

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Клєвцова Марина Олександрівна**

УДК 006.83:664.68 (043.5)

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

### **МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАЛОПОТУЖНОМУ КОНДИТЕРСЬКОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ М.О. Клєвцова

Науковий керівник    Володарський Євген Тимофійович, доктор технічних  
наук, професор

Київ – 2019

## АНОТАЦІЯ

Клєвцова М.О. Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському виробництві. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.00 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського» МОН України, Київ, 2019.

Робота полягає у теоретичному обґрунтуванні, формуванні та подальшому розвитку методів забезпечення якості продукції на етапах її життєвого циклу. Наявні наукові розробки та методичні матеріали не містять теоретично обґрунтованих і практично реалізованих рекомендацій з планування (для нових видів продукції - проектування) методів контролю якості в умовах малопотужних підприємств (МП), що не сприяє забезпеченню необхідного рівня якості та конкурентоспроможності продукції. У цих умовах особливої актуальності набувають задачі врахування специфіки технології виробництва МП при теоретичному обґрунтуванні та практичній реалізації методів забезпечення контролю якості в рамках сучасної системи управління якістю.

В роботі обґрунтовано поняття малопотужного підприємства з метою акцентування саме на потужності підприємства, яка не має корельованого зв'язку з чисельністю персоналу, а характеризує його особливу ознаку. Технологічний процес таких підприємств є періодичним, включає неавтоматизовані операції, а виробництво є малосерійним та багатомножинним, при цьому застосовується одне й те саме обладнання та засоби вимірювання. Все це ускладнює проведення контрольних операцій та обмежує їх в часі.

Виходячи з цих позицій, в роботі доведено, що для створення продукції належної якості, що характеризується власними та наданими властивостями, необхідно здійснювати комплексний підхід, а методи забезпечення,

управління, контролювання якості мають проектуватися на всіх стадіях життєвого циклу продукції. Встановлено, що для досягнення поставленої мети статистичні методи є найбільш обґрунтованими та достовірними.

Показана важливість утримання стабільності виробництва для забезпечення якості продукції. Враховуючи особливість малопотужного підприємства, що полягає у частій зміні номенклатури продукції, малому її обсягу та відсутності значного обсягу вибірових даних суттєвим є виявлення розладнання процесу на ранніх стадіях. Традиційне застосування широко уживаного методу контролю технологічного процесу із застосуванням контрольних карт Шухарта дозволяє виявити розладнання технологічного процесу тільки при виході контрольних точок за попереджувальні межі. У зв'язку з чим розроблено підхід, який дозволяє виявити розладнання технологічного процесу на ранніх стадіях. Для оперативного керування технологічним процесом необхідно обґрунтовано вибирати інтервали між контрольними вибірками. З цією метою проаналізована чутливість різних видів карт до розладнання технологічного процесу. При цьому встановлено, що рекомендація нормативних документів щодо 4-5 спостережень у контрольних вибірках справедлива лише для  $s$ -карт. Для карт середніх значень чутливість залежно від кількості спостережень відрізняється на 20%. Проведено аналіз послідовності подій, що відображається знаходженням контрольних точок у певних областях на карті середніх значень і визначена ймовірність такої складної події. Введено в науковий обіг коефіцієнт оперативності критерію розладнання технологічного процесу та розроблено метод сполучення елементарних подій, за якого виявлені додаткові критерії за біноміальною моделлю. При цьому допускалося, що випадкові коливання технологічного процесу мають нормальний закон розподілу.

Здійснено аналіз вимог щодо підвищення вірогідності оцінки відповідності продукції. Показано, що вірогідність прийняття вірного рішення залежить від невизначеності вимірювання, пов'язаної з результатом

вимірювального контролю та довжини допускового інтервалу. Встановлено, що найбільш ефективними є методи, які базуються на послідовній процедурі прийняття рішення про відповідність. В роботі розвинуто метод захищеного приймання щодо відповідності продукції шляхом формування вирішального правила за покроковим уточненням відповідності контрольованої величини, результат вимірювання якої потрапив у захисну смугу, довжиною, пропорційною невизначеності вимірювання, що дозволяє зменшити ризик прийняття помилкового рішення та запобігає втратам виробника. Запропоновано при оцінюванні відповідності готової продукції методом послідовного контролю з фіксованими граничними значеннями проводити додаткові вимірювальні процедури тільки тих об'єктів, результати вимірювання яких потрапили у захисну смугу. При цьому ймовірність прийняття помилкових рішень зменшується за несуттєвого збільшення обсягу контрольно-вимірювальних операцій.

Показано, що характерною властивістю малопотужних підприємств є широка номенклатура виробів, кожен з яких має «власний» допусковий інтервал на контрольований показник за того самого контрольного обладнання. За таких умов запропоновано метод адаптивних контрольних граничних значень, де кожний послідовний крок оцінки відповідності приводить до збільшення коефіцієнту вимірювальних можливостей що, у свою чергу, розширює контрольні границі, з якими на наступному кроці порівнюється середнє значення, обчислене за всіма результатами, отриманими на усіх кроках. Цей метод відрізняється можливістю поетапного збільшення приймальних границь в межах поля допуску на контрольований параметр для об'єктів з різною довжиною інтервалу приймання, відповідність яких не була встановлена на попередніх етапах. Даний метод дозволяє мінімізувати число додаткових вимірювань при вирішенні задачі підвищення вірогідності оцінки відповідності і, тим самим, зменшити собівартість продукції без втрати її якості.

Розглянуто особливості технологічного процесу виготовлення борошняних кондитерських виробів. Контрольованим параметром технологічного процесу виробництва печива обрано показник вологості тіста, оскільки цей параметр фактично є вологістю кінцевого продукту для не випічених сортів, а для випічених сортів крім вологості готового продукту обумовлює ще й низку органолептичних характеристик, таких як структура, крихкість та інші, які безпосередньо оцінює споживач. Оцінку відповідності готового продукту за фактичним вмістом доцільно проводити силами підприємства із застосуванням статистичних методів, як пропонується в роботі. Тому, при впровадженні результатів роботи на виробництві при контролюванні технологічного процесу показником якості прийнято інтегральний показник вологості, а при оцінці відповідності готової продукції – масу.

Проведено аналіз вимог нормативних документів щодо забезпечення якості кінцевого продукту при його фасуванні та пакуванні. Встановлено, що кожен вид продукції має свої вимоги при фасуванні щодо забезпечення норм допустимих відхилень, для виконання яких необхідно здійснювати статистичний підхід.

Розроблено методику планування (проектування) контролю якості продукції та апробовано її у виробничих умовах кондитерського виробництва; наведено практичні рекомендації щодо її застосування. Впровадження методики надало можливість зменшити нормативні втрати сировини при виробництві продукції та кількість повернень продукції з торгових мереж з причин неналежної якості на 2-3 процентних пункти.

Ключові слова: якість продукції, технологічний процес, контрольні карти, статистична керованість, критерії, стабільність та точність процесу, оцінка відповідності продукції, невизначеність результатів вимірювання, адаптивний послідовний алгоритм.

## SUMMARY

Klevtsova M.O. Methods of ensuring the quality of products in low-power confectionery production. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.01.02 «Standardization, certification and metrological assurance». – National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The work consists in theoretical substantiation, formation and further development of methods for ensuring the quality of products at the stages of its life cycle. Existing scientific developments and methodological materials do not contain theoretically substantiated and practically implemented planning recommendations (for new types of products - designing) of quality control methods in the conditions of small and medium enterprises (SMEs), which does not contribute to ensuring the necessary level of quality and competitiveness of products. In these conditions, special attention is paid to the specifics of the technology of production of SMEs in the theoretical substantiation and practical implementation of methods for ensuring quality control within the framework of modern quality management system for SMEs.

The paper substantiates the concept of a low-power enterprise in order to emphasize precisely the capacity of an enterprise that does not have a correlated relationship with the number of staff, and characterizes its special feature. The technological process of such enterprises is periodic, includes non-automated operations, and production is small and multicomponent, with the same equipment and means of measurement are used.

All this complicates the conduct of control operations and limits them in time. Proceeding from this position, it has been proved in the work that for the creation of products of the proper quality, characterized by their own and provided properties, an integrated approach must be implemented, and the methods of

ensuring, managing and controlling quality should be designed at all stages of the product life cycle. It is established that in order to achieve this goal statistical methods are the most reasonable and reliable ones.

It is shown the importance of maintaining the stability of production to ensure the quality of products. Taking into account the particularity of a small enterprise, which consists in the frequent change in the product range, its small volume and the lack of a significant amount of sample data, it is essential to identify the process of decomposition in the early stages. The traditional use of a widely used method for controlling the technological process with the use of control charts of Schuhart can detect the disruption of the technological process only at the exit of control points at the warning thresholds. In connection with this, an approach has been developed to detect the disruption of the technological process in the early stages. For operational control of the technological process, it is necessary to justify the choice of intervals between the control samples. For this purpose, the sensitivity of different types of cards to the technological process is analyzed. It was established that the recommendation of normative documents regarding 4-5 observations in control samples is valid only for s-cards. For medium-value maps, the sensitivity varies by 20% depending on the number of observations. An analysis of the sequence of events, which is displayed by finding the control points in certain areas on the map of average values, is determined and the probability of such a complex event is determined. The efficiency index is introduced, which is the criterion for early detection of the process decomposition, and the method of combining elementary events has been developed, in which additional criteria were found according to the binomial model. It was supposed that random fluctuations in the technological process have a normal distribution function.

The analysis of requirements to increase the probability of conformity assessment of products is analyzed. It is shown that the probability of making a correct decision depends on the uncertainty of the measurement associated with the result of the measurement control and the length of the tolerance interval. It has

been found that methods that are based on a consistent decision-making procedure are the most effective. The method of protected acceptance for product conformity has been developed by forming a decision rule for step-by-step specification of the compliance of the controlled quantity, the result of which was measured in the guard band, the length, proportional to the uncertainty of the measurement, which reduces the risk of making an erroneous decision and prevents losses of the manufacturer.

When evaluating compliance with fixed limit values, additional limit values are introduced in their vicinity. When the primary result hits the middle of the region, bounded by additional limit s, they pass to a consistent procedure for detecting the ratio of the current result and the additional limit values. At the same time, the probability of making false decisions decreases with insignificant increase in the volume of control and measuring operations.

It is shown that the characteristic feature of low-power enterprises is a wide range of products, each of which has a "own" tolerance on a controlled indicator for the same control equipment. Under these conditions, the method of adaptive control limit values is proposed, where each successive step of conformity assessment leads to an increase in the index of measurement capabilities and, in turn, expands the control limits with which the average value, calculated on all results obtained on all the steps. This method is distinguished by the possibility of gradually increasing the acceptance limits within the tolerance field to the controlled parameter for objects with different lengths of the receiving interval, the correspondence of which has not been established in the previous stages. This method, in contrast to the method with the introduction of guard band, allows you to exclude manufacturer losses and provide a given value of the probability of compliance with norms.

Features of the technological process of making flour confectionery products are considered. The parameter of the baking process technological process is chosen as the parameter of moisture content of the dough, since this parameter is actually the moisture content of the final product for non-susceptible varieties, and



for baking varieties, in addition to the moisture content of the finished product, there is also a number of organoleptic characteristics, such as structure, fragility and others that are directly estimated by the consumer. An assessment of the conformity of the finished product to the actual content should be carried out by the enterprise using the statistical methods proposed in this work.

Therefore, when implementing the results of work on the production process control of the technological process, the integral index of moisture is taken as an indicator of quality, and when assessing the conformity of finished products - the mass. The peculiarities of the technological process of making flour confectionery products are considered, an analysis of the influence of technological parameters on the quality of products has been carried out, defined as the main parameter influencing the quality of products – humidity, an example of its monitoring is given. The analysis of the requirements of normative documents for ensuring the quality of the final product during its packaging and packaging is carried out. It has been established that each type of product has its own requirements for packing in order to ensure the norm of tolerable deviations, for the performance of which a statistical approach is necessary.

The method of planning (designing) quality control of products was developed and tested in the production conditions of confectionery production; practical recommendations for its application are given. The introduction of the methodology has made it possible to reduce regulatory losses of raw materials in the production of products and the number of returns from the retail network due to reasons of inadequate quality by 2-3 percentage points.

Key words: product quality, technological process, control cards, statistical control, criteria, stability and precision of the process, conformity assessment of products, uncertainty of measurement results, adaptive sequential algorithm

Список публікацій здобувача:

1. Володарський Є.Т. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта / Є.Т. Володарський, М.В. Добролюбова, М.О. Клевцова // Інформаційні системи, механіка та керування, 2017. – № 17 (2017). – С. 51-60.
2. Клевцова М.А. Обобщенный подход к оцениванию статистической управляемости технологического процесса. Часть 1. Статистическое обоснование критериев разлаженности технологического процесса / М.А. Клевцова, Л.А. Кошева // Метрологія та прилади, 2018.– № 1. –С.40-45.
3. Клевцова М.А. Обобщенный подход к оцениванию статистической управляемости технологического процесса. Часть 2. Статистический инструментарий для оценивания регулируемости технологического процесса, М.А. Клевцова, Л.А. Кошева // Метрологія та прилади, 2018.– № 2.–С.47-53.
4. Володарський Є.Т. Адаптивний послідовний метод прийняття рішення про відповідність продукції / Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева, М.О. Клевцова // Вимірювальні прилади та метрологія, 2018. – № 79 (1), pp. 58-63.
5. Клевцова М.О. Деякі аспекти проектування системи контролю якості технологічного процесу на малому підприємстві кондитерської галузі / М.О. Клевцова // Вісник інженерної академії України, 2018. – №1 – С. 218-223.
6. Volodarsky E. Control stability of indicators product quality / E.Volodarsky, Z.Warsha, L.Kosheva, M. Klevtsova // Proceedings of 27<sup>th</sup> International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2017». – September 8-12, 2017, Sozopol, Bulgaria. – p.332-336.
7. Volodarsky E. Formation of the rule decision-making about suitability products on the basis of the Adaptive algorithm / E.Volodarsky, L.Kosheva, M. Klevtsova // Proceedings of 28<sup>th</sup> International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2018». – September 10-14, 2018, Sozopol, Bulgaria. – p. 332-335.

8. Клевцова М.О. Проблеми забезпечення якості харчової продукції на малопотужному виробництві / М.О. Клевцова // Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 11-12 травня 2017 р. м. Львів. - Вид-во Львівської політехніки, 2017. – С.84-85.

9. Клевцова М.О. Забезпечення якості продукції малопотужного кондитерського виробництва на основі концепції «Industry 4.0» / М.О. Клевцова // Тези доповідей 4-ї Міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2017), – Вінниця 30.10-2.10. 2017, ВНДТУ, С.49-50.

10. Клевцова М.О. Взаємозв'язок показника вимірювальної можливості з вірогідністю ухвалення рішення при контролі технологічного процесу / М.О. Клевцова // Тези доповідей IV Всеукраїнської науково-технічної конференції у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018» (TUM-2018), Славсько, 13–18 лютого 2018 р.

11. Клевцова М.О. Особливості оцінювання відповідності готової фасованої продукції / М.О. Клевцова // Міжнародна науково-технічна конференція «Системи –2018», 22-23 листопада 2018 р., м. Львів. – С.54-54.

12. Клевцова М.О. Оцінювання стабільності багатопараметричного технологічного процесу при кореляції його показників/ М.О. Клевцова, М.В. Добролюбова // Тези доповідей 8 Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 10-12 травня 2018, м. Чернігів. – С.21-22.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАЛОПОТУЖНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	22
1.1 Сучасне трактування поняття «якості».....	22
1.2 Особливості малого та середнього підприємництва у досяжності якості продукції.....	25
1.3 Аналіз методів забезпечення якості на малопотужному підприємстві кондитерської галузі.....	30
1.4 Проблеми розроблення системи управління якістю для малопотужного підприємства.....	32
1.5 Контроль якості – невід’ємна складова системи управління якістю.....	34
1.5.1 Методи та засоби контролю якості продукції й процесів її виготовлення.....	34
1.5.2 Оцінка та аналізування результатів контролю якості.....	40
1.6 Планування (проектування) контролю якості продукції.....	41
1.7 Формулювання мети та задач дослідження.....	42
Висновки за розділом 1.....	43
Список використаних джерел.....	44
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОЇ КЕРОВАНOSTІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	49
2.1 Статистичне керування технологічним процесом.....	49
2.2 Види контрольних карт та принципи установлення їх контрольних меж.....	52
2.2.1 Аналіз різновидів застосовуваних контрольних карт.....	52
2.2.2 Принципи побудови контрольних меж.....	54

2.3 Дослідження чутливості контрольних карт до розладнання технологічного процесу.....	58
2.4 Формування додаткових попереджувальних критеріїв розладнання технологічного процесу.....	68
2.4.1 Аналіз особливих причин розладнання технологічного процесу за гаусівської моделі розподілу контрольованих показників.....	69
2.4.2 Метод сполучення елементарних подій.....	76
2.4.3 Аналіз особливих причин розладнання технологічного процесу за аномальної (невідомої) моделі розподілу контрольованих показників.....	88
2.5 Практична спрямованість застосування критеріїв розладнання технологічного процесу.....	93
Висновки за розділом 2.....	95
Список використаних джерел.....	96
РОЗДІЛ 3 ПОСЛІДОВНА ПРОЦЕДУРА ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	100
3.1 Оцінювання впливу випадкових величин на вірогідність прийняття рішення.....	100
3.2 Взаємозв'язок вірогідності прийняття рішення та невизначеності вимірювання.....	105
3.3 Підвищення вірогідності оцінки відповідності за рахунок введення захисної смуги.....	109
3.4 Метод послідовного прийняття рішень з фіксованими граничними значеннями.....	114
3.5 Метод адаптивних контрольних граничних значень.....	120
3.5.1 Опис методу адаптивних контрольних граничних значень.....	121
3.5.2 Алгоритм реалізації методу адаптивних контрольних граничних значень.....	123
Висновки за розділом 3.....	124

Список використаних джерел.....	125
РОЗДІЛ 4 АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	129
4.1 Технологічні особливості виробництва печива.....	129
4.1.1 Технологічні параметри та їх вплив на властивості тіста.....	135
4.1.2 Моніторинг вологості.....	137
4.2 Аналіз вимог нормативних документів щодо фасованого товару.....	138
4.2.1 Вимоги нормативно-правової документації.....	138
4.2.2 Вимоги Технічного регламенту щодо деяких товарів, які фасують за масою та об'ємом у готову упаковку.....	141
4.3 Застосування статистичних методів забезпечення якості при фасуванні готової продукції.....	145
4.4 Методика планування (проектування) контролю якості технологічного процесу .....	152
4.4.1 Планування (проектування) контролю точності та стабільності технологічного процесу.....	153
4.4.2 Планування (проектування) тривалості та обсягу процедури контролювання готової продукції .....	154
4.4.3 Планування (проектування) контролю зважування фасованої продукції.....	156
Висновки за розділом 4.....	159
Список використаних джерел.....	159
ВИСНОВКИ.....	162
Додаток А.....	164
Додаток Б.....	168

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Високий рівень якості продукції є ключовим фактором конкурентоспроможності підприємств. Вимоги щодо дотримання відповідного рівня якості продукції є однаковими для всіх підприємств незалежно від форми власності та організаційної структури. Звідси випливає значущість побудови системи управління якістю (СУЯ), яка становить структурну основу для планування, отримання, моніторингу та поліпшення показників діяльності виробництва.

