виробничих процесах. Дійсно, навіть за жорсткого дотримання технології на виробничий процес (виготовлення упаковки) впливає безліч випадкових чинників, які не дають можливості отримати бажаний детермінований показник якості [3, 7].

Використання статистичних методів контролю якості продукції дає можливість приймати оцінювання якості партії продукції за результатами контролю її малої частини (вибірки) спостережних параметрів технологічного процесу виробництва. Крім того, статистичні методи контролю дозволяють прогнозувати динаміку виробничого процесу, оцінювати його точність, збіжність та

відтворюваність. Статистичні методи як засіб контролю якості мають ряд переваг:

- забезпечують можливість прогнозування якості продукції і процесів;
  - дають можливість обґрунтовано перейти до вибіркового контролю і тим самим знизити трудомісткість контрольних операцій;
  - створюють умови для наочного зображення динаміки зміни якості продукції і налаштування процесу виробництва, що дозволяє оперативно попереджувати втрату якості продукту.
- Статистичні методи контролю якості продукції припускають:
- аналіз технологічного процесу з метою приведення його до необхідного налаштування, точності і статистично стійкого стану;
  - операційний контроль з метою регулювання та підтримки технологічного процесу в стані, що забезпечує задані якісні параметри;
  - вибіркового статистичного приймального контролю якості готової продукції.

Будь-який контрольований показник якості ПЕТФ, закладений у технічних вимогах, може розглядатися як деяка випадкова величина  $X$ , властивості якої найбільш повно відображаються законами розподілу випадкової величини. Між станом технологічного процесу і законом розподілу показників якості існує органічний зв'язок. Проведення статистичного аналізу точності і стабільності будь-якого технологічного процесу — це дослідження закону роз-

поділу показника якості і його статистичних характеристик, що несуть інформацію про рівень налаштування процесу та його точності.

Так, нормальний розподіл  $\Phi(x)$  з параметрами  $\bar{x}$  та  $\sigma^2$ , де  $\bar{x} \in \mathbf{R}$ ,  $\sigma > 0$  має таку щільність розподілу:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad x \in \mathbf{R}, \quad (1)$$

де  $x$  — значення випадкової величини;  $\bar{x}$  — їїня середня величина;

$\sigma$  — середньоквадратичне відхилення;

За практичними дослідженнями, проведеними в лабораторії якості заводу ЗАТ «Орлан» (м. Київ), було визначено, що найбільша кількість дефектів зводиться до нерівномірної товщини стінки пляшки з ПЕТФ. За показник якості взято попередньо обраний параметр — товщину стінки пляшки 0,28 мм (біля шийки пляшки) з допустимим відхиленням  $\pm 0,015$  мм.

Статистичний аналіз технологічного процесу виготовлення пляшок з ПЕТФ був проведений для печі видування обладнання SIDEL SBO № 5249. За контрольований параметр дослідження було прийнято товщину стінки біля шийки пляшки. Об'єм контрольної партії — 100 одиниць, вибірка — 5 одиниць, абсолютна похибка ультразвукового товщиноміру Magna-Mike 8500 — 0,001 мм. Для проведення статистичного аналізу побудовано функцію щільності і функцію нормального розподілу на основі даних наших досліджень процесу виготовлення пляшок з ПЕТФ (рис. 2).

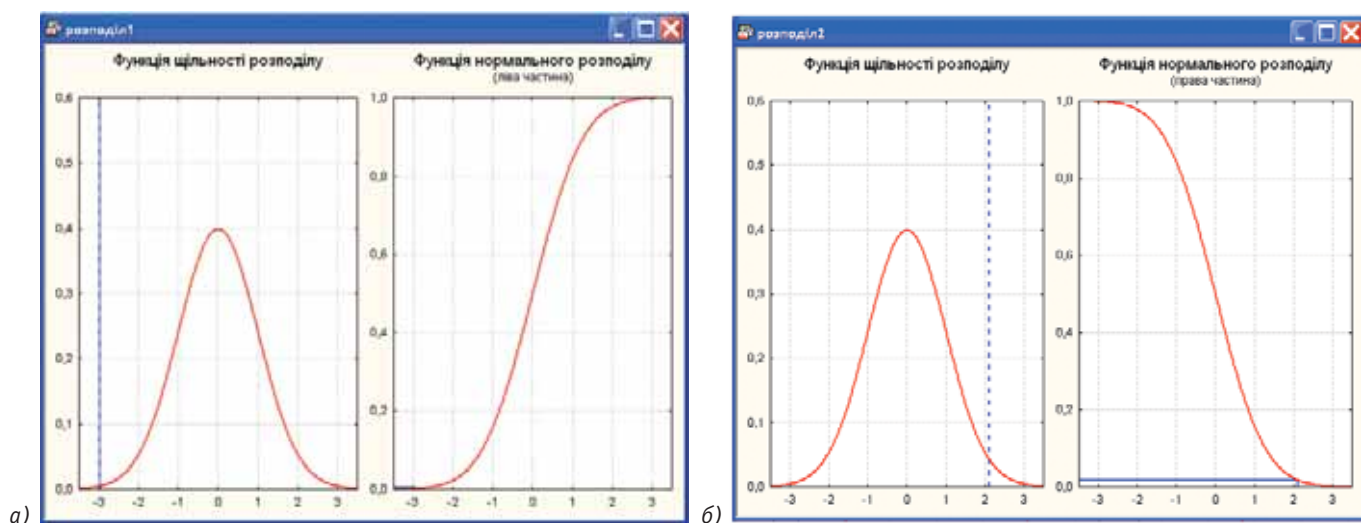
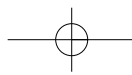
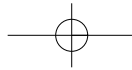