Існуючі СУЯ в основному орієнтовані на великі підприємства, і більшість підходів в даний час апробуються в умовах великого бізнесу, у той час як малопотужні підприємства (МП), не менш ніж великі компанії, зацікавлені та потребують побудови, аналізу та розвитку СУЯ. Натомість, поширені підходи не завжди працюють у МП. На сьогодні, наявні наукові розробки та методичні матеріали не містять навіть рекомендацій, які б враховували особливості малопотужних виробництв. Для них наявність періодичного виробничого процесу малої тривалості, застосування того самого обладнання та засобів вимірювання для виробництва різноманітного асортименту продукції ускладнюють проведення контрольних операцій та обмежує їх в часі. Окрім того, обмежений бюджет та недостатня численність персоналу не дозволяють впровадити повноцінну СУЯ, тому для МП виникає необхідність у плануванні (проектуванні) окремих складових СУЯ, зокрема контролю якості технологічного процесу, починаючи з етапів виготовлення, фасування та закінчуючи оцінкою відповідності готової продукції встановленим вимогам.

Оскільки якість продукції визначальною мірою формується упродовж виробничого процесу, це викликає необхідність ретельного контролю перебігу технології її виготовлення. У цьому разі об'єктом контролю слугує повне дотримання всіх технологічних режимів для забезпечення стабільності параметрів виробництва. Окрім цього, контролювання якості вимагає

фасування готової продукції, що є законодавчо регульованою сферою. Традиційний підхід до виробництва продукції побудований на перевірках показників якості «post-production», тобто, коли бракована продукція вже виготовлена. Для підприємств кондитерської галузі контроль «post-production» є руйнівним, а вироблений брак не є поправним. Тому актуальним є розроблення методів контролю якості, які дозволяють виявити розладнання процесу на початковій стадії його виникнення, що зменшує обсяг та тривалість процедури контролю технологічного процесу та якості виготовленої продукції. Реалізація цих методів дозволить МП підвищити вірогідність контролю параметрів процесу за менший час, що обумовлює зменшення собівартості продукції без втрати її якості.

Отже, за цих умов, особливої актуальності набуває проблема теоретичного обґрунтування та формування методів контролю показників якості в рамках сучасної системи управління якістю та її реалізації шляхом розробки практичних пропозицій та критеріїв забезпечення якості виробництва в умовах МП.

До методики організації контролю технологічного процесу необхідно включати контрольні процедури, ґрунтовані на статистичних методах та спрямовані на попереднє виявлення відхилень технологічного процесу, тобто контролювання його точності та стабільності ще до його завершення та методи, які зменшують обсяг та тривалість процедури контролю та спрямовані на контролювання готової продукції.

Реалізація цих методів дозволить малому підприємству підвищити вірогідність контролю параметрів процесу за менших часових витрат, що обумовлює зменшення собівартості продукції без втрати її якості.

Необхідність теоретичного обґрунтування та розробки практичних пропозицій для проектування методів контролю якості продукції визначили мету та завдання дослідження.



**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Робота виконана на кафедрі автоматизації експериментальних досліджень Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до основних положень Концепції державної політики у сфері управління якістю продукції, процесами та послугами (Розпорядження КМУ № 447-р від 17.08.2002 із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ N 421-р від 29.04.2015) та у рамках ініціативної науково-дослідної роботи «Система моніторингу 3D-принтера», (2016-2018 рр.), державний реєстраційний номер д/р № 0114U004817, за завданням «Особливості оцінювання невизначеності деяких експериментальних процедур».

**Мета дисертаційної роботи** — забезпечення якості продукції в умовах малопотужного підприємства шляхом застосування узагальненого підходу до оцінювання розладнання технологічного процесу та формування критеріїв його раннього виявлення, вдосконалення статистичних методів оцінювання відповідності готової продукції.

Для досягнення цієї мети поставлено такі основні завдання:

- провести аналіз особливостей малопотужних підприємств кондитерської галузі щодо забезпечення якості продукції, обґрунтувати статистичний підхід до контролю точності, стабільності та регулювання технологічного процесу;
- провести аналіз чутливості контрольних карт з метою узгодження часового інтервалу між контрольними вибірками та тривалістю технологічного процесу виробництва продукції на малопотужному підприємстві;
- розробити узагальнений підхід із застосуванням карт Шухарта, спрямований на виявлення розладнання технологічного процесу на початку його виникнення, сформулювати критерії виявлення розладнання;

- вдосконалити існуючі та розробити нові методи оцінки відповідності готової продукції з метою зменшення ризику прийняття помилкового рішення та запобігання втратам виробника;

- розробити рекомендації до статистичного оцінювання фактичного вмісту виготовленої продукції при її фасуванні та пакуванні;

- розробити методику планування (проектування) контролю якості технологічного процесу як елемента СУЯ на МП кондитерської галузі.

*Об'єкт дослідження* – процес забезпечення якості виготовлення продукції на малопотужному кондитерському підприємстві.

*Предмет дослідження* – методи та алгоритми контролю якості продукції на всіх стадіях її життєвого циклу.

**Методи дослідження.** Розв'язання поставлених завдань виконано з використанням основних положень теорії оцінювання показників якості; дослідження чутливості контрольних карт – методами математичного аналізу, перевірки статистичних гіпотез; оцінювання мінливості та стабільності технологічного процесу проведено із застосуванням теорії ймовірностей та статистичного аналізу; послідовне виявлення невідповідностей технологічного процесу методами адаптивного контролю, теорії прийняття рішень, концепції невизначеності. Статистичну інформацію оброблено за допомогою пакета MS Excel та MathCAD.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у теоретичному обґрунтуванні та подальшому розвитку методів забезпечення якості продукції на етапах її життєвого циклу, а саме:

1. Вперше досліджена чутливість контрольних карт технологічного процесу, за результатами чого розроблені додаткові рекомендації щодо їх застосування з максимальною чутливістю до змін технологічного процесу.

2. Вперше запропоновано метод сполучення елементарних подій, який відрізняється від відомих застосуванням біноміальної моделі для встановлення додаткових критеріїв виявлення розладнання технологічного

процесу на початковому етапі; введено у науковий обіг коефіцієнт оперативності критерію розладнання технологічного процесу.

3. Дістав подальшого розвитку метод захищеного приймання щодо відповідності продукції шляхом формування вирішального правила за покроковим уточненням відповідності контрольованої величини, результат вимірювання якої потрапив у захисну смугу, довжиною, пропорційною невизначеності вимірювання, що дозволяє зменшити ризик прийняття помилкового рішення та запобігає втратам виробника.

4. Вперше запропоновано метод адаптивних контрольних границь при оцінюванні відповідності продукції, який відрізняється можливістю поетапного збільшення приймальних границь в межах поля допуску на контрольований параметр для об'єктів з різною довжиною інтервалу приймання, відповідність яких не була встановлена на попередніх етапах, що забезпечує нормоване значення ймовірності відповідності продукції.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що їх використання на кондитерському МП дозволяє:

- надійно та оперативно виявляти стан неналежної точності та стабільності технологічного процесу за відносно малої його тривалості та підтримувати процес в стані статистичної керованості шляхом застосування контрольних карт з максимальною чутливістю до змін технологічного процесу та обґрунтованим встановленням інтервалів між вибірками;

- підвищити вірогідність оцінки відповідності однономенклатурної партії продукції шляхом застосування диференційованого підходу до оцінки стану об'єкта за рахунок розвинутого в роботі методу захищеного приймання;

- підвищити вірогідність оцінки відповідності багатноменклатурної партії продукції та уникнути зайвих втрат виробника шляхом застосування розробленого методу адаптивних контрольних границь.

Розроблена методика контролю якості виготовлення продукції може бути покладена в основу планування (проектування) контролю якості при

впровадженні елементів СУЯ на кондитерському МП та не вимагає додаткового підвищення кваліфікації працівників на відповідному етапі.

Основні наукові положення дисертації доведено до рівня практичних рекомендацій та розробленої методики контролю технологічного процесу, що впроваджена на ТОВ «Фабрика «Світязь» м. Києва, результати дослідження впроваджено у навчальний процес кафедри автоматизації експериментальних досліджень, про що є відповідні акти, наведені у Додатку Б дисертації.

Практичну цінність отриманих результатів підтверджують зменшені нормативні втрати сировини при виробництві продукції та кількість повернень продукції з торгових мереж з причин неналежної якості на 2...3 процентних пункти.

**Особистий внесок здобувача.** Постановка завдань досліджень, розробка методів, підходів до її вирішення та обговорення одержаних результатів здійснювались спільно з науковим керівником. Роботи [5, 8-12] написані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать: [1] – побудова експериментальних залежностей змін середньої довжини вибірки від рівня статистичної значущості та числа вибірових даних до кожної контрольної точки; [2,3,] – дослідження ймовірності виникнення розладнання технологічного процесу за нормального та біноміального законів розподілу експериментальних даних та розроблення узагальненого алгоритму діагностування змін технологічного процесу; [4] – розробка алгоритму реалізації адаптивного послідовного методу; [6] – аналіз принципів побудови карт середнього значення та розмаху; [7] – аналіз залежності ймовірності прийняття рішення від показника вимірювальних можливостей;

**Апробація дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися на семи міжнародних, всеукраїнських науково-технічних та науково-практичних конференціях, дві з яких за межами України, зокрема: «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та

перспективи», (Львів, 2017); 27<sup>th</sup>, 28<sup>th</sup> International scientific symposium «Metrology and metrology assurance», Sozopol, Bulgaria (2017, 2018 pp.); «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», (Вінниця, 2017), «Technical Using of Measurement», (Славське, 2018); «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», (Чернігів, 2018), «Системи – 2018» (Львів, 2018).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 12 наукових праць, у тому числі: 5 – у наукових фахових виданнях України, з яких 4 входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 7 – тези доповідей в збірниках конференцій, з них 2 – у закордонних (Proceedings).

**Структура та обсяг дисертації.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (103 найменування) та 2 додатків. Загальний обсяг роботи складає 169 сторінок, з яких 136 сторінок основного тексту, 33 рисунки, 6 таблиць.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ НА МАЛОПОТУЖНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

У розділі із сучасних позицій проаналізоване поняття «якості». Показано, що для створення продукції належної якості, що характеризується власними та наданими властивостями, необхідно здійснювати комплексний підхід, а методи забезпечення, управління, контролювання якості мають проектуватися на всіх стадіях життєвого циклу продукції. Проведено аналіз особливостей щодо забезпечення якості продукції на малопотужних підприємствах та встановлені чинники, що гальмують процес досяжності належної якості продукції. Проаналізовано особливості методів забезпечення якості на малопотужному кондитерському виробництві та намічені шляхи їх удосконалення. Розглянуто методи та засоби контролю якості продукції та встановлено, що статистичні методи є найбільш обґрунтованими та достовірними. Запропоновано проведення проектування складової системи управління якістю – контролю якості з метою запобігання виникнення проблемних ситуацій та своєчасного виявлення розладнання технологічного процесу на основі статистичних методів.

#### **1.1 Сучасне трактування поняття «якості»**

Відомо, що якість є основою для удосконалення продукції, а, отже, розвитку матеріальної культури. Поняття та принципи управління якості дають змогу організації сприймати виклики, що їх ставить середовище, яке докорінно змінилося за останні десятиліття. Середовище, у якому організація працює сьогодні, характеризується швидкими змінами, глобалізацією ринків та перетворенням знання на головний ресурс. Вплив якості виходить за межі

задоволеності замовника: це може також безпосередньо впливати на репутацію організації [1].

Існує безліч різних трактувань поняття «якості». Таке різноманіття трактувань обумовлено різноманітністю явищ та процесів людського буття, формуванням потреб, станом виробництва та споживання продукції. Кожен період розвитку суспільства вносить своє розуміння, підхід та опис якості. Можна вважати, що якість — це змінна у часі [2]. Отже поняття «якості» з часом вимагає нового доповнення своєї суті. Є спроби трактування цього поняття відомих фахівців у галузі якості наприклад, Е. Демінг вважає, що має бути забезпечений такий рівень якості, на який розраховує ринок [3]. Взагалі теорії Е. Демінга, Дж. Джурана, Ф. Кросбі, К. Ісікави, А. Фейгенбаума, Т. Тагуті [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], мали величезний вплив на економіки цілих країн та саме вони, на відміну від соціально-економічних доктрин минулого, мають узагальнений характер, виявляючи та об'єднуючи все найцінніше у досвіді компаній різних країн.

Термін «якість», згідно з ISO 9000 [1], означає ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги. Це визначення є неоднозначним та вимагає додаткових пояснень, а відомо, що невірне розуміння термінів та відповідних визначень тягне за собою низку проблем на підприємстві.

Сучасний стандарт [1] розширює поняття «якості» відповідно до рівня розвитку суспільства. Організація, орієнтована на якість, сприяє формуванню культури, що має результатом поведінку, ставлення, діяльність і процеси, які додають цінність через задоволення потреб і очікувань замовників й інших відповідних зацікавлених сторін. Якість продукції та послуг організації визначаються здатністю задовольняти замовників, а також передбаченим і непередбаченим впливом на відповідні зацікавлені сторони. Якість продукції та послуг охоплює не тільки їхні передбачені функції та характеристики, але також їхні сприймані цінності та користь для замовника.

Аналіз становлення поняття «якості» говорить про розуміння важливості становлення поняття «управління якістю». Управління якістю продукції – це досягнення певного (необхідного) рівня продукції шляхом формування політики, встановлення цілей у сфері якості, процесів, щоб досягати цих цілей через планування якості, забезпечення, контролювання та поліпшування якості.

На цьому шляху важливим моментом є оцінювання якості. На сьогодні, стандарт з оцінювання якості ДСТУ 2925-94 [11] відмінений, а стандартом [1] взагалі не передбачено інструментів щодо оцінювання якості (рівня якості). Немає інформації про те, як і для чого проводити оцінювання якості продукції. Таке становище свідчить про необхідність переосмислення поняття «оцінювання якості». Серед інструментів оцінювання якості зустрічається здебільшого кваліметричний підхід, що базується на обрахунках комплексного показника якості та його одиничних складових чи за допомогою експертних та інших методів [12]. Ці підходи на сьогодні є мало інформативними та не мають наукової цінності. Вони мали місце, коли потреба в оцінюванні якості була обґрунтована цінами на продукцію, якій присвоювали умовну градацію – сорт (гатунок) [2]. Отже, оцінювання якості в теперішній ринковій ситуації носить інший зміст. Теорії такого оцінювання на сьогодні немає, тому актуальним є, в першу чергу, змінити сам підхід до поняття «якості», та встановити, чи можливо взагалі її оцінити так, щоб оцінка мала реальний зміст.

Можна передбачити, що оцінити якість продукції можна за установленим стандартом [1] терміном «власна характеристика» яка, на відміну від «надаваної», означає наявність певних властивостей у чомусь, саме як постійна характеристика. Мається на увазі, що ці характеристики записані у документах на продукцію, процеси, послуги та фактично є вимогами до них.

Надавану характеристику продукту, очевидно, присвоюють споживачі продукції: держава, чи, окремий споживач, виходячи з своїх потреб та



мотивацій. Тоді виникає питання, яким чином можна оцінити якість одного й того ж виробу з однаковими власними характеристиками та з відмінними наданими? Окрім інших ознак, такі індивідуальні вимоги, як потрібність, вартість, сезонність, моду, свій особистий стан (змінювалися погодні умови і постала необхідність придбати, наприклад, рукавиці). І це власне формує якість продукції, яку хоче придбати споживач. Покупець може сформулювати свої вимоги до продукції, коли її побачив. Ця продукція задовольнила вимоги покупця за тільки йому відомими критеріями, і для нього цей товар є якісним [2]. Це ще раз підтверджує, що непросто коректно оцінити якість продукції.

Надалі проблема якості не спрощуватиметься, а ставатиме складнішою. Тому вирішувати її вчорашніми традиційними методами практично неможливо. Потрібні нові теорії, нові рішення, нові обґрунтовані теорії.

На сьогодні, завдання та заходи з підвищення якості продукції необхідно розробляти з урахуванням результатів аналізу якості продукції, що випускається, виходячи з потреб платоспроможного ринку в продукції певної якості; основних напрямків розвитку галузі; прогнозування технічного розвитку; вимог прогресивних стандартів тощо.

Таким чином, проблема досяжності належної якості продукції є комплексною: науковою, технічною, економічною та соціальною, незалежно від приналежності підприємства, великий, малий чи середній бізнес воно представляє, бо загальні принципи організації та забезпечення високої якості продукції єдині.

## **1.2 Особливості малого та середнього підприємництва у досяжності якості продукції**

На успіх у споживача можуть розраховувати тільки ті виробники, які спроможні оперативно задовольняти різні та досить нестабільні потреби споживачів. Якість продукції, що виробляється є одним з найважливіших засобів у конкурентній боротьбі всіх учасників ринку, включаючи

малопотужні підприємства. Постійне поліпшення якості продукції підприємств безпосередньо пов'язане з їх економічною стабільністю. Сектор малого та середнього підприємництва (МСП), до якого належать малопотужні виробничі підприємства, є визнаною у всьому світі рушійною силою, що генерує національне багатство шляхом створення нових робочих місць, зростання валового внутрішнього продукту, а також стимулювання розвитку конкурентоспроможності та інноваційного потенціалу економіки [13]. В окремих державах до них відносять різні за кількістю працівників осіб – у США та країнах ЄС до 500 осіб, в Україні – від 50 до 200 осіб.

Основними їх перевагами є:

1. Низькі витрати на управління та раціональна організаційна структура. МСП є тією частиною економіки, де найбільш послідовно впроваджується принцип господарської самостійності й самоврядування, освоюються найрадикальніші шляхи активізації діяльності трудового колективу. На таких підприємствах поширене поєднання професій та посад. Це зумовлено необхідністю у деяких випадках взаємозамінювання у процесі виробництва, що, своєю чергою, сприяє кращому використанню робочого часу, вдосконаленню професійних навичок, мінімізації апарату управління.

2. МСП сприяють подальшому розвитку науки, технічному прогресу, є важливим джерелом інновацій. Їх висока ефективність у створенні нової техніки та технології досягається завдяки мобільності управління, швидкості прийняття рішень, концентрації зусиль в одному напрямі, залученню висококваліфікованих спеціалістів, фінансовій підтримці великих підприємств, які сподіваються використати результати діяльності МСП.

3. МСП не потребують значного стартового капіталу, мають невисокі експлуатаційні витрати, тому швидко розпочинають виробництво, заповнюючи ринок товарами (послугами), забезпечують додатковими доходами значну частину населення й створюють нові робочі місця.

4. Висока оборотність ресурсів, можливість використання місцевих сировинних ресурсів та відходів виробництва, що для великих виробничих

підприємств є економічно не вигідним. На МСП більш ефективно використовується робоча сила та устаткування, нижчий рівень запасів, порівняно з великими підприємствами, де виробничі потужності використовуються менш ніж наполовину. Існує можливість зменшення витрат й за рахунок вузької спеціалізації виробництва.

5. Підприємницьке ставлення до діяльності: підприємця спонукає найбільш сильний варіант мотивації до праці. Його основу становить найбільша серед усіх верств економічно активного населення матеріальна зацікавленість у результатах своєї діяльності внаслідок збігу економічних та психологічних мотивів праці.

6. Маневреність та гнучкість в управлінні й організації виробництва, здатність легко пристосуватися до зміни попиту. МСП швидше реагують на потреби споживача, перебудовують діяльність та перелагоджують виробництво для випуску нової продукції, сподіваючись отримати доходи більші, ніж конкуренти.

З іншого боку, невідповідність між значною кількістю МСП, чисельністю зайнятих на них працівників, з одного боку, та відносно незначною часткою валового доходу, внеску у створення товарів та послуг – з іншого, пояснюється такими чинниками:

1. МСП є досить нестійкими. Статистичні дослідження, проведені в США та інших країнах, засвідчують, що зі 100 підприємств, які розпочинають діяльність одночасно, у перший рік свого існування зазнають невдачі 20 %; у другий – 17 %; наприкінці третього року продовжують функціонувати близько половини підприємств, а наприкінці п'ятого – лише 33 % [14]. Ще більш нестійкими є МСП України.