Рис. 2. Графічне зображення функції щільності і нормального розподілу: ліва (а) та права (б) її частини





Використовуючи аналіз функції нормального розподілу, можна зробити висновок про стан технологічного процесу — визначити величину або відсоток дефектних виробів, тобто дефектних пляшок з ПЕТФ:

- відсоток пляшок, які відповідають нормі, одержимо з виразу:

$$+z \cdot \Phi(Z) + (-z \cdot \Phi(Z)); \quad (2)$$

- відсоток пляшок, розміри яких перевищують верхню межу допуску, одержимо з виразу:

$$0,5 - (+z \cdot \Phi(Z)); \quad (3)$$

- відсоток пляшок, розміри яких перевищують нижню межу допуску, одержимо з виразу:

$$0,5 - (-z \cdot \Phi(Z)), \quad (4)$$

де 0,5 — площа лівої і правої частин під кривою нормального розподілу;  
 $-z \cdot \Phi(Z)$  — інтегральна функція нормального розподілу (в інтервалі  $-\infty \dots -z$ ).  
 Статистичний аналіз якості застосовується для встановлення властивостей випадкового процесу в конкретних умовах виробництва. Якість продукції

залежить від великої кількості взаємопов'язаних і незалежних один від одного факторів, що мають як закономірний, так і випадковий характер. Мета застосування статистичних методів аналізу якості — виявлення ступеня впливу факторів на показники якості (встановлені характеристики готового виробу).

Оскільки побудова детермінованої моделі процесу видування пляшки з ПЕТФ ускладнюється широтою асортименту продуктів, характеристиками заготовок та запропонованими технологіями їхнього виготовлення, обставини зводять розв'язання завдання керування виготовленням тари до методів статистичного керування.

Статистичні методи керування якістю актуальні під час оперативного регулювання технологічних процесів для забезпечення їхньої стабільності та запобігання браку за умов, коли об'єкт керування має брак спостережних величин і відноситься до не повністю визначених об'єктів керування. Методикою реалізації такого регулювання є організація вибіркового контролю виготовленої продукції, за результатами якого оперативно коригуються параметри технологічного

процесу, попереджається випуск дефектного виробу.

У запропонованій системі керування відбувається за розімкненим принципом, тобто вихідна характеристика розраховується як така, що задовольняє вимоги, якщо у процесі виробництва контрольовані параметри не порушували встановлених величин. Локалізація дефектів виконується на підставі матриці розподілу відповідальності дефектів продукту.

Практичний інструмент для вирішення завдань статистичного керування — контрольна карта, яка контролює порушення встановлених обмежень контрольованого показника. Втручання в технологічний процес для налаштування потрібно тоді, коли продукція, що випускається, ще задовольняє технічні вимоги, але статистичні показники процесу свідчать про наявність невідповідностей.

Створена контрольна карта розсіювання навколо середнього значення на основі даних проведеного експерименту (рис. 3) дає можливість визначити параметри-порушники, які становлять причину прихованого дефекту.

За картою, побудованою для товщини стінки пляшки з ПЕТФ, встановлено порушення середньоквадратичного відхилення від середнього, які вказують на ймовірність отримання дефектних виробів у кількості 3,36 % від загальної партії прийнятих до дослідження зразків. Помічений незадовільний тренд виробничого процесу свідчить про наявність систематичного чинника, що однозначно викликати відчутні втрати якості у виробництві.

Проведення моніторингу за ДСТУ ISO 9001-2001 для виробництва пляшок з ПЕТФ дасть можливість визначити:

- підтвердження відповідності функціонування процесу виготовлення пляшок встановленим технічним вимогам;
- причини невідповідностей, які виникають під час виготовлення пляшок;
- підтвердження для виконання коригувальних дій.

Реалізація даної системи моніторингу і статистичного керування як системи

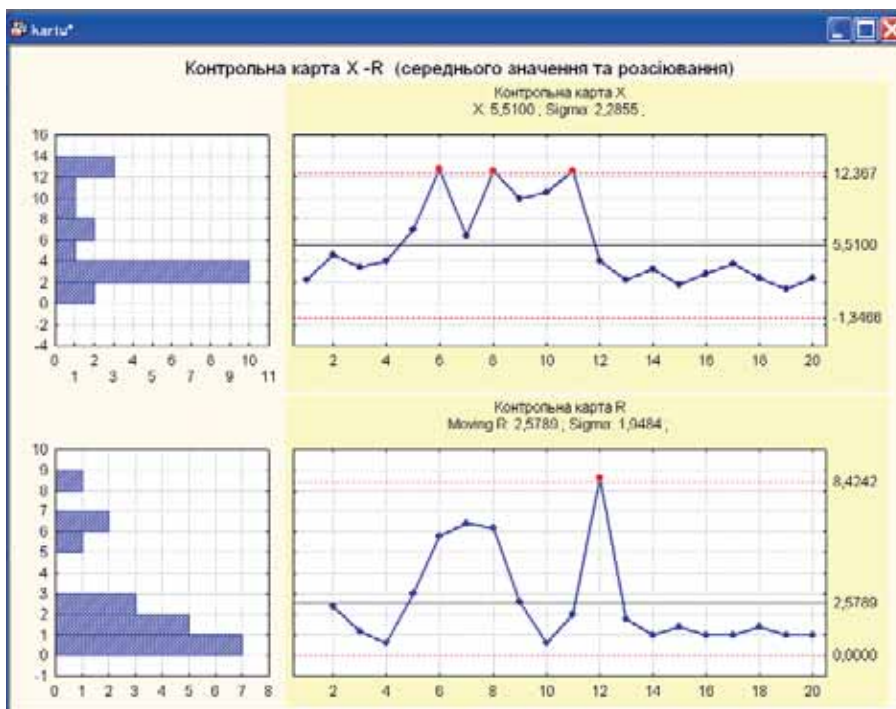
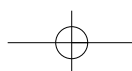
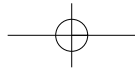


Рис. 3. Побудова  $\bar{x}$  — R контрольної карти





підтримки прийняття рішень дасть можливість вжити своєчасних заходів для підвищення якості готової продукції, запровадити постадійно орієнтоване обслуговування виробництва пляшок з ПЕТФ.

**Література**

1. *Ефремова М.В.* Прогнозирование сроков службы полиэтилентерефталата в контакте с жидкими модельными пищевыми средами: Дис. канд. тех. наук: 05.19.08 / М.В. Ефремова-М., 1998. — 258 с.
2. *Евсей А.В.* Модифицирование вторичного полиэтилентерефталата для литья под давлением изделий конструкционного назначения: Дис. канд. тех. наук: 05.02.01 / А.В. Евсей — Минск, 2007. — 279 с.
3. Производство упаковки из ПЭТ: листы, пленки, выдувная тара / Б. Блэйк-бороу и др.; ред.: Д. Брукс, Д. Джайлз; пер. с англ. под ред. канд. физ.-мат. наук О.Ю. Сабсяя. — СПб.: Профес-

- сия, 2006. — 366, [1] с.: ил.; 24 см. — Пер. изд.: PET Packaging Technology. — 1000 экз. — ISBN 5-93913-110-7.
4. *Гиссин В.И.* Управление качеством продукции / В.И. Гиссин — Р/Д: Издательский центр «МарТ», 2003. — 400 с.
5. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции: ГОСТ 18321-73. — ГОСТ 18321-73. — [Действителен с 1974-01-01] — М.: ИПК «Издательство стандартов», 2008. — 8 с.
6. Системы управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009. — ДСТУ ISO 9001:2009. — [Чинний від 2009-06-22]. — К.: Держспоживстандарт України, 2009. — 34 с. — (Національні стандарти України).
7. *Фомичев С.К.* Основы управления качеством: Учебное пособие / С.К. Фомичев, А.А. Старостина, Н.И. Скрыбина — К.: МАУП, 2000. — 194 с. *Ж*

**Использование статистических методов контроля в системе мониторинга качества производства тары из ПЭТФ**

*М.В. Васильев, В.В. Иващук, к.т.н.*

В качестве решения проблемы повышения качества производства упаковки авторами предложено комплексное решение задач, включающих процедуру мониторинга качества производства продукции (бутылок из ПЭТФ), внедрение корректирующих и предупреждающих действий, применения статистических методов анализа и регулирования качества продукции, что позволит предупредить, выявить изготовление дефектной продукции и избежать его.

*Ключевые слова:* качество; мониторинг качества; контроль; управление; корректирующие действия; статистические методы; выборка; дефект.

**The use of statistical methods for control system of monitoring the quality of the PET packaging industry**

*M.V. Vaskiv, V.V. Ivashchuk, Ph.D.*

For the packaging production quality improvement problem, the complex solution is proposed, including: products (PETF bottles) quality monitoring procedure, introduction of the corrective and preventing actions, and the use of the statistical methods of production quality analysis and control, that will allow to prevent, to detect and to avoid producing defective products.

*Key words:* quality; quality monitoring; control; management; corrective actions; statistical methods; sampling; defect.



**УПАКОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И УПАКОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ВАШЕГО БИЗНЕСА УЖЕ В ВАШЕМ ГОРОДЕ**

[www.upakovka.com.ua](http://www.upakovka.com.ua)

Филиальная сеть ИПК «Техника»  
быстро и надежно поставяет  
более 4000 товаров  
для упаковки



Центральный офис:  
Украина, 61004, г. Харьков,  
пер. Райсоветовский, 1  
+380 (57) 733-22-46  
[info@teknika.ua.com](mailto:info@teknika.ua.com)