2. Значний комерційний ризик, пов'язаний із залученням особистих коштів власників МСП. Водночас їм не під силу здійснення великих, капіталомістких науково-технічних програм; вони обмежені у доступі до капіталу та сировини, у можливостях вивчення ринку збуту.

3. Суб'єкти МСП значно чутливіші до економічних коливань. У зв'язку з цим, розвиток МСП залежить від загальної макроекономічної стабільності у державі, стану її економіки, рівня стабільності економічної кон'юнктури. Як показує світовий досвід, на стадії економічного спаду, в умовах економічної кризи, частка МСП, що банкрутують, у 2...5 разів більша, ніж великих [15]. Ці фактори впливають також на кількість новостворених підприємств.

4. Вразливість МСП до негативного впливу зовнішніх факторів: інфляції, коливань цін, умов кредитування, змін в оподаткуванні тощо. Функціонування МСП значною мірою залежить від рівня інфляції, адже розрив у цінах на час придбання сировини та реалізації продукції спричиняє для них великі фінансові труднощі. МСП зазнають значних труднощів із фінансуванням, отриманням кредитів, нестачею оборотних коштів, заборгованістю.

5. У МСП нижча продуктивність праці й прихована інтенсифікація внаслідок тривалого робочого дня, використання сімейної праці. Водночас МСП зазвичай звертають менше уваги на умови праці та техніку безпеки. Наймані працівники обмежені у можливості підвищення свого кваліфікаційного рівня. Негативним моментом є відсутність профспілок, а також тих прав в управлінні виробництвом, які відстоюють наймані працівники великих підприємств.

6. МСП характеризуються промонопольною політикою «ножиць» цін (завищених на товари та послуги крупних підприємств та занижених у МСП); певною мірою дискримінаційними контрактними відносинами значної кількості МСП з гігантськими компаніями.

7. Проблеми в області маркетингу та збуту. Для виробничих підприємств характерне фокусування уваги в першу чергу на процесі виробництва продукції, як найбільш складному в технічному плані. Однак у сучасних умовах збут продукції у повному обсязі гарантувати неможливо.

8. Проблеми в області кадрового забезпечення. Проблеми в галузі фінансового забезпечення несуть за собою й ще одну проблему – низьку

заробітну плату працівників і, отже, неможливість залучити й утримати кваліфіковані кадри. На жаль, більшість МСП мають слабкий рівень підготовки кадрового резерву, та й навчання персоналу взагалі, оскільки це також вимагає певних грошових витрат. Нерідко зустрічається відсутність належного досвіду керівництва МСП.

9. Організаційно-управлінські проблеми. Документуванню як правил функціонування процесу та процедур, так і планів та фактів господарської діяльності приділяється недостатня увага. Всі ці проблеми безпосередньо пов'язані або впливають на якість продукції, що випускається.

Серед усіх суб'єктів МСП найбільші проблеми мають малопотужні підприємства (МП) виробничої сфери. Невелика чисельність управлінського персоналу на МП не дозволяє створювати повноцінну функціональну структуру управління організацією, в тому числі й якістю. Організувати службу з якості – це не тільки додаткові накладні витрати для підприємства, які обмежені, але й неефективні з точки зору участі служби у виконанні програми випуску та збуту продукції. Організація робіт з управління якістю продукції на МП ведеться зазвичай на рівні керівників бригад, ділянок, які забезпечують організацію бездефектного виготовлення продукції. Ще більш важлива проблема – у МП часто немає того бюджету на проект з впровадження вимог ISO 9001, який зазвичай є у великого підприємства.

Однією з проблем МП, є відсутність адаптованих відповідно до їх потреб методик розробки та впровадження системи менеджменту якості, спрямованої на вдосконалення діяльності підприємства в області якості.

Таким чином, багато хто з виробничих малопотужних підприємств явно потребують постановки системи регулярного менеджменту, й її відсутність є серйозною проблемою для підприємств.

### **1.3 Аналіз методів забезпечення якості на малопотужному підприємстві кондитерської галузі**

На кожному етапі кондитерського виробництва має бути забезпечений суворий контроль якості від сировини, що використовується до готової продукції, адже від того, наскільки налагоджений виробничий процес, залежить якість кінцевого продукту. Кожен технологічний процес таких виробництв є багатостадійною системою з послідовно-паралельним видом руху матеріального потоку [16], на кожному окремому етапі якого виникає задача контролю показників якості. Це викликає необхідність контролю перебігу технології її виготовлення.

Контроль будь-якого процесу завжди починається з його ретельного опису. Для кондитерської галузі – це рецептура виробу, обладнання, що використовується та його параметри, тривалість замішування тіста, його температурні показники та інше. Особливістю процесів виробництва є наявність значного числа різних фізико-хімічних, фізичних, біохімічних, теплових і ін. методів впливу на сировину, напівфабрикати і готову продукцію, що вимагають особливої чіткості ведення процесів і оптимального режиму управління. Технологічні процеси приготування кондитерських виробів визначаються багатостадійністю та значною складністю; різноманіттям і нестабільністю режимів на різних стадіях технологічного процесу виробництва. Об'єктом контролю тут слугує повне дотримання всіх технологічних режимів. Факторами, що суттєво впливають на якість продукції є визначення критичних точок контролю (КТК); встановлення критичних меж для кожної КТК; встановлення процедур моніторингу; розробка коригувальних дій; встановлення процедур обліку і ведення документації; становлення процедур перевірки кінцевої продукції тощо [17].

На великих харчових підприємствах засоби контролю і регулювання вбудовані у потужні виробничі лінії, що дозволяє постійно здійснювати технологічний моніторинг. Сигнали про відхилення від заданих

характеристик кінцевого продукту надходять на ранні технологічні стадії, де автоматично виконується корекція тих чи інших параметрів. Для малопотужного підприємства контроль готової продукції, як правило, проводиться власними силами та засобами, а для підприємств кондитерської галузі – це руйнівний контроль, в процесі якого готова продукція повністю втрачає свої властивості [18]. На сьогодні, жодна лінія з виробництва кондитерських виробів на малопотужних підприємствах України ще не здатна забезпечити повністю автоматичне управління технологічним процесом. Причини полягають у великій кількості технологічних змінних і значному розходженні між виробами [19]. Відповідні датчики і програми контролювання окремих параметрів існують, але моделювання технологічних процесів – завдання складне, вимагає узгодження багатьох факторів. Наприклад, на малопотужних підприємствах практично немає установок, що випускають виключно один продукт, оскільки продукція випускається малими партіями, але у великому асортименті. Крім того, конструйовані вони без урахування можливостей автоматичного управління, мають занадто багато потенційних контрольних точок, що вимагає оптимізації параметрів технологічного процесу. Наприклад, якщо прийняти, що зміна кольору при випічці може регулюватися шляхом управління температурою печі, зміною рецептури, маси тістової заготовки й деякими іншими факторами, то стає зрозумілим, що впровадження простого замкнутого кола управління зі зміною тільки умов випічки може призвести скоріше до виникнення проблем, ніж до поліпшення ситуації [20].

Ретельно зроблений опис процесу при роботі без збоїв дає технологам еталон, з яким можна порівнювати дані у випадку виникнення різного роду відхилень. При цьому слід враховувати, що окремі параметри технологічних операцій можуть бути задовільними, але якщо оцінювати виробничий процес в цілому, деякі поєднання параметрів можуть свідчити про його розладнання.

Слід зазначити, що повністю визначити та перевірити всі характеристики кондитерських виробів неможливо, особливо на

малопотужних підприємствах. Необхідно, щоб виробничий персонал дуже уважно відслідковував будь-які зміни у технологічному процесі. Тому постає завдання запровадження методів та засобів контролювання процесів, що забезпечують більшу ефективність та достовірність їх результатів.

#### **1.4 Проблеми розроблення системи управління якістю для малопотужного підприємства**

Кращі результати роботи будь-якої організації можна отримати при використанні системних підходів в управлінні, в тому числі в управлінні якістю. Система управління якістю (СУЯ) призначена для постійного поліпшення діяльності, для підвищення конкурентоспроможності організації на вітчизняному та світовому ринках та є частиною системи менеджменту організації. Це сукупність організаційної структури, методик, процесів та ресурсів, необхідних для загального керівництва якістю. Сучасні СУЯ регламентуються стандартами ISO серії 9001 [21] та базуються на принципах TQM [22, 23]. Різні частини системи менеджменту організації можуть бути інтегровані разом із системою управління якістю в єдину систему менеджменту, яка використовує спільні елементи.

Стандарти ISO 9001 пропонують методику побудови такої системи, яка може бути офіційно сертифікована [24]. Слід підкреслити, що сертифікація СУЯ на відповідність стандартам у всьому світі здійснюється для будь-якої організації незалежно від профілю та величини. Як правило, причинами, що спонукають організацію впроваджувати й сертифікувати СУЯ, є бажання підвищити свою конкурентоспроможність. Багато замовників – споживачів продукції вважають за краще взаємодіяти з організаціями, що мають СУЯ, перевірену незалежним органом із сертифікації.

На малопотужних підприємствах для реалізації вимог стандартів ISO серії 9001 доводиться розподіляти функції між невеликим числом підрозділів або співробітників. А це завдання може виявитися не з простих, коли



необхідно шукати компроміс при зіткненні інтересів співробітників і виконуваних ними функцій. Ще одним важливим етапом є аналіз існуючої документації на її адекватність СУЯ. Важливо уникнути бюрократизації та ускладнення СУЯ. Відповідно до вимог ISO серії 9001 в комплекті документів СУЯ обов'язковим є Настанова з якості. Для малої організації доцільно дати в Настанові повний опис СУЯ, включаючи всі необхідні [21] задокументовані методики. В МП дані процедури можуть бути нескладними, і їх опис займати невеликий обсяг, тому їх можна зробити складовою частиною Настанови з якості або об'єднати в один або кілька документів.

Існуючі методики впровадження СУЯ в основному орієнтовані на великі підприємства, і більшість підходів в даний час апробуються в умовах великого бізнесу. У той же час МП, не менше ніж великі компанії, зацікавлені та потребують побудови, аналізу та розвитку СУЯ, однак, поширені підходи не завжди працюють у МП.

Стандарт ISO серії [1] вказує на необхідність використання статистичних методів на всіх стадіях створення та управління продукцією, що стимулює підвищення якості продукції та зростання прибутку, сприяючи розвитку організації. Однак, МП найчастіше застосовують статистичні методи тільки для контролю якості готової продукції, вельми рідко використовуючи їх в проектуванні, плануванні та управлінні виробництвом.

Суттєва відмінність ISO 9001:2015 від попередньої версії стандарту – явне застосування ризик-орієнтованого мислення, яке дає змогу організації визначати чинники, які можуть спричиняти відхилення її процесів та її системи управління якістю від запланованих результатів, щоб встановлювати запобіжні заходи контролю для мінімізації негативних впливів і максимального використання можливостей, по мірі їх виникнення.

## **1.5 Контроль якості – невід’ємна складова системи управління якістю**

Система контролю якості – частина системи управління якістю, орієнтована на контроль виконання вимог до якості. Не кожне МП може організувати систему контролю якості продукції. Контроль готової продукції, як правило, проводиться власними силами та засобами. При призначенні схеми контролю якості виходять не тільки з наявних ресурсів та можливостей у підприємства, але й з того, що воно зобов’язане виконати встановлені вимоги та, найважливіше, – підтвердити факт їх виконання. Від обраної схеми технічного контролю продукції безпосередньо залежить контроль за веденням технологічного процесу.

На великих підприємствах є конструктори та технологи, виконавці технологічної операції, майстер та контролер, а на МП – один головний або технічний директор, виконуючий функції і конструктора, і технолога, і директора, або ж майстер виконує функції контролера. Як правило, відповідальність за організацію та функціонування системи контролю якості покладається на виробничі підрозділи, окремих фахівців і контроль з боку самих робітників. У цьому випадку кожне робоче місце може стати пунктом перевірки якості.

### **1.5.1 Методи та засоби контролю якості продукції й процесів її виготовлення**

Контроль є основною формою оцінки якості. Контроль якості, як і будь-який контроль, включає два елементи: отримання інформації про фактичний стан об’єкта (для продукції – про її якісні та кількісні характеристики) та зіставлення отриманої інформації з встановленими вимогами з метою визначення відповідності, тобто отримання вторинної інформації.

Якість продукції оцінюється за сукупністю показників, які є елементом системи оцінки якості та вибір яких визначається видом продукції. Система

показників якості продукції необхідна для відображення економічної сутності якості через технічні характеристики та властивості.

Таким чином, контроль якості продукції зводиться, в основному до контролю кількісних і (або) якісних характеристик продукції (показників якості), які можна отримати різними методами.

До об'єктивних методів визначення показників якості можна віднести:

А. Інструментальний метод визначення чисельних значень показників якості, заснований на інформації, одержуваної при використанні операції вимірювання, аналізу, випробування. Основними перевагами методу є його об'єктивність та точність. Цей метод дозволяє отримувати легко відтворювані числові значення показників якості, які виражаються у конкретних одиницях: грамах, літрах, ньютонках.

Вимірювання як самостійна процедура є об'єктом метрології. Аналіз продукції, зокрема структури та складу матеріалів і сировини, здійснюється аналітичними методами: хімічним, мікробіологічними, мікроскопічним аналізом тощо. Випробування – технічна операція, яка полягає у визначенні однієї чи декількох характеристик даної продукції, процесу чи послуги відповідно до встановленої процедури. При випробуванні можуть застосовуватися різні методи визначень характеристик продукції та послуг: вимірювальні, аналітичні, реєстраційні (встановлення відмов, пошкоджень), органолептичні (визначення характеристик за допомогою органів почуттів) [25].

До недоліків цього методу слід віднести складність та тривалість деяких вимірювань, необхідність спеціальної підготовки персоналу, придбання складного, часто дорогого устаткування, а в ряді випадків й необхідність руйнації зразків. Метод у багатьох випадках вимагає виготовлення стандартних зразків для випробувань, суворого дотримання загальних та спеціальних умов випробувань, систематичної перевірки засобів вимірювання. При використанні отриманих результатів слід враховувати, що результати вимірювань дають близьке значення вимірюваної величини, тобто можуть містити похибки.

Б. Реєстраційний метод, заснований на спостереженні та підрахунку числа певних подій, випадків, предметів чи витрат. Цим методом визначають, наприклад, кількість відмов за певний період експлуатації виробу, витрати на створення та (або) використання виробів, число різних частин складного виробу (стандартних, уніфікованих, оригінальних, захищених патентами), кількість дефектних виробів в партії.

Недоліком цього методу є його трудомісткість та у ряді випадків тривалість проведення спостережень. У товарознавстві цей метод широко застосовується при визначенні показників довговічності, безвідмовності, зберігання, стандартизації та уніфікації, а також патентно-правових показників.

В. Розрахунковий метод, заснований на отриманні інформації розрахунком. Показники якості розраховуються за математичними формулами, за параметрами, знайденими іншими методами, наприклад вимірюванням. Розрахунковий метод використовують при проектуванні та конструюванні виробу, коли він ще не може бути об'єктом інструментальних досліджень. Часто розрахунковий метод використовують для прогнозування або визначення оптимальних (нормативних) значень, наприклад, показників безвідмовності. Розрахунковий метод дуже часто використовують при проведенні непрямих вимірювань.

Г. Метод дослідної експлуатації, що є різновидом реєстраційного методу. Його використовують, як правило, для визначення показників надійності, екологічності, безпеки. У процесі реалізації цього методу вивчається взаємодія людини з виробом в конкретних умовах його експлуатації або споживання, що має велике значення, оскільки вимірювальні методи не завжди дозволяють повністю відтворити реальні умови.

Перевагою цього методу є висока точність та достовірність значень показників якості, а недоліками – тривалість та значні витрати, а в деяких випадках складність моделювання умов експлуатації.

Д. Евристичний метод. До евристичних методів визначення показників якості можна віднести наступні.

– Органолептичний метод, заснований на використанні інформації, одержуваної в результаті аналізу відчуття та сприйняття з допомогою органів почуттів людини – зору, нюху, слуху, дотику, смаку. При цьому методі не виключається використання деяких технічних засобів (крім вимірювальних та реєстраційних), які дозволяють підвищувати здібності органів почуттів людини, наприклад, лупи, мікрофона з підсилювачем гучності і т.д.

Органолептичний метод простий, завжди використовується першим, часто виключає необхідність використання вимірювального методу, як більш дорогого, вимагає малих витрат часу. Крім доступності та простоти цей метод незамінний при оцінці таких показників якості, як запах, смак.

До різновидів цього методу відносять сенсорний аналіз, що застосовується для оцінки якості продуктів харчування та в результаті якого визначають колір, смак, запах, консистенцію харчових продуктів; дегустаційний метод, який передбачає апробування харчових продуктів. Результати дегустації залежать від кваліфікації експерта, дотримання умов дегустації.

Незважаючи на істотні переваги органолептичного методу, він має недолік, що виражається у його суб'єктивності. Очевидно, що точність та достовірність значень показників якості, визначених даним методом, залежить від здібностей, кваліфікації, навичок та індивідуальних особливостей людей, що визначають відповідні параметри властивостей продукції.

– Експертний метод, заснований на урахуванні думок фахівців-експертів. Цей метод застосовують в тих випадках, коли показники якості не можуть бути визначені іншими методами через недостатню кількість інформації, необхідності розробки спеціальних технічних засобів і т.п.

Експертний метод є сукупністю кількох різних методів, які являють собою його модифікації. Відомі різновиди експертного методу

застосовуються там, де основою є колективне рішення компетентних людей (експертів).

– Соціологічний метод, заснований на зборі та аналізі думок споживачів, здійснюється усним опитуванням, поширенням анкет, організацією виставок-продажів, конференцій, аукціонів. Для отримання достовірних результатів потрібні науково обґрунтована система опитування, а також методи математичної статистики для збору й обробки інформації. Для обробки отриманої інформації потрібно враховувати середній бал та кількість потенційних покупців, які за даний зразок висловилися. Потім визначають суми балів кожного з параметрів та загальну суму балів. Далі оцінюють коефіцієнти вагомості кожного параметра й перевіряють результати підсумовуванням.

Ж. Можна виокремити комплексний метод оцінки рівня якості продукції, який здійснюється з використанням комплексних (узагальнених) показників якості. Комплексний показник характеризує сукупність взаємопов'язаних властивостей (складна властивість) зі всієї безлічі властивостей, що утворюють якість продукції та виражається одним числом, що дозволяє на практиці порівнювати значну кількість показників якості продукції з такою ж кількістю базових показників. Він відображає таку сукупність властивостей продукції, за якої прийнято рішення оцінювати якість продукції.

Слід звернути увагу, що комплексна оцінка не дає уявлення про окремі властивості продукції; комплексні показники можна отримувати за різного поєднання одиничних показників. Тому комплексні показники повинні доповнювати, а не замінювати окремі показники якості.

3. Стандартом [1] рекомендуються статистичні методи контролю та управління якістю продукції як найбільш обґрунтовані та достовірні. В даний час для аналізу та управління якістю продукції в системі контролю якості сформувалися основні напрямки застосування статистичних методів: аналізу якості, регулювання технологічних процесів, контролю якості, оцінки якості.

Якість продукції залежить від значної кількості взаємопов'язаних та не залежних один від одного факторів, що мають як закономірний, так і випадковий характер. Статистичний аналіз якості застосовується для встановлення властивостей випадкового процесу в конкретних умовах виробництва [26].

Методи математичної статистики дозволяють із заданою вірогідністю проводити оцінку якості виробів. Статистичні методи сприяють скороченню витрат часу на контрольні операції та підвищення ефективності контролю. При проведенні статистичного контролю приймається рішення про приймання чи бракування всієї партії продукції за результатами контролю вибірки. Дані методи дозволяють значно скоротити трудовитрати і обсяги роботи по контролю партій. Це пов'язано з тим, що контролюється від 5 до 15% від всієї партії [27]. Використання статистичних методів знайшло відображення в стандартах [28, 29, 30].

Засоби контролю – це технічні пристрої, речовини, матеріали тощо, необхідні для проведення контролю [31]. Зазвичай, вимоги до засобів контролю якості встановлюють в стандартах на правила приймання продукції та в документах, що описують правила проведення випробувань, вимірювань та аналізу даних. Засоби контролю можна класифікувати за такими ознаками:

- за способом отримання інформації;
- за вимогами до контрольованого параметру;
- за вимогами до точності засобу контролю;
- за конструкцією засобу контролю.

Як правило, вид та конструкція засобів контролю обумовлені необхідністю отримання тих чи інших даних в результаті проведення того чи іншого виду контролю. Наприклад, візуальний та органолептичний контроль використовують для отримання інформації про відповідність продукції органам почуттів людини, а в якості допоміжних засобів використовують різні оптичні, механічні, хімічні та ін. засоби контролю, що дозволяють мінімізувати суб'єктивність оцінки, або посилити основні засоби контролю (органи чуття).

Найбільш досконалий вид контролю – інструментальний – вимагає застосування досить точних засобів контролю. При проведенні контролю повинні бути регламентовані умови, при забезпеченні яких можна виконувати контроль.

### **1.5.2 Оцінка та аналізування результатів контролю якості**

Оцінка та аналіз результатів контролю якості продукції проводиться: з встановленою періодичністю (1-2 роки) з метою розробки поточних планів організаційно-технічних заходів щодо подальшого підвищення ефективності контролю якості продукції в обов'язковому порядку – при атестації виробництва, сертифікації системи менеджменту якості тощо. За рішенням самого підприємства можуть проводитися цільові роботи з оцінки та аналізу вимірювань, контролю, випробувань у виробництві нових видів продукції, при освоєнні нових технологій. Така оцінка необхідна для об'єктивного вибору і прийняття управлінських рішень при стандартизації та сертифікації продукції, плануванні підвищення її якості тощо.

Основне завдання контролю якості – не допустити появи браку. Тому в ході контролю проводиться постійний аналіз заданих відхилень параметрів продукції від встановлених вимог. У тому випадку, якщо параметри продукції не відповідають заданим показниками якості, система контролю якості допоможе оперативно виявити найбільш ймовірні причини невідповідності та усунути їх. Якщо виробництво носить одиничний або малосерійний характер, то можна піддати продукцію суцільному контролю [28,31]. Суцільний контроль, як правило, є досить трудомістким та дорогим, тому у масовому виробництві зазвичай застосовують так званий вибіркового контроль, піддаючи перевірці лише частину партії продукції (вибірку) [32, 33]. Якщо якість продукції у вибірці відповідає встановленим вимогам, то вся партія вважається якісною, якщо ні – вся партія бракується. Однак за такого методу контролю зберігається ймовірність помилкового бракування (ризик постачальника) або, навпаки, визнання партії виробів придатною (ризик замовника). Тому при вибіркового контролі, укладаючи контракт на



поставку своєї продукції, організація повинна обумовити обидві можливі помилки, виражаючи їх у відсотках.

У разі, якщо на підприємстві зовсім не проводиться технічний контроль продукції, то потрібно постійно стежити за перебігом технологічного процесу й коригувати його за необхідності, а також систематично проводити контроль технологічної дисципліни.

### **1.6 Планування (проектування) контролю якості продукції**

В даний час прийшло розуміння того, що саме перевірки не дуже сприяють поліпшенню якості, упор завжди слід робити на забезпечення та попередження небажаної ситуації. Тагучі, відомий японський фахівець в області якості та надійності, довів, що одна грошова одиниця, витрачена на попередження, економить 10 000 грошових одиниць в процесі виробництва [10]. Багато підприємств різних галузей промисловості застосовують методи контролю якості тільки на стадії «post-production» і дуже рідко використовують їх у проектуванні, плануванні та управлінні виробництвом. Однак, застосування контролю якості на початку виробничого процесу, приведе до поліпшення продукту та підвищення продуктивності процесу. Підприємства отримають максимальну вигоду за рахунок поліпшення якості продукції та процесу виробництва, якщо вони можуть використовувати підхід прямо зі стадії проектування. Нові інструменти здійснення контролю повинні будуть вирішити нинішні проблеми та збільшити ефективність і результативність у забезпеченні якості продуктів, що задовольняють потреби клієнтів. Крім того, підвищиться точність інформації та зменшиться час на її отримання.

Для МП серед найважливіших проблем – складність забезпечення якісного моніторингу процесу, неможливість виконання аналізу даних, а також реалізація контрольних карт тільки на готову продукцію, що призводить до непорозуміння результатів контролю, їх ненадійність,

повільне реагування на проблеми, корисним рішенням можуть стати статистичні методи у режимі реального часу. Контроль якості в режимі реального часу також забезпечує більшу ефективність в управлінні, тому що не витрачає багато часу на ручну підготовку контрольних карт та аналізування даних.

Аналіз видів та наслідків відмов (*Failure Mode Effect Analysis – FMEA*) допомагає виявляти найбільш важливі та ймовірні відмови нового або існуючого процесу [34]. Таким чином, найбільш важливі та найбільш ймовірні відмови можна виключити ще до їх виникнення.

Суттєвою відмінністю ISO 9001:2015 від попередньої версії стандарту – саме і є застосування ризик-орієнтованого мислення, яке дає змогу організації визначати чинники, які можуть спричиняти відхилення її процесів та її системи управління якістю від запланованих результатів, щоб встановлювати запобіжні заходи контролю для мінімізації негативних впливів та максимального використання можливостей, у міру їх виникнення.

### **1.7 Формулювання мети та задач дослідження**

Як показала практика та проведений аналіз, існуючі на сьогодні системи контролю якості у рамках системи управління якістю на МП не передбачають проектування методів контролю якості, що не сприяє забезпеченню необхідного рівня якості та конкурентоспроможності продукції. У цих умовах особливої актуальності набуває проблема теоретичного обґрунтування та формування методів контролю якості в рамках сучасної системи управління якістю та її реалізації в умовах МП.

Наявні наукові розробки та методичні матеріали не містять теоретично обґрунтованих і практично реалізованих рекомендацій з проектування методів контролю якості в умовах МП. Необхідність теоретичного обґрунтування та розробки практичних пропозицій для проектування методів

контролю якості продукції визначила вибір теми, мету, завдання та структуру дисертаційного дослідження.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення якості продукції в умовах малопотужного підприємства шляхом застосування узагальненого підходу до оцінювання розладнання технологічного процесу та формування критеріїв його раннього виявлення, вдосконалення статистичних методів оцінювання відповідності готової продукції.

Для досягнення цієї мети поставлено такі основні завдання:

- провести аналіз особливостей малопотужних підприємств кондитерської галузі щодо забезпечення якості продукції, обґрунтувати статистичний підхід до контролю точності, стабільності та регулювання технологічного процесу;
- провести аналіз чутливості контрольних карт з метою узгодження часового інтервалу між контрольними вибірками та тривалістю технологічного процесу виробництва продукції на малопотужному підприємстві;
- розробити узагальнений підхід із застосуванням карт Шухарта, спрямований на виявлення розладнання технологічного процесу на початку його виникнення, сформулювати критерії виявлення розладнання;
- вдосконалити існуючі та розробити нові методи оцінки відповідності готової продукції з метою зменшення ризику прийняття помилкового рішення та запобігання втратам виробника;
- розробити рекомендації до статистичного оцінювання фактичного вмісту виготовленої продукції при її фасуванні та пакуванні;
- розробити методику планування (проектування) контролю якості технологічного процесу як елемента СУЯ на МП кондитерської галузі.

## **Висновки за розділом 1**

1. Проаналізовано сучасне трактування поняття «якість». Встановлено, що проблема досяжності належної якості продукції є

комплексною, а методи забезпечення, управління, контролювання якості мають проектуватися на всіх стадіях життєвого циклу продукції.

2. Проведено аналіз особливостей МСП щодо управління якістю продукції та виявлені чинники, що гальмують процес забезпечення належної якості.

3. Проведено аналіз системи управління якістю на малопотужному кондитерському виробництві та виявлені шляхи забезпечення належної якості продукції на галузевому підприємстві.

4. Проведено аналіз поняття «контроль якості продукції» як складової системи управління якістю, розглянуто методи та засоби контролю. Встановлено, що найбільш обґрунтованим та достовірним методом аналізу якості, регулювання технологічного процесу, контролю якості, оцінки якості є статистичні методи.

5. Доведена необхідність контролювання якості не тільки готової продукції, а й проектування всього процесу для запобігання виникнення проблемних ситуацій та своєчасного реагування на можливі збої технологічного процесу на основі статистичних методів.

6. Сформульовано мету та задачі дослідження.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: (ISO 9000:2015, IDT): ДСТУ ISO 9000:2015. – [Чинний від 2016-07-01].– К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016 .– 45 с. – (Національний стандарт України).

2. Бандирська О. Якість. Розуміння, підхід, трактування/ О. Бандирська // Стандартизація сертифікація якість, –2013.–№1.– С.54-60.

3. Деминг Е. Выход из кризиса / Е. Деминг: [пер. с англ.]. – Тверь: Альба, 1994. – 498 с.

4. Деминг Е. Новая экономика / Е. Деминг: [пер. с англ.]. – М.: Эксмо, 2008.– 208 с.

5. Харрінгтон Дж. Управління якістю в американських компаніях: [посіб.] / Дж. Харрінгтон. – К.: Центр учбової літератури, 1990. – 248 с.
6. Исикава К. Японские методы управления качеством / К. Исикава. – М: Экономика, 1988. –215 с.
7. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / А.Фейгенбаум [пер. с англ.]. – М.: Экономика, 1990. – 470 с.
8. Кросби Ф. Качество и я. Жизнь бизнеса в Америке / Кросби Ф.– М.: Стандарты и качество, 2003. – 264 с.
9. Масааки И. Гемба кайдзен: Путь к снижению затрат и повышению качества / И. Масааки. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 346 с.
10. Тагути Г. Оптимальное проектирование как техника качества / Г. Тагути, М.Фадке // Методы менеджмента качества, 2003. – № 9.
11. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: ДСТУ 2925-94 – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 37 с. – (Державний стандарт України).
12. Варжапетян А. Квалиметрия [учебн.пособ.] / А. Варжапетян: СПб.: ГОУ ВПО «СПб ГУАП», 2005.– 175 с.
13. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 травня 2017 р. № 504-р. «Про схвалення Стратегії розвитку малого і середнього підприємництва в Україні на період до 2020 року».
14. Проблемы организации СМК на малых предприятиях [Електронний ресурс] // Инновации и предпринимательство. – Режим доступу: <http://www.innovbusiness.ru>. – Назва з екрану.
15. Маслов Д. В. Управление качеством на малом предприятии / Д. В. Маслов, Э. А. Белокоровин. – М.: ДМК Пресс, 2011.– 192 с.
16. Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги: (OHSAS 18001:2007, IDT): ДСТУ OHSAS 18001:2010.– [чинний від 2011-01-01].– К.: Держспоживстандарт України, 2010. – [Електронний ресурс].– Режим доступу [http://dnaop.com/html/34112\\_3.html](http://dnaop.com/html/34112_3.html). – Назва з екрану.

17. Клевцова М.О. Забезпечення якості продукції малопотужного кондитерського виробництва на основі концепції «Industry 4.0» / М.О. Клевцова // Тези доповідей 4-ї Міжнародної наукової конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2017), – Вінниця 30.10-2.10. 2017, ВНДТУ, С.49-50.

18. Клевцова М.О. Проблеми забезпечення якості харчової продукції на малопотужному виробництві / М.О. Клевцова // Тези доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті професора Петра Столярчука «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 11-12 травня 2017 р. м. Львів.-Вид-во Львівської політехніки, 2017.– С.84-85.

19. Печиво. Загальні технічні умови: ДСТУ 3781:2014. – [чинний з 2015-07-01].– 23 с.– [Електронний ресурс]. – Режим доступу.– [http://document.ua/pechivo\\_zagalni-tehnichni-umovi-std26977.html](http://document.ua/pechivo_zagalni-tehnichni-umovi-std26977.html). – Назва з екрану.

20. Клевцова М.О. Деякі аспекти проектування системи контролю якості технологічного процесу на малому підприємстві кондитерської галузі/ М.О. Клевцова // Вісник інженерної академії України, 2018. – №1 – С. 218-223.

21. Системи управління якістю. Вимоги: (ISO 9000:2015, IDT): ДСТУ ISO 9000:2015. – [Чинний від 2016-07-01].– К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016 .– 23 с. – (Національний стандарт України).

22. Джуран Дж. Качество в истории цивилизации. Эволюция, тенденции и перспективы управления качеством / Дж. Джуран. – М.: Стандарты и качество, 2004. – 624 с.

23. Всеобщее управление качеством: [учебн.] / [О. П. Глудкин, Н. М. Горбунов, А. И. Гуров, Ю. В. Зорин]. – М.: Радио и связь, 2009.– 600 с.

24. Траченко Л.А. Формирование подходов к внедрению системы менеджмента качества по версии стандарта ISO 9001:2015 / Л.А.Траченко // Международный научный журнал «NOVATION», 2016.– №4. – С.111-113

25. Орнатський П.П. Вступ до методології науки про вимірювання: [навч. посіб.] / П.П. Орнатський. – К.: ІСДО, 1994.– 160 с.
26. Настанови щодо застосування статистичних методів згідно з ISO 9001:2000 (ISO/TR 10017:2003, IDT):ДСТУ ISO/TR 10017:2005. – [Чинний від 2006.01.01]. – 48 с. – (Національний стандарт України).
27. Устойчивое развитие экономических систем: от концепции к управлению : монография [под ред. Н. Б. Завьяловой, О. В. Сагиновой]. – М. : ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2014
28. Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення: ДСТУ 3514-1997.– К.:Держстандарт України, 1997. – [Чинний від 1997-07-01]. – 60 с. – (Державний стандарт України).
29. Статистичний контроль. Контроль за альтернативною ознакою вибіркової. Частина 10. Вступ до серії стандартів ISO 2859 щодо відбирання проб за альтернативною ознакою: (ISO 2859-10:2006, IDT): ДСТУ ISO 2859-10-2009. – [чинний від 2011-07-01]. –[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78796](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78796). – Назва з екрану.
30. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 1. Плани вибіркового контролю, визначені приймальним рівнем якості для послідовного контролю партій: (ISO 2859-1:1999, IDT): ДСТУ ISO 2859-1-2001. [чинний від 2003-07-01]. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу.– [http://document.ua/statistichnii-kontrol\\_-vibirkovii-kontrol-za-alternativnoyu--std9364.html](http://document.ua/statistichnii-kontrol_-vibirkovii-kontrol-za-alternativnoyu--std9364.html). Назва з екрану.
31. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: ГОСТ 16504:81 зі змінами 2004 р. – [Введ. с 1982-01-01]. – с. 78. – (Міждержавний стандарт).
32. Статистичний контроль. Плани послідовного вибіркового контролю для перевіряння відсотка невідповідностей за кількісною ознакою з визначеним стандартним відхилом: (ISO 8423:2008, IDT): ДСТУ ISO

8423:2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=54429](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54429). Назва з екрану.

33. Статистичний контроль. Процедури вибирання для перевірки за кількісною ознакою. Частина 1. Плани одиничного вибирання для послідовної перевірки партій з одиничною характеристикою якості та визначеною межею прийняття якості. Загальні технічні вимоги: (ISO 3951-1:2013, IDT): ДСТУ ISO 3951- 1:2016 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=65869](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65869). Назва з екрану.

34. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство, IV изд. – [пер. с англ.]. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. — 282 с.



## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОЇ КЕРОВАНOSTІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

У розділі показана важливість утримання стабільності виробництва для забезпечення якості продукції. Враховуючи особливість малопотужного підприємства, що полягає у частій зміні номенклатури продукції, малого її обсягу та відсутності значного обсягу вибіркового даних, бажаним є виявлення зміщення характеристик процесу на ранніх стадіях. Проведено аналіз широко уживаного методу контролю технологічного процесу із застосуванням контрольних карт Шухарта. Проаналізована чутливість різних видів карт до розладнання технологічного процесу із застосуванням чисельного експерименту. Досліджено можливі варіанти розташування контрольних точок на картах Шухарта, що указують на особливі причини розладнання технологічного процесу ще на початковому етапі за різних законів розподілу контрольованих показників.

#### 2.1 Статистичне керування технологічним процесом

Сучасні технологічні процеси мають забезпечувати високу однорідність якості продукції та низькі частки невідповідних одиниць продукції. Одним з методів оцінки очікуваної якості продукції, прийнятним для широкого спектра рівнів невідповідностей, є оцінка показників можливостей процесів. При цьому доцільним є розгляд двох типів причин виникнення мінливості технологічних процесів: особливих та звичайних причин. Під мінливістю розуміють неминучі відмінності індивідуальних значень процесу. Деякі причини мінливості процесу породжують короточасні відмінності між одиницями продукції. Інші причини мають тенденцію створювати зміни у продукті протягом тривалих періодів часу.

До звичайних причин відносяться численні джерела мінливості у процесі, які мають стабільний та повторюваний розподіл у часі. Кожна з таких причин становить дуже малу частку загальної мінливості, й жодна з них не значима сама по собі. Проте, сума всіх цих причин вимірювана й передбачається, що вона внутрішньо властива процесу. Виняток або зменшення впливу звичайних причин вимагає управлінських рішень та виділення ресурсів на поліпшення процесу. Якщо присутні тільки звичайні причини, й вони не змінюються, вихід процесу передбачуваний.

Особливі причини мінливості є факторами, які впливають на процес нерегулярно. Якщо всі особливі причини мінливості процесу не ідентифіковані та не усунуті, вони будуть впливати на вихід процесу непередбачуваним чином. За наявності особливих причин вихід процесу не стабільний у часі.

Показники можливостей технологічного процесу характеризують потенційні та фактичні можливості процесу задовольняти встановленим технічним нормам для значень вихідного показника якості, що оцінюється за кількісною ознакою. При цьому, власна мінливість процесу – це частина мінливості процесу, що викликається тільки звичайними причинами. Повна мінливість процесу – це мінливість, що викликається як звичайними, так і особливими причинами. Процес є статистично стабільним, якщо джерелами мінливості є тільки звичайні причини [1,2].

Однією з функцій системи управління технологічним процесом є подача статистичного сигналу в ситуаціях, коли присутні особливі причини мінливості, й виключення подачі помилкових сигналів у тих випадках, коли таких причин немає. Це дозволяє приймати відповідні дії за цими особливими причинами (або з їх усунення, або, якщо вони вигідні, для підтримання їх сталості).

Таким чином, для контролю технологічного процесу та його коригування, налагодження та недопущення браку доцільно застосовувати різні статистичні методи контролю [3]. Мета застосування статистичних

методів – виявлення ступеня впливу випадкових та/або неврахованих (неконтрольованих) факторів на показники якості. Якщо вплив факторів випадкового характеру є переважним, то кажуть, що технологічний процес статистично керований й тоді використання статистичних методів контролю якості та ходу технологічних процесів стає можливим. Якщо в технологічному процесі переважають фактори не випадкового характеру, то процес стає статистично некерованим, й тоді застосування статистичних методів неможливо до виявлення причин та мінімізації ступеня впливу не випадкових факторів.

Завдання статистичного управління процесом полягає у тому, щоб на підставі результатів періодичного контролю вибірок малого обсягу приймати рішення «процес налагоджений» або «процес розладнаний». Оскільки розладнаність процесу відбувається у випадкові моменти часу, й ці події підкоряються певним закономірностям, то таке завдання вирішується статистичними методами.

Мінливість показників технологічного процесу оцінюється, як правило, за допомогою вибіркового стандартного відхилення, що використовує отримані індивідуальні значення та, вочевидь впливає на точність процесу, тобто його здатність забезпечувати близькість дійсних значень контрольованого параметра  $X$  до номінального значення.

Не менш важливою характеристикою процесу є його стабільність, яка полягає в здатності зберігати значення  $\mu$  і  $\sigma$  незмінними протягом деякого інтервалу часу без втручання ззовні.

Процес є статистично керованим лише за умови, що його показники точності та стабільності не перевищують встановлені нормативні значення. Завданням статистичного керування процесом є забезпечення й підтримання процесу на прийнятному та стабільному рівні, гарантуючи відповідність продукції та послуг встановленим вимогам.

До статистичних методів пред'являють кілька вимог: процедури збору статистичних даних мають бути досить простими й не вимагати для їх

використання спеціальних знань; результати обробки та аналізу отриманої інформації повинні дозволити фахівцям оперативно управляти технологічним процесом з достатньою точністю та швидкістю. Цим вимогам відповідає такий інструмент як контрольні карти, які дозволяють відслідковувати хід протікання процесу й впливати на нього до того, як він вийде з-під контролю [4,5,6].

Контрольна карта – це карта, на якій для наочності відображення стану технологічного процесу відзначають значення відповідної вибіркової характеристики суміжних вибірок послідовності [7,8]. Таким чином, контрольна карта являє собою графік з контрольними межами, які визначають допустимий діапазон розкиду характеристик у звичайних умовах перебігу процесу, обумовлених впливом випадкових величин.

На особливу увагу заслуговують контрольні карти за кількісною ознакою, які можуть вказати на існування проблеми погіршення якості, перш ніж в потоці продукції з'являться браковані вироби.

Положення контрольних меж на карті дозволяє дати оцінку вірогідності положення середнього значення контрольованого параметра, що характеризує налаштування технологічного процесу та розсіювання значень. Статистичної керованості процесу можна досягти, виявляючи кожен особливу причину та ідентифікуючи її всякий раз, коли деяка точка виходить за контрольні межі, й приймаючи відповідні заходи.

## **2.2 Види контрольних карт та принципи встановлення їх контрольних меж**

### **2.2.1 Аналіз різновидів застосовуваних контрольних карт**

Найпоширеніше застосування в практиці контролю технологічного процесу знайшли

- карти середнього значення ( $\bar{X}$ ) та розмахів ( $R$ ) або вибірових стандартних відхилень ( $s$ );

– карти індивідуальних значень ( $X$ ) та ковзних розбіжностей ( $R_i$ ).

Оскільки карти середніх значень  $\bar{X}$  та розмахів  $R$  (вибіркових стандартних відхилень) відбивають стан процесу через розкид значень та розташування середнього значення процесу, то вони завжди використовуються парами. Найбільш часто використовуються пари  $\bar{X}$  – карти й  $R$  – карти.

Якщо мінливість процесу від результату до результату й середній результат залишаються постійними, то розмахи  $R$  та середні  $\bar{X}$  окремих груп будуть змінюватися тільки випадково та майже не виходити за контрольні межі, установлені, виходячи з імовірності настання цієї події. При цьому вважається, що які-небудь зміни при виконанні умов контролю, малоймовірні.

Для демонстрації того, де перебуває середнє значення процесу, і яка його стабільність, використовується  $\bar{X}$  – карта. Крім того, вона дозволяє виявити варіацію між підгрупами, яка не може бути пояснена тільки впливом випадкових величин.  $R$  – карта виявляє будь-яку небажану варіацію усередині підгрупи та служить індикатором мінливості досліджуваного процесу, показуючи його повторюваність. Якщо  $R$  – карта показує, що варіації усередині підгрупи не змінюються, то це говорить про стабільність процесу. Перед аналізом  $\bar{X}$  – карти необхідно аналізувати  $R$  – карту.

Контрольні карти індивідуальних значень  $X$  рекомендується застосовувати у тих випадках, коли немає можливості проводити повторні спостереження. При використанні карт індивідуальних значень раціональні підгрупи для оцінювання мінливості усередині підгрупи реалізувати неможливо. Тому контрольні групи розраховуються на основі міри варіації, отриманої за ковзними розмахами зазвичай двох спостережень.

Під ковзним розмахом розуміють абсолютне значення різниці результатів у послідовних парах, тобто різниця першого й другого значень, потім другого й третього й т.д. На основі ковзних розмахів обчислюють

середній ковзний розмах  $\bar{R}$ , що використовують для побудови контрольних карт.

При використанні карт індивідуальних значень необхідно враховувати наступне:

- карти індивідуальних значень не настільки чутливі до зміни процесу, як  $\bar{X}$  – та  $R$  – карти;
- при інтерпретації карт індивідуальних значень варто виявляти обережність, якщо розподіл відрізняється від нормального;
- карти індивідуальних значень не оцінюють повторюваність процесу від зразка до зразка.

При побудові контрольних карт вводять нормовані межі попередження й межі дії, установлені залежно від обраного алгоритму контролю. При цьому можна виділити попереджувальну ознаку й ознаку дії.

Попереджувальна ознака – це подія, що свідчить про вихід процесу зі статистично контрольованого стану з довірчою ймовірністю, що перевищує 0,997, й потребує зупинки та корекції технологічного процесу. Після корекції необхідно повторно досліджувати стан технологічного процесу.

Ознака дії – це подія, що свідчить про вихід процесу зі статистично контрольованого стану з довірчою ймовірністю (0,95...0,99);

Висновки за результатами контролю роблять у процесі побудови контрольних карт після нанесення на них кожної точки.

Контрольні карти дозволяють не тільки стежити за реалізацією технологічного процесу, але й на підставі отриманих результатів вносити корекцію в нього, проводячи аналіз умов, за яких можливі викиди.

### **2.2.2 Принципи побудови контрольних меж**

Властивість технологічного процесу, що обумовлює сталість розподілів ймовірностей його контрольованих параметрів протягом деякого інтервалу часу без втручання ззовні, можна оцінити за значенням середньоквадратичного відхилення (СКВ)  $\sigma$ , яке адекватно відображає стабільність процесу, за значних обсягах вибірки ( $n > 10$ ). За вибірок малого

обсягу більш ефективну оцінку розсіювання результатів дає розмах  $R$  (абсолютна різниця між найбільшим та найменшим значеннями вибіркової підгрупи) [9]. Розмах обчислюється більш оперативно й дозволяє для оцінювання стабільності технологічного процесу мати тільки по два результати у кожній підгрупі, що є кращим в умовах малого підприємства. При цьому існує деяка статистика, що зв'язує  $\sigma$  та  $R$  [10]:

$$M\left(\frac{R_n}{\sigma}\right) = \alpha_n, \quad (2.1)$$

де  $\alpha_n$  – табульоване значення, залежне від числа елементів  $n$  у вибірці;  $R_n$  – розмах вибірки з  $n$  елементів.

За даною статистикою можна визначити математичне сподівання розмаху:

$$M(R_n) = \alpha_n \sigma. \quad (2.2)$$

Окрім того, як видно з виразу (2.1),  $\alpha_n$  є незміщеною оцінкою, а, отже, й значення  $M(R_n)$  також є незміщеною оцінкою й може бути прийнято за центр можливого розсіювання результатів контролю. При цьому виходять з того, що допустиме розсіювання результатів  $\sigma$ , яке характеризує стабільність процесу, задано.

Розкид можливих значень відношення  $R_n/\sigma$  за фіксованого значення  $n$ , обумовлений впливом випадкових величин та обмеженістю обсягу вибірки, також є табульованим. Таким чином, існує залежність

$$var\left(\frac{R_n}{\sigma}\right) = \beta_n,$$

яка дозволяє за заданого  $\sigma$  встановити розсіювання можливих значень розмаху  $R_n$  по відношенню до  $M(R_n)$  у вигляді:

$$var(R_n) = \beta_n \sigma. \quad (2.3)$$

Під час побудови контрольних границь, використовуючи вирази (2.2) та (2.3) можна визначити абсолютні значення квантилів варіації розмаху  $R_n$  у вигляді:

$$M(R_n) \pm k(P)var(R_n), \quad (2.4)$$

де  $k(P)$  – коефіцієнт, який залежить від значення довірчої імовірності.

Оскільки розмах є число додатне, то для лівого квантиля має виконуватися умова:

$$[M(R_n) - k(P)var(R_n)] > 0. \quad (2.5)$$

Дані співвідношення покладені в основу побудови контрольних карт Шухарта, у яких для прийняття рішення про стабільність показників технологічного процесу вводяться попереджувальні межі (*warning limits*)  $k(P)=2$  та межі дії (*action limits*)  $k(P) = 3$ , що відповідає ймовірності прийняття рішення  $P = 95\%$  та  $P = 99,7\%$ .

**Контрольні  $\bar{X}$  – карти та  $R$  – карти.** При побудові карти розмахів  $R$  як центральна лінія використовується лінія з табличним значенням  $\alpha_n$ , яке у стандарті [2] позначено  $d_2$ . Так, наприклад, за  $n = 2$  відповідно до [11]:

$$d_2 = 1,128 \text{ та } M(R_n) = 1,128\sigma,$$

що й приймається за центральну лінію  $CL$ .

Межі дії в карті  $R$  мають відстояти від центральної лінії на  $\pm 3var(R_n)$ . Наприклад, верхня межа дії

$$UCL_a(n) = d_2\sigma + 3d_3\sigma = D_2\sigma,$$

де  $d_3$  відповідає значенню  $\beta_n$ , взятому з тієї самої таблиці, оскільки при  $n = 3$ ,  $d_3 = 0,853$ . Обчислені у такий спосіб значення  $D_2 = (d_2 + 3d_3)$  наводяться у таблиці [2]. Аналогічно для нижньої межі дії отримаємо:

$$LCL_a = d_2\sigma - 3d_3\sigma;$$

або

$$LCL_a = D_1\sigma,$$



де  $D_1 = d_2 - 3d_3$ .

Проаналізувавши співвідношення (2.5) приходимо до висновку, що при  $k(P) = 3$  воно буде виконуватися лише за  $n \geq 7$ . Для значень  $n < 7$  як нижня межа дії приймається нульова лінія карти Шухарта.

Для обчислення верхньої та нижньої меж попередження також виходять з виразів (2.4) й (2.5). Наприклад, при  $k(P) = 2$ :

$$UCL_w = D_2(2)\sigma, \text{ де } D_2(2) = d_2 + 2d_3;$$

$$LCL_w = D_1(2)\sigma, \text{ де } D_1(2) = d_2 - 2d_3.$$

Співвідношення (2.5) у цьому випадку буде виконуватися лише за  $n \geq 4$ . У інших випадках чисельне значення нижньої межі попередження відсутнє – воно замінюється значенням «0».

Попередньо обчислені значення для центральної лінії  $CL = d_2\sigma$ , верхньої  $UCL_a = D_2\sigma$  та нижньої  $LCL_a = D_1\sigma$  меж дії, а також верхньої  $UCL_w = D_2(2)\sigma$  та нижньої  $LCL_w = D_1(2)$  меж попередження використовують для побудови карт Шухарта.

Оцінювання стабільності зміщення технологічного процесу, тобто характеристики його правильності, необхідно проводити за  $\bar{X}$  – картою з використанням еталонного значення  $\mu$ . Як центральну лінію при побудові  $\bar{X}$  – карти в цьому випадку використовують  $CL = \mu$ , по відношенню до якої розглядають зміни  $\bar{x}_i$  у  $i$ -х підгрупах. Межі попередження та дії у цьому випадку визначають як:

$$UCL = \mu + k(P) \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

$$LCL = \mu - k(P) \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

де  $\sigma$  – нормоване значення СКВ можливих результатів контролю, обумовлене впливом випадкових величин.

### 2.3 Дослідження чутливості контрольних карт до розладнання технологічного процесу

Для ефективного використання контрольних карт на практиці істотним є їх чутливість. Під чутливістю карт Шухарта розуміють їх здатність до виявлення можливих змін в технологічному процесі – поява зміщення процесу або збільшення розсіювання його значень [14]. Чутливість характеризує зміну параметрів розподілу результатів контролю від зміни вихідних даних, що характеризують різні умови застосування контрольних карт, зокрема, залежність від числа вибірових значень, за якими обчислюються поточні значення  $\bar{x}$  та  $s$ , та від ймовірності вибору контрольних меж. Це особливо актуально для малопотужних підприємств, де номенклатура виробів змінюється відносно часто й правильна побудова реального процесу є запорукою якості виробів.

Вихідні дані по суті є масивами результатів поточного контролю, являють собою сукупність трьох елементів: масив даних, значення яких відображають розладнаність технологічного процесу в часі, тобто зміна контрольованого параметра при впливі на нього комплексу технологічних факторів; задані точки спостережень та число спостережень у кожній точці. При цьому необхідно враховувати, що в реальності на технологічний процес діє ряд неврахованих факторів, що відбивається на розподілі значень контрольованого параметра. За чутливістю до розладнання процесу контрольні карти можна поділити на групи:

- прості контрольні карти (карти Шухарта);
- контрольні карти з попереджувальними межами (є модифікацією простих контрольних карт);
- контрольні карти кумулятивних сум;
- подвійні контрольні карти Шухарта.

Існуючі різновиди контрольних карт можна поділити за принципом:

- стандартні значення не задані;

– стандартні значення задані.

За допомогою контрольних карт, для яких не задані стандартні значення, виявляють відхилення характеристик процесу, які обумовлені не випадковими причинами. Ці карти засновані цілком на даних самих вибірок. Контрольні карти із заданими стандартними значеннями застосовують з метою визначення того, чи відрізняються спостережувані значення контрольованих параметрів для декількох підгруп обсягом  $n$  спостережень кожна, від відповідних стандартних значень, наприклад  $\mu$ , на значення більше, ніж можна чекати при дії тільки випадкових величин. Особливістю карт із заданими стандартними значеннями є додаткові вимоги, щодо центра та варіації процесу.

Чутливість оцінюється на основі середньої довжини серії – середнього значення числа вибірок, які беруться та аналізуються через однакові інтервали часу. При цьому допускається, що вибіркові середні не корельовані.

Будемо виходити з того, що в момент часу  $t$  технологічний процес розладнався і виникло зміщення  $\delta$ . Необхідно визначити, за скільки кроків (через скільки вибірових середніх)  $\bar{X}$  – карта відреагує на цю зміну, тобто коли перше з вибірових середніх вийде за попереджувальні межі ( $\alpha = 0,05$ ) або межі дії.

Допустимо, що ймовірність виходу контрольованого показника за межу карти складає  $p$ . Позначимо  $Y$  – значення дискретної випадкової величини «вихід за граничне значення», які відповідають події встановлення зміщення технологічного процесу. Тоді значення  $Y=1$  відповідає події, що зміщення було виявлено на першому кроці побудови  $\bar{X}$  – карти, тобто  $P(Y=1)=p$ . Якщо це було виявлено на другому кроці, то ймовірність для цього випадку дорівнює  $P(Y=2)=(1-p)p$ . У загальному випадку для  $k$ -го кроку маємо:

$$P(Y=k)=(1-p)^{k-1}p. \quad (2.6)$$

Математичне сподівання дискретної випадкової величини  $Y$  [13] визначається як

$$M(Y) = \sum_{i=1}^k y_i p(y_i) \quad (2.7)$$

де  $y_i$  – можливі значення дискретної випадкової величини  $Y$ .

Виходячи з виразу (2.7) та з урахуванням виразу (2.6), математичне сподівання «виходу середнього вибіркового за межу дії»  $Y$  на  $k$ -му кроці буде:

$$M(Y) = \sum_{k=1}^{\infty} k (1-p)^{k-1} p = p \sum_{k=1}^{\infty} k (1-p)^{k-1}; \quad (2.8)$$

Вираз (2.8) якраз і відповідає середній довжині серії  $L(\delta)$ , яка включає  $k$  кроків при виявленні зміщення технологічного процесу.

Середня довжина серії характеризує «затримку»  $\bar{X}$  – карти по відношенню до часу виникнення розладнання/зміщення процесу.

Розглянемо окремо другий множник виразу (2.8). Зробимо заміну  $(1-p) = q$  і введемо позначення:

$$\sum_{k=1}^{\infty} k q^k = S(q). \quad (2.9),$$

Поділимо обидві частини рівності (2.9) на  $q$  та виконаємо його інтегрування:

$$\int_0^q \sum_{k=1}^{\infty} k q^{k-1} dq = \int_0^q \frac{S(q)}{q} dq; \quad 0 < q < 1.$$

В результаті отримаємо:

$$\sum_{k=1}^{\infty} q^k = \int_0^q \frac{S(q)}{q} dq. \quad (2.10)$$

Ліва частина виразу (2.10) являє собою геометричний ряд  $q + q^2 + q^3 + \dots$ , сума членів якого дорівнює  $q/(1-q)$ .

Таким чином, маємо:

$$\frac{q}{1-q} = \int_0^q \frac{S(q)}{q} dq. \quad (2.11)$$

Візьмемо похідну від виразу (2.11) і отримаємо:

$$\frac{1}{(1-q)^2} = \frac{S(q)}{q}. \quad (2.12)$$

З виразу (2.12) знаходимо:

$$S(q) = \frac{q}{(1-q)^2}$$

або

$$\sum_{k=1}^{\infty} kq^{k-1} = \frac{1}{(1-q)^2} \quad (2.13)$$

Після підстановки виразу (2.13) з врахуванням  $q = (1-p)$  у вираз (2.8), отримаємо:

$$L_{\bar{x}}(\delta_t) = p^{-1}. \quad (2.14)$$

де  $L_x(\delta_t)$  – середня довжина серії вибірових значень; індекс  $t$  враховує факт появи зміщення в момент часу  $t$ .

Так при  $\delta=0$  (зміщення відсутнє),  $p_t(0)=\alpha$  (помилка 1-го роду), тоді середня довжина серії вибірових значень обумовлена впливом тільки випадкових величин і дорівнює  $L_{\bar{x}}(0)=1/\alpha$ .

При статистичному управлінні висувається гіпотеза  $H_0: \mu_t = \mu_0$ , тобто центральна лінія  $\bar{X}$  – карти будується за умови, що контрольований показник відповідає нормі. Тоді наявність зміщення процесу з точки зору теорії перевірки статистичних гіпотез відповідає відхиленню гіпотези  $H_0: \mu_t = \mu_0$ .

Втручання в технологічний процес не відбувається, коли поточне середнє вибірове значення знаходиться у межах контрольних границь з заданою ймовірністю  $P=(1-\alpha)$ .

Приймаючи до уваги, що  $\bar{x}$  розподілено за нормальним законом з дисперсією  $\sigma_0/\sqrt{n}$  та центром розподілу  $\mu_0$ , ймовірність невтручання в процес, тобто події, що поточне вибірове середнє не вийде за граничні значення, складе [14]:

$$P_{\bar{x}}(\mu_t) = P\left(\mu_0 - u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n} < \bar{x} < \mu_0 + u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n}\right), \quad (2.15)$$

де  $u_{1-\alpha/2}$  – квантиль нормованого нормального розподілу, який відповідає граничним значенням (попереджувальній межі за  $\alpha=0,05$  та межі дії за  $\alpha=0,01$ ).

Розглянемо ймовірність невтручання в технологічний процес при його розладнанні, тобто коли центр розподілу став  $\mu_t$ . Перейдемо від аналізу поточних середніх значень до нормованих та центрованих величин  $z = (\bar{x} - \mu) / \sigma_0 / \sqrt{n}$ . Тоді вираз (2.15) можна записати як

$$P_{\bar{x}}(\mu_t) = \Phi\left(\frac{\mu_0 + u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n} - \mu_t}{\sigma_0 / \sqrt{n}}\right) - \Phi\left(\frac{\mu_0 - u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n} - \mu_t}{\sigma_0 / \sqrt{n}}\right), \quad (2.16)$$

де  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  – функція стандартного нормального розподілу, значення якої табульовано.

Абсолютне значення зміщення процесу  $\Delta = \mu_0 - \mu_t$ , з урахуванням якого вираз (2.16) запишеться як:

$$P_{\bar{x}}(\mu_t) = \Phi\left(\frac{\Delta_t + u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n}}{\sigma_0 / \sqrt{n}}\right) - \Phi\left(\frac{\Delta_t - u_{1-\alpha/2} \cdot \sigma_0 \sqrt{n}}{\sigma_0 / \sqrt{n}}\right). \quad (2.17)$$

Перейдемо до безрозмірної величини зміщення  $\delta_t = \Delta_t / \sigma_0$  у момент часу  $t$ , тоді вираз (2.17) запишеться як:

$$P_{\bar{x}}(\delta_t) = \Phi(\delta_t \sqrt{n} + u_{1-\alpha/2}) - \Phi(\delta_t \sqrt{n} - u_{1-\alpha/2}). \quad (2.18)$$

Змінна  $\delta_t$  характеризує відхилення поточного рівня налагодження процесу  $\mu_t$  від заданого значення  $\mu_0$ , яке нормоване по відношенню до стандартного відхилення  $\sigma_0$  незбуреного процесу.

Виходячи з виразу (2.18) ймовірність виходу вибіркового значення за межу визначається як:

$$\bar{P}_{\bar{x}}(\delta_t) = 1 - P_{\bar{x}}(\delta_t). \quad (2.19)$$

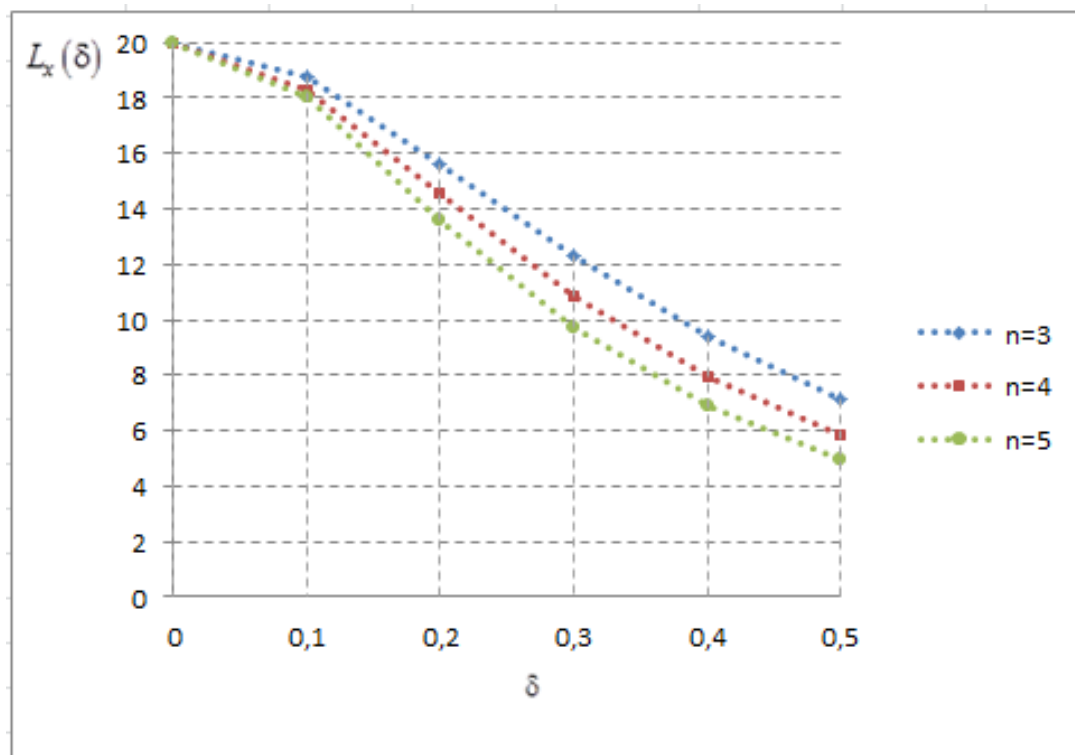
При цьому необхідно приймати до уваги властивість нормального розподілу  $1 - \Phi(x) = \Phi(-x)$ .

Аналогічно до виразу (2.14) з урахуванням виразу (2.19) остаточно отримуємо вираз для середньої довжини серії вибірових значень (зміщення):

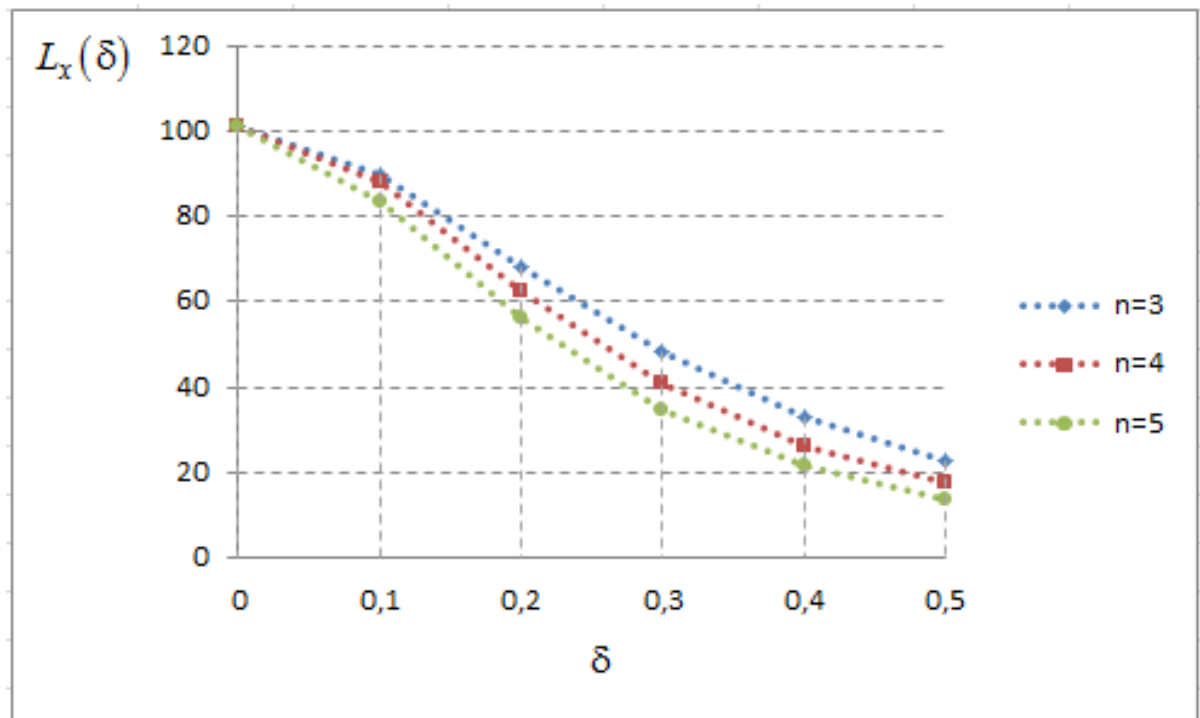
$$L_x(\delta_t) = [\bar{P}_x(\delta_t)]^{-1}. \quad (2.20)$$

На рис. 2.1 наведені залежності зміни середньої довжини серії  $L_x(\delta)$  від значення  $\alpha$  та числа вибірових даних для кожної контрольної точки.

З наведених графіків [15] можна зробити висновки про чутливість  $\bar{X}$  - карти до розладнання технологічного процесу. Так, при зміщенні контрольованого рівня процесу  $\mu_0$  від норми на  $0,4\sigma_0$  вихід першого вибірового середнього за попереджувальну межу відбудеться приблизно через 8 та 7 кроків для вибірок у 4 та 5 елементів ( $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$  відповідно), а вихід за межі дії – через 26 та 21 кроки ( $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$  відповідно).



a)



б)

Рисунок 2.1 – Залежності зміни середньої довжини серії  $L_x(\delta)$  від значення  $\alpha$  та числа вибірових даних для кожної контрольної точки:

а) за  $\alpha = 0,05$ ; б) за  $\alpha = 0,01$

Таким чином, по відношенню до корегувальних дій чутливість  $\bar{X}$  – карти при  $n = 4$  на 20% менше, ніж при  $n = 5$ . Це може суттєво збільшити допустимі втрати виробництва через зменшення якості продукції, яка випускається невеликими партіями. Для відображення впливу обсягу вибірки додатково наведена залежність при  $n = 3$ .

При побудові  $s$  – карти вихідним є вибірове стандартне відхилення, яке обчислюється на основі  $n$  значень як

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}.$$

Вибіркові значення  $x_i$  належать до генеральної сукупності, значення якої розподілені за нормальним законом з центром  $\mu_0$  та дисперсією  $\sigma_t$ , яка в загальному випадку відрізняється від номінального значення  $\sigma_0$ , що



відповідає нормальному протіканню процесу, тобто  $\sigma_t = \varepsilon_t \sigma_0$ , де  $\varepsilon_t$  – коефіцієнт розладнання процесу.

За нормального протікання технологічного процесу (за умови одностороннього граничного значення) [4] буде справедлива рівність:

$$P\left(\frac{(n-1)S_n^2}{\sigma_0^2} \leq \chi_{n-1;1-\alpha}^2\right) = 1 - \alpha, \quad (2.21)$$

де  $\chi_{n-1;1-\alpha}^2$  – квантиль розподілу  $\chi^2$ -Пірсона при числі ступенів свободи  $v = (n-1)$  та  $p = (1-\alpha)$ .

Після нескладних перетворень виразу (2.21) отримаємо:

$$P\left(S_n \leq \sqrt{\frac{\chi_{n-1;1-\alpha}^2}{n-1}} \cdot \sigma_0\right) = 1 - \alpha. \quad (2.22)$$

Складова, що стоїть в правій частині нерівності (2.22) є одностороннім довірчим інтервалом для контрольної величини  $S_n$  за довірчої ймовірності  $P = 1 - \alpha$ .

Значення для лінії дії  $UCL$  (втручання в технологічний процес) отримуємо з (2.21) за  $\alpha = 0,01$ :

$$UCL = \sqrt{\frac{\chi_{n-1;0,99}^2}{n-1}} \cdot \sigma_0. \quad (2.23)$$

Тоді для поточного робочого процесу, тобто за  $\sigma_t \neq \sigma_0$ , ймовірність виходу значення  $S_n$  за граничне значення  $UCL$  буде:

$$P(S_n \geq CL | \sigma_t) = 1 - P\left(S_n^2 < \frac{\chi_{n-1;0,99}^2}{n-1} \cdot \sigma_0^2 | \sigma_t\right). \quad (2.24)$$

Помножимо складові нерівності, що стоять у дужках правої частини виразу (2.24) на  $(n-1)/\sigma_t$  та отримаємо:

$$P(S_n \geq CL | \sigma_t) = 1 - P\left(\chi^2 < \frac{\chi_{n-1;0,99}^2}{(\sigma_t/\sigma_0)^2} | \sigma_t\right). \quad (2.25)$$

Оскільки функція розподілу випадкової величини  $\chi^2$  залежить від  $\nu = (n-1)$ , тому подальший аналіз необхідно проводити для контрольного значення числа ступенів свободи  $\nu$ , а саме:

$$P\left(\chi^2 < \frac{\chi_{n-1;0,99}^2}{(\sigma_t/\sigma_0)^2} | n-1\right)$$

Останній вираз при фіксованому числі ступенів свободи  $\nu$  представляє собою інтегральну функцію  $F(\bullet | n-1)$   $\chi^2$ -розподілу з  $(n-1)$  ступенями свободи, для якої не існує таблиць, але деякі значення її можуть бути обчислені з таблиць розподілу  $\chi^2$ -Пірсона за допомогою оберненої функції  $F^{-1}(\bullet | n-1)$ . При цьому треба врахувати, що в таблиці наведені значення  $\chi^2$ , які відповідають ймовірності  $P(\chi^2 > \chi_{n-1;0,99}^2)$ .

Прийнявши до уваги, що  $\sigma_t/\sigma_0 = \varepsilon_t$ , вираз (2.25) перепишеться остаточно у вигляді, що відповідає ймовірності події «поточне вибіркове значення  $S_n$  вийде за межу дії/втручання»:

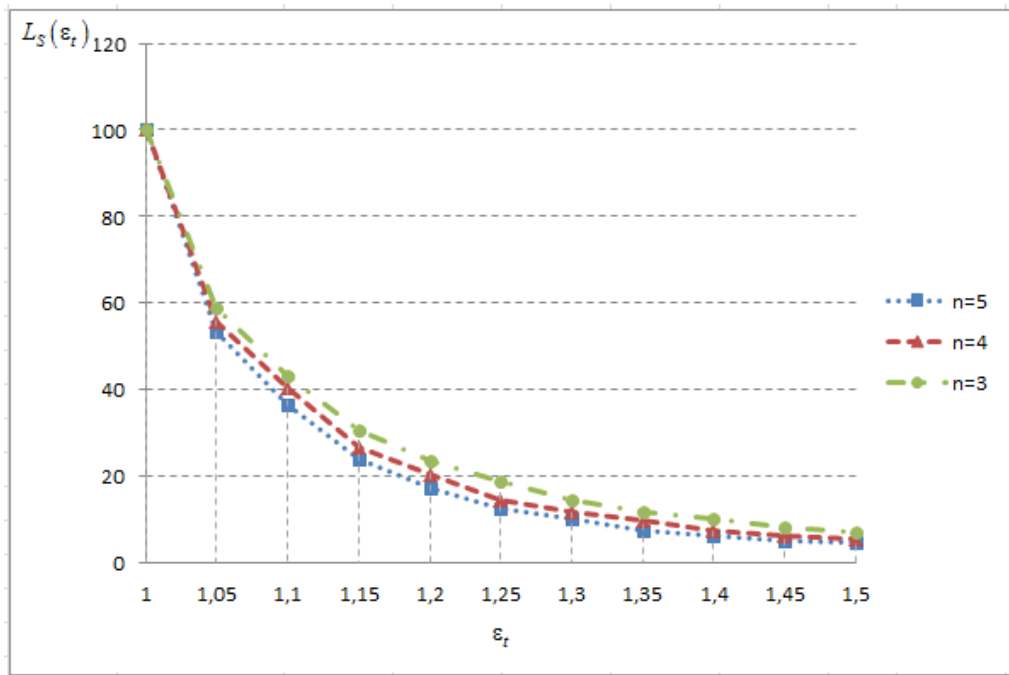
$$\bar{P}_S(\varepsilon_t) = P\left(\chi^2 > \frac{\chi_{n-1;0,01}^2}{\varepsilon_t^2} | n-1\right).$$

Згідно з виразом (2.8) середня довжина серій  $s$ -карти визначається із залежності:

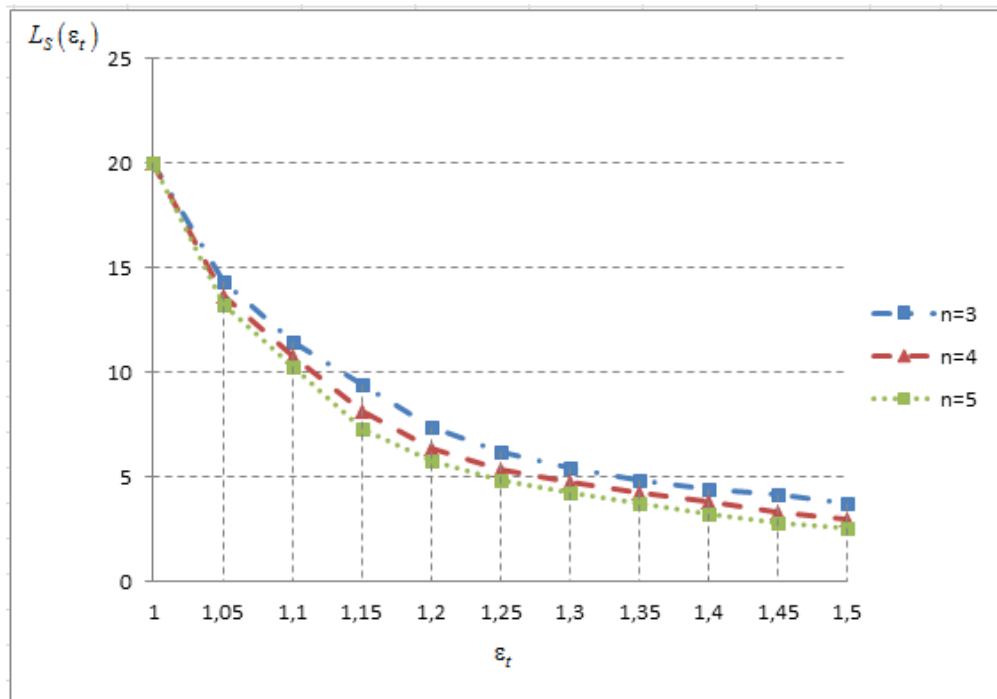
$$L_S(\varepsilon_t) = \left[ P\left(\chi^2 > \frac{\chi_{n-1;0,01}^2}{\varepsilon_t^2} | n-1\right) \right]^{-1}.$$

Відповідні криві, які відображають залежність довжини серій від  $\varepsilon_t$  для різних ймовірностей хибної тривоги, наведені на рис. 2.2.

Коли використовують  $\bar{X}$  та  $s$ -карти разом, то процес вважається статистично керованим у тому випадку, коли це підтверджують обидві карти.



а)



б)

Рисунок 2.2 – Криві  $L_S(\varepsilon_t)$ , які відображають залежність довжини серій від  $\varepsilon_t$  для різних значень ймовірності хибної тривоги:

а) за  $\alpha = 0,01$ ; б) за  $\alpha = 0,05$

Приймаючи до уваги, що показники рівня налаштування  $\delta_t$  та розсіювання  $\varepsilon_t$  технологічного процесу – незалежні величини, ймовірність невтручання в хід процесу визначається як добуток відповідних ймовірностей:

$$\bar{P}_{\bar{x}, S}(\delta_t, \varepsilon_t) = (1 - P_{\bar{x}}(\delta_t))(1 - P_S(\varepsilon_t)).$$

Тоді середня довжина серій при одночасному використанні  $\bar{X}$  – карти та  $s$ -карти буде:

$$L_{\bar{x}, S}(\delta_t, \varepsilon_t) = [1 - \bar{P}_{\bar{x}, S}(\delta_t, \varepsilon_t)]^{-1}.$$

Практично одночасне зміщення нормованого значення технологічного процесу та збільшення розсіювання його майже не зустрічається. Тому цей випадок носить більш теоретичний характер.

## **2.4 Формування додаткових попереджувальних критеріїв розладнання технологічного процесу**

Свідченням виходу процесу з статистично керованого стану під дією особливих причин є наявність деяких характерних структур розташування точок на контрольній карті. В документі [2] сформульовані вісім ознак, які вказують на наявність особливих причин, та дається їх графічна інтерпретація у вигляді фрагментів контрольної карти. Набір наведених ознак не є вичерпним. При аналізі контрольних карт слід звертати увагу на будь-які незвичайні структури точок, оскільки вони можуть вказувати на прояв особливих причин.

Дія особливих причин на карті зазвичай проявляється або у вигляді монотонних трендів (коли точки утворюють криву, яка безперервно підвищується або знижується, наприклад, внаслідок зносу інструменту) або стрибків, пов'язаних з порушенням налаштованості процесу від вибірки до вибірки, коли точки виходять за контрольні межі. Можливі наближення

точок до контрольних меж або центральної лінії, а також різноманітні періодичності структури точок. Найбільш повно опис незвичайних структур точок з посиланнями на їх джерела наведені у [16,17,18].

#### **2.4.1 Аналіз особливих причин розладнання технологічного процесу за гаусівської моделі розподілу контрольованих показників**

При контролі технологічного процесу з використанням контрольних карт, можна припускати, що виконуються наступні умови:

- процес знаходиться у нормальному стані (центральна лінія проведена через значення, рівне середньому  $\bar{X}$  контрольованої характеристики генеральної сукупності виробів);
- значення наступних одна за одною вибірок незалежні (відсутня автокореляція – вибір часу між вибірками);
- вибіркові значення контрольованої характеристики розподілені за нормальним законом. (Однак, як зазначено у [19], можливі відхилення від зазначених передумов не приведуть до спотворення контрольованої ситуації).

Тоді існує наступний взаємозв'язок між величиною середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  та кількістю спостережень  $n$ :

в межах  $\bar{X} + \sigma$  розташовується 0,683, або 68,3% кількості спостережень;

в межах  $\bar{X} + 2\sigma$  – 0,954, або 95,4%;

в межах  $\bar{X} + 3\sigma$  – 0,997, або 99,7% кількості спостережень.

Межі  $\pm 3\sigma$  вказують, що близько 99,7% значень характеристики підгруп потраплять в них за умови, що процес знаходиться в статистично керованому стані. Іншими словами, є ризик, що дорівнює 0,3% (або в середньому три на тисячу випадків), що нанесена точка опиниться поза контрольними межами, коли процес стабільний. Насправді, при виконанні вищевказаних умов, на практиці майже не зустрічаються відхилення, які перевищують  $\pm 3\sigma$ . Відхилення  $3\sigma$  може вважатися максимально можливим. Це положення називають правилом трьох сигм.

Якщо контрольну карту уявити з урахуванням всіх ймовірностей, то вона буде мати вигляд, представлений на рис. 2.3, на якому відображено ймовірності попадання результатів у зони А ( $\pm 3\sigma$ ), В ( $\pm 2\sigma$ ), С ( $\pm 1\sigma$ ).

Вплив не випадкових величин призводить до більшої розбіжності результатів на контрольній карті – деяка послідовність на ній хоч і буде змінюватися випадково, але буде розташовуватися в області значних відхилень, тобто збільшуватиметься дисперсія. Саме ця властивість може бути покладена в основу створення ряду правил попереджувальних критеріїв, які дозволяють коректувати реалізацію технологічного процесу, не чекаючи, коли процес розладнається, й результати будуть попадати за контрольні межі.

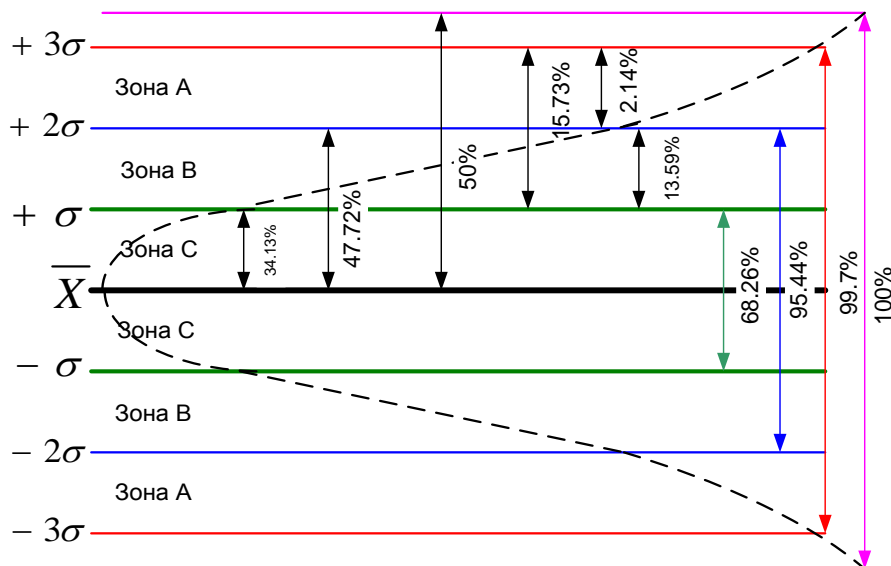


Рисунок. 2.3 – Зони контрольної карти з урахуванням правила 3-х сигм

Особливо це важливо для малих підприємств, де обсяги виробництва відносно невеликі й необхідно за малий відрізок часу «вловити» розладнання технологічного процесу.

В основу побудови всіх контрольних карт покладено той факт, що ймовірність попадання результату за контрольні межі становить 0,3% і, якщо ця подія відбудеться, то передбачається, що вплинула не випадкова причина. Отже, послідовності точок на контрольній карті, що перебувають у контрольних або попереджувальних межах, ймовірність появи яких буде

менше 0,003, можна розглядати як прояв спільного впливу випадкових та систематичних причин.

Існує можливість, контролюючи хід технологічного процесу за контрольними картами, виробити цілий ряд критеріїв, що дозволяють виявити тенденції розладнаності процесу. Дійсно, коли при реалізації технологічного процесу відсутні відхилення, то розсіювання результатів перебуває в заданих межах. Але немає необхідності «чекати» такої ситуації, коли показники точності (характеристики технологічного процесу) вийдуть за контрольні межі, й буде ухвалене рішення, що для цієї точки мале місце розладнання процесу (ймовірність настання такої події за наявності тільки випадкових величин малоймовірна – 0,3%).

Ознаки, пов'язані з розташуванням характерних структур точок щодо центральної лінії, можна розділити на дві групи:

- характерні структури точок, розташовані по один бік від центральної лінії;
- характерні структури точок, розташовані по обидва боки від центральної лінії.

Ймовірність їх появи в тій чи іншій області контрольної карти по один бік від центральної лінії може бути знайдена, аналізуючи ймовірність знаходження послідовності контрольних точок, в одній з зон або їх об'єднанні, які представлені на рис. 2.3. Для цього використовується правило множення незалежних в послідовній сукупності подій [19]:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (2.26)$$

За результатами аналізу можна сформулювати сукупність критеріїв виявлення розладнання технологічного процесу [20].

Якщо виходити з того, що середні значення послідовних підгруп – незалежні випадкові величини (відсутня кореляція між ними), що в дійсності має місце, то ймовірність попадання результату для будь-якої підгрупи вище або нижче центральної лінії дорівнює 0,5. Цю ймовірність будемо називати

ймовірністю елементарної події. Ймовірність двох елементарних подій, що настають одна за одною (двох вибірових значень) й знаходитимуться на контрольній карті вище центральної лінії, буде дорівнювати  $0,5 \times 0,5 = 0,25$ .

З'ясуємо, якій мінімальній кількості послідовних результатів на контрольній карті, що відображені з одного боку центральної лінії, відповідає ймовірність 0,003.

Для наочності результатів аналізу побудуємо графік, що відображає зміни ймовірності попадання результатів вимірювань в область, сформовану зонами В, С, розташовану по один бік від лінії  $\bar{X}$ , як показано на рис. 2.4.

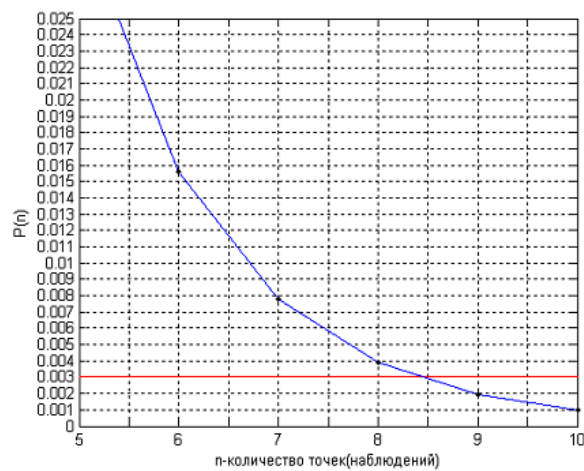


Рисунок 2.4 – Ймовірність, що  $n$  точок поспіль будуть перебувати по один бік від  $\bar{X}$

Як впливає з рис. 2.4, ця ймовірність буде спадати і на дев'ятому результаті стане менше, ніж значення  $3\sigma$  (на графіку  $p(n) = 0,003$ ).

Відповідно, ймовірність того, що вибірові середні дев'яти наступних вибірок (або серія з 9 точок контрольної карти) виявиться з одного боку від центральної лінії, з урахуванням рівняння (2.26), складе на восьмому результаті:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_8) = \prod_{i=1}^8 P(A_i) = 0,5^8, \quad (2.27)$$

а на дев'ятому  $P(A_1, A_2, \dots, A_9) = \prod_{i=1}^9 P(A_i) = 0,5^9 = 0,00195$ .



Імовірність прояву такої події дуже мала, тому, як індикатор розладнання виробничого процесу можна розглядати ситуацію, коли дев'ять послідовних вибіркового значень знаходяться з одного боку від центральної лінії.

Якщо цей критерій виконується (на контрольній карті виявлено таке розташування точок), то робиться висновок про можливу зміну середнього значення процесу в цілому. Зауважимо, що тут робиться припущення щодо симетричності розподілу досліджуваних показників якості навколо середнього значення процесу на графіку. Дана ситуація розглянута на рис. 2.5.

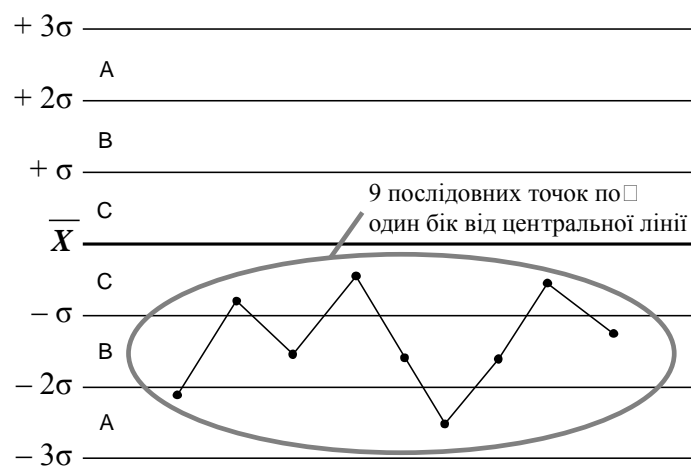


Рисунок 2.5 – Дев'ять послідовних точок по один бік від центральної лінії

Розглянемо випадок, коли контрольні точки розташовані в зоні C по один бік від центральної лінії. Імовірність, що одне випадкове значення потрапить в зону C по один бік від центральної лінії буде дорівнює 0.3413 (див. рис. 2.3). Виходячи з того, що ймовірність настання декількох незалежних у сукупності подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій необхідно з'ясувати – яка максимальна кількість значень, розташованих поспіль, має лежати по один бік від середнього в зоні C, щоб ймовірність їх спільного наступу прагнула до значення 0,3 %. Використовуючи правило множення ймовірностей (2.26) отримаємо графік, представлений на рис. 2.6.

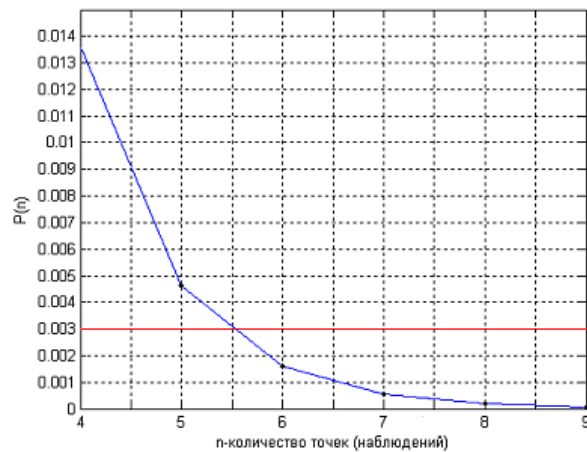


Рисунок 2.6 – Імовірність, що  $n$  точок поспіль будуть знаходитися в зоні С,  
по один бік від  $\bar{X}$

Виходячи зі значень, представлених на рис. 2.6 можна зробити висновок, якщо 6 точок поспіль лежать в даній зоні, то це вважається критичною ознакою (ймовірність дорівнює 0, 00269), і свідчить про порушення умов технологічного процесу. Дана ситуація розглянута на рис. 2.7.

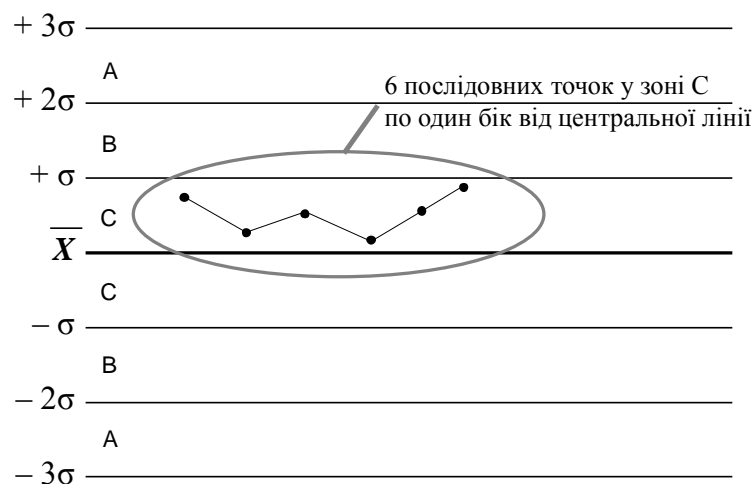


Рисунок 2.7 – Шість послідовних точок по один бік від центральної лінії

Проведемо подібний аналіз для випадків розташування контрольних точок у інших зонах. Отримані результати зведено у табл. А1 Додатку А.

Здавалося б, що знаходження результатів у цілком «благополучній» зоні С не може викликати занепокоєння, однак, провівши дослідження ймовірності настання «тривожної» ознаки, було виявлено, що 15 результатів,

які перебувають в цій зоні, відповідають ймовірності 0,00327 появи тривожної ознаки, тобто незабаром процес може вийти зі стану статистичної керованості. Але якщо на карті виявиться ситуація, коли в цю зону потраплять 16 точок, ймовірність появи такої події буде дорівнює 0,0023, отже цей критерій має бути віднесений до «критичного». В таблиці даному випадку відповідає критерій 1.6. Однак, цей критерій недоцільно застосовувати, оскільки для виявлення розладнання процесу відбувається за доволі значної кількості точок, що є не прийнятним для умов малого підприємства.

Як впливає з четвертої колонки табл. А.1, чим більше ймовірність елементарної події (ймовірність попадання контрольних точок до певних зон контрольної карти)  $p_0(A_i)$ , тим менше число критичних точок  $n$  у послідовності. Тому для вибору алгоритму перевірки особливих причин розладнання технологічного процесу – зміщення його параметрів, необхідно враховувати цей факт, чого раніше не робилося [21, 22, 23].

Для оперативного виявлення причин розладнання технологічного процесу введемо *коефіцієнт оперативності критерію* як відношення ймовірності елементарної події до критичного числа точок у послідовності:

$$K_{\text{оп}} = p_0(A_i) / n.$$

В табл. 2.1 наведені відповідні співвідношення за різними критеріями.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів оперативності

Критерій	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Критичне число точок $n$	9	8	6	4	2
Коефіцієнт оперативності	0,056	0,060	0,057	0,034	0,011

Як впливає з табл. 2.1, чим більший коефіцієнт оперативності, ти скоріше виявляється розладнання процесу. Так, найбільш оперативним є критерій 1.2, хоча у якості попереджувального може паралельно

використовуватися, як близький до нього за значенням коефіцієнту оперативності, критерій 1.3.

Установлені показники якості технологічного процесу можуть використовуватися для призначення границь попередження й дії при контролі стабільності результатів на наступний період. Маючи у своєму розпорядженні сукупність критеріїв можна побудувати правило прийняття попереджувального рішення про стан технологічного процесу, не чекаючи повного його розладнання [20, 24 ].

#### 2.4.2 Метод сполучення елементарних подій

У попередньому підпункті, виходячи з допущення про незміщений нормальний закон розподілу контрольованої величини, була обґрунтована процедура виявлення особливих причин, які призводять до зміщення технологічного процесу. Даний підхід дозволяє виявити вплив на хід технологічного процесу тільки за наявності певної кількості контрольних точок, які слідує одна за одною, не виходячи із областей А, В, або С, або їх поєднанні.

Проаналізуємо, чи можуть виникати такі ситуації, коли при розладнанні технологічного процесу контрольні точки розташовуються у різних зонах контрольної карти.

Застосування біноміального закону розподілу дає можливість проаналізувати ситуації більш детально та виявити додаткові критерії.

Позначимо  $p_N(x)$  ймовірність рівно  $x$  разів спостерігати подію А протягом  $N$  випробувань (на відміну від розглянутого у попередньому підпункті у будь-якій послідовності, а не поспіль), тоді можна записати [19]:

$$p_N(x) = C_N^x p^x q^{N-x} = \frac{N!}{x!(N-x)!} p^x q^{N-x} = \frac{N(N-1)\dots(N-x+1)}{x!} p^x q^{N-x} \quad (2.28)$$

Вираз (2.28) описує закон біноміального розподілу. Відоме правило множення ймовірностей незалежних подій (2.26) є окремим випадком

біноміального закону за умови прийняття у (2.28) числа випробувань, що дорівнює кількості позитивних результатів, тобто  $N = x$ .

Розглянемо та проаналізуємо, виходячи з біноміального закону розподілу подій, всі можливі варіанти розташування контрольних точок на карті, що є свідомством про порушення технологічного процесу.

Аналіз даних дозволить виділити критичні ситуації, ймовірність появи яких становить менше 0,003.

Критерій 2.1. Розглянемо зону на контрольній карті (рис. 2.3), коли контрольні точки, відповідні вибіровим значенням, знаходяться вище або нижче центральної лінії. Шанси для вибірового значення потрапити вище або нижче центральної лінії становлять 50 на 50. Проаналізуємо, яке число значень повинно бути з одного боку по відношенню до центральної лінії карти в послідовності, щоб ймовірність спільного настання цих незалежних подій прагнула до значення 0,3%. Для наочності аналізу побудуємо діаграму, представлену на рис. 2.8., а сам критерій 2.1 представлений на рис. 2.9.

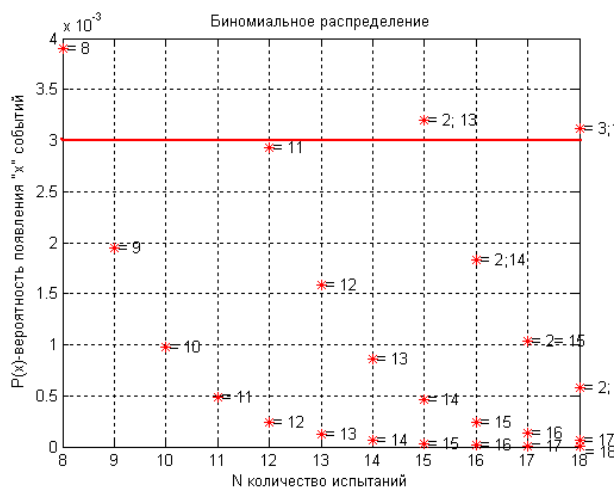


Рисунок 2.8 – Ймовірність, що  $x$  точок з послідовності  $N$  будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  в зонах А, В, С

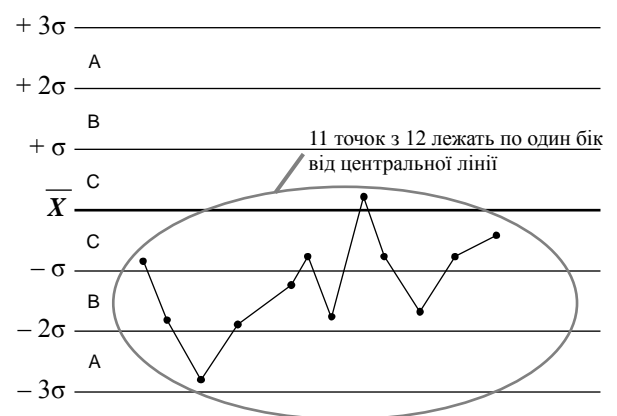


Рисунок 2.9 – Критерій 2.1

На рис. 2.8 горизонтальною лінією позначено критичне значення ймовірності складної події, коли необхідно враховувати особливі причини, які виникають у технологічному процесі. Помічені точки на діаграмі й число

біля них відповідають ймовірності складної події та числу точок, які при цьому знаходяться на контрольній карті по один бік від  $\bar{X}$ .

Аналіз діаграми показує, що при збільшенні числа випробувань ймовірність виникнення складної події зменшується, та при досягненні  $x = N = 9$  ймовірність стає менше критичного значення, тобто існують особливі причини (окрім випадкових), які призводять до розладнання технологічного процесу. Цей результат співпадає з результатом, отриманим у попередньому підпункті (критерій 1.1). Але, як впливає з аналізу діаграми рис.2.8, виникає ще одна складна подія, наявність якої є свідомством про розладнання технологічного процесу. Ймовірність виникнення такої ситуації за біноміального закону розподілу подій визначається як

$$p_N(x) = \frac{12!}{11!(12-11)!} 0,5^{11} 0,5^{12-11} = 0,0029. \quad (2.29)$$

і, як видно, значення цієї ймовірності буде максимально близьким до критичного. Якщо цей критерій виконується (на контрольній карті виявлено таке розташування точок), то робиться висновок про можливу зміну середнього значення процесу в цілому.

Критерій 2.2. Розглянемо нестандартні ситуації, які можуть виникнути в області, обмеженій зонами С та В при можливому розладнанні технологічного процесу. Ймовірність, що одне випадкове вибірконе значення потрапить в цю область тільки по один бік від центральної лінії, буде дорівнювати  $p = 0,4772$ . За виконання умов 1-3, наведених на початку розділу, що всі значення є незалежними подіями, можна, використовуючи біноміальний закон, визначити ймовірність настання  $x$  позитивних результатів за  $N$  випробувань. На рис. 2.10 наведено діаграму, за якої визначено ймовірність того, що  $x$  точок з послідовності  $N$  випробувань будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  в області В та С, а на рис. 2.11 – відповідний критерій.

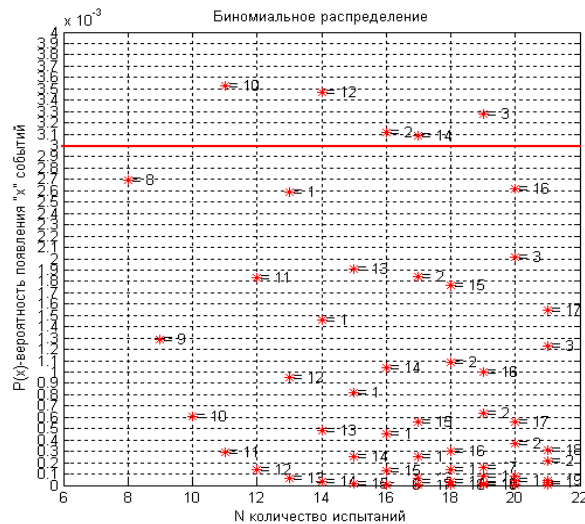


Рисунок 2.10 – Ймовірність, що  $x$  точок з послідовності  $N$  будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  в області В та С



Рисунок 2.11 – Критерій 2.2

Використовуючи діаграму, наведену на рис. 2.10 визначимо, коли ймовірність настання даної події буде найбільш близька до значення 0.003.

Виходячи зі значень, представлених на цій діаграмі, найбільш вірогідним критерієм при встановленні виходу процесу зі стану статистичної керованості є випадок, коли 8 точок з 8 лежать по один бік від  $\bar{X}$  (рис. 2.11). Але, як бачимо – це критерій 1.2, який був отриманий раніше у підпункті 2.4.1.

Решта критеріїв, які можуть бути необхідними при проведенні моніторингу процесу, наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Ймовірність, що  $x$  точок з послідовності з  $N$  випробувань будуть знаходитися в по обидві боки від  $\bar{X}$  в області В та С

Кількість точок	8	12	13	14	15	16
З них у області В та С	8	11	11	12	13	12
Ймовірність	0.0027	0.0018	0.00236	0.0015	0.0019	0.0031

Оператор при отриманні результатів досліджень повинен враховувати критерії, наведені у табл. 2.2, оскільки вони також обумовлені «особливими причинами», які свідчать про реальні зміни процесу.

Критерій 2.3. Розглянемо випадок, коли всі або більшість точок лежать тільки по один бік від центральної лінії в зоні С.

Імовірність, що одне випадкове значення потрапить у зону С по один бік від центральної лінії буде дорівнює  $p = 0.3413$  (див. рис. 2.3). Використовуючи біноміальний закон розподілу, проаналізуємо, яка максимальна кількість точок (значень) може лежати по один бік від  $\bar{X}$ , щоб таку комбінацію можна було віднести до «особливих причин», які свідчать про реальні зміни в технологічному процесі. Для більш наочного представлення результатів побудуємо діаграму, показану на рис. 2.12, а сам критерій – на рис. 2.13.



Рисунок 2.12 – Ймовірність, що  $x$  точок з  $N$  будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  в зоні С

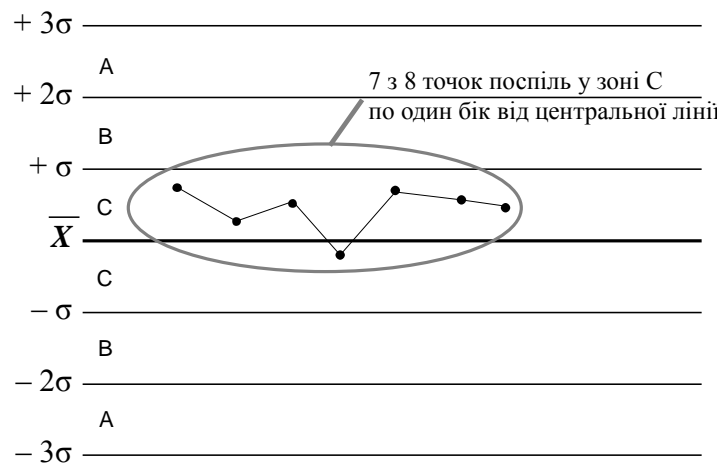


Рисунок 2.13 – Критерій 2.3

Значення, отримані на даному графіку підтверджують, що коли 6 точок з 6 будуть лежати в зоні С, це можна буде віднести до критичної ситуації (раніше отриманий критерій 1.3). Розглядаючи дані, які представлені на діаграмі (рис. 2.12) при збільшені числа випробувань, можна зробити висновок, якщо з 8 послідовних точок тренда 7 знаходитимуться в зоні С по



один бік від центральної лінії – це може послужити сигналом про вихід процесу зі стану статистичної стабільності. Імовірність виникнення такої події:

$$\begin{aligned} p_N(x) &= p^x (1-p)^{N-x} \frac{N!}{x!(N-x)!} = \\ &= 0.3413^7 (1-0.3413)^{8-7} \frac{8!}{7!(8-7)!} = 0.0028, \end{aligned} \quad (2.30)$$

і буде приблизно дорівнювати 0,3%. Таким чином, аналіз діаграми показує, що висновок про розладнання технологічного процесу можна зробити і для випадку, коли з 8 результатів випробувань тільки одна контрольна точка, знаходячись по той самий бік від центральної лінії, буде поза зоною С.

Наявність такого різновиду тренда (рис. 2.13), який відображено на контрольній карті, хоча і є свідомством про дуже низький рівень варіювання значень, але і є свідомством про наявність систематичного зміщення, присутність якого можна пояснити порушенням умов проведення технологічного процесу.

Критерій 2.4. Розглянемо область, сформовану зонами А та В контрольної карти (рис. 2.3) і з'ясуємо, яка кількість послідовних точок буде лежати в цій області, щоб ймовірність виникнення була настільки малою, що її можна було прирівняти до значення критичної ймовірності 0,3%. Використовуючи формулу (2.28) побудуємо діаграму, на якій вказано кількість точок та ймовірність виникнення даної події (рис. 2.14). Тут ми бачимо ситуацію, яка відповідає раніше встановленому критерію 1.4. Але, як видно з наведених даних, якщо на контрольній карті по один бік від центральної лінії тільки 4 з 5 послідовних точок будуть лежати в області А і В, то це буде сигнал про порушення умов проведення процесу – ймовірність виникнення такої події (2.28):

$$\begin{aligned} p_N(x) &= p^x (1-p)^{N-x} \frac{N!}{x!(N-x)!} = \\ &= 0.1573^4 (1-0.1573)^{5-4} \frac{5!}{4!(5-4)!} = 0.0026, \end{aligned} \quad (2.31)$$

буде дуже близькою до 0.3%.

На рис. 2.15 наведено критерій 2.4, з якого можна зробити такий висновок. Якщо при проведенні процесу виникає подібна ситуація, то при аналізі результатів буде присутнє негативне (тренд перебуватиме нижче центральної лінії) або позитивне систематичне зміщення, оскільки варіація (розмах) результатів, буде значною по відношенню до середнього значення.

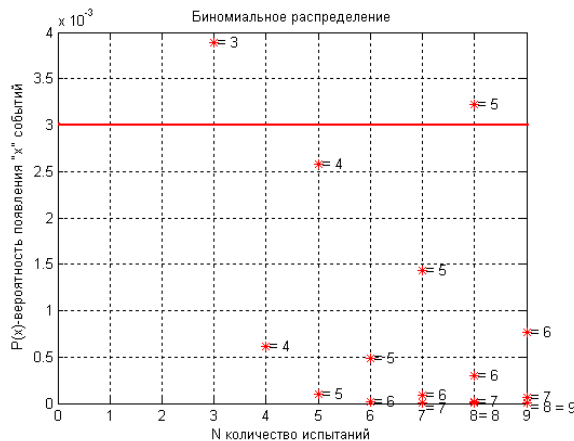


Рисунок 2.14 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  в області А та В

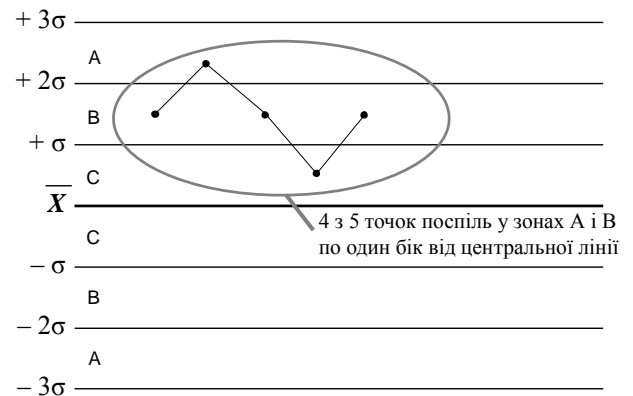


Рисунок 2.15 – Критерій 2.4

Критерій 2.5. Розглянемо саму крайню зону А контрольної карти – зону між лініями попередження та дії стосовно впливу випадкових величин. Імовірність, що одне випадкове вибіркове значення потрапить в цю зону, тільки по один бік від центральної лінії, буде дорівнювати  $p = 0,0214$ .

Використовуючи біноміальний закон розподілу (2.28) визначимо, яке мінімальне число значень у послідовності випробувань має лежати по один бік від середнього в зоні А, щоб ймовірність спільного настання незалежних подій прагнула до значення 0,3%. Для наочності аналізу побудуємо діаграму (рис. 2.16), а сам критерій наведено на рис. 2.17.

Найбільш імовірним критерієм є випадок, коли дві контрольні точки  $x=2$  для двох послідовних випробувань  $N=2$  знаходяться у зоні А (співпадає з критерієм 1.5), або 2 точки з 3, або 2 точки з 4 лежать в зоні А по один бік від центральної лінії  $\bar{X}$ .

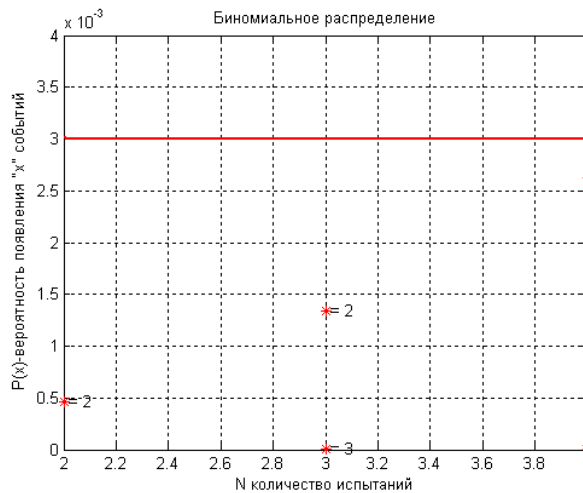


Рисунок 2.16 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  будуть знаходитися по обидва боки від  $\bar{X}$  в зоні А

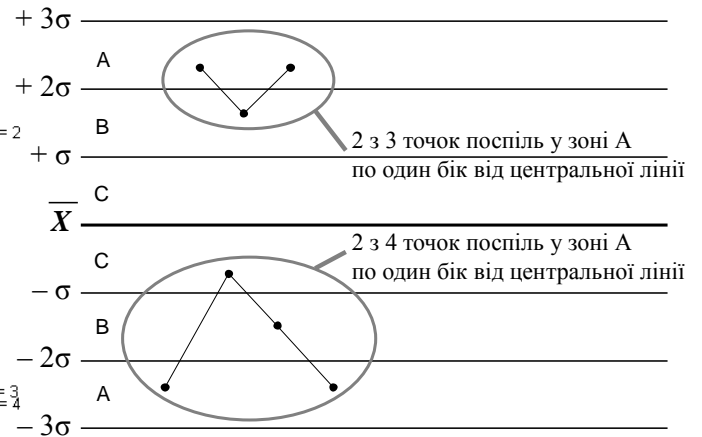


Рисунок 2.17 – Критерій 2.5

Використовуючи рівняння (2.28) визначимо імовірність для першого та другого додаткового випадку:

$$\begin{aligned}
 p_N(x) &= p^x (1-p)^{N-x} \frac{N!}{x!(N-x)!} = \\
 &= 0.0214^2 (1-0.0214)^{3-2} \frac{3!}{2!(3-2)!} = 0.0013,
 \end{aligned}
 \tag{2.32}$$

$$\begin{aligned}
 p_N(x) &= p^x (1-p)^{N-x} \frac{N!}{x!(N-x)!} = \\
 &= 0.0214^2 (1-0.0214)^{4-2} \frac{4!}{2!(4-2)!} = 0.0026,
 \end{aligned}
 \tag{2.33}$$

Наявність даних критеріїв в тренді процесу свідчить про вплив «особливих причин», тобто під час проведення процесу має бути виявлений вплив не тільки випадкових, але й систематичних похибок.

Критерій 2.6. Розглянемо далі зону С контрольної карти (рис. 2.3). Якщо враховувати, що виконуються згадані у розділі умови 1-3, можна стверджувати, що ймовірність того, що окреме значення при технологічному процесі потрапить в зону  $\pm\sigma$ , буде складати  $p = 0,6826$ .

Оскільки всі отримані результати вимірювань будуть незалежні між собою, та виходячи з рівняння (2.28), проаналізуємо, яке число контрольних

значень має потрапити в зону С, щоб ймовірність настання такої події прагнула до критичного значення 0,3 %. Діаграма, наведена на рис 2.18 відображає отримані результати, а на рис. 2.19 відображено сам критерій.

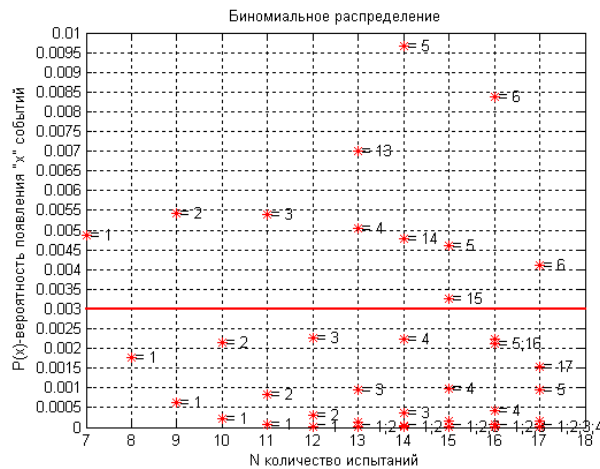


Рисунок 2.18 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  будуть знаходитися по обидва боки від  $\bar{X}$  в зоні С

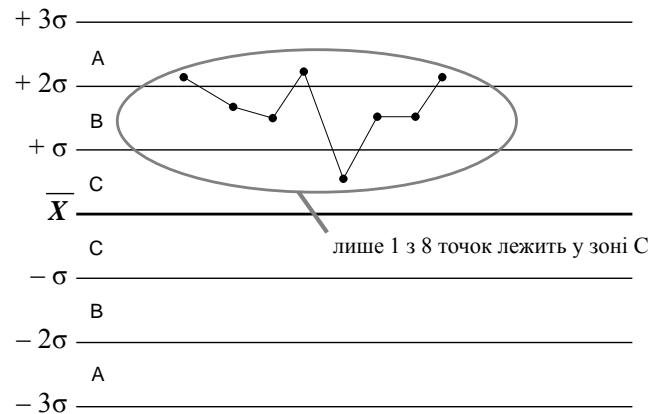


Рисунок 2.19 – Критерій 2.6

Якщо проаналізувати всі дані, виходячи з біноміального закону, то до критичних будуть віднесені ситуації, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  випробувань будуть знаходитися по обидва боки від  $\bar{X}$  в зоні С

Кількість точок	8	10	12	14	16	16
З них у зоні С	1	2	3	4	5	16
Імовірність	0.0018	0.0022	0.0023	0.0023	0.0021	0.0022

З усіх наведених в таблиці 2.3 критеріїв як основний пропонується вибрати перший, коли при 8 випробуваннях тільки 1 точка потрапляє у зону С, але при моніторингу оператор повинен звертати увагу на всі вищевказані комбінації. Якщо під час побудови тренду, точки будуть розташовуватися так, як показано на рис. 2.19, можна зробити висновок про зміщення середнього значення процесу в цілому.

Критерій 2.7. Розглянемо зони В. Виходячи з того, що значення вибірок, які слідує одна за одною, незалежні (відсутня автокореляція), імовірність для вибіркового значення потрапити в зону В вище чи нижче центральної лінії складає  $p = 0,1359$  (див. рис. 2.3). Використовуючи рівняння (2.28) побудуємо діаграму (рис. 2.20), яка показує ймовірність подій  $x$  при  $N$  випробуваннях. На рис. 2.21 наведено критерій 2.7.

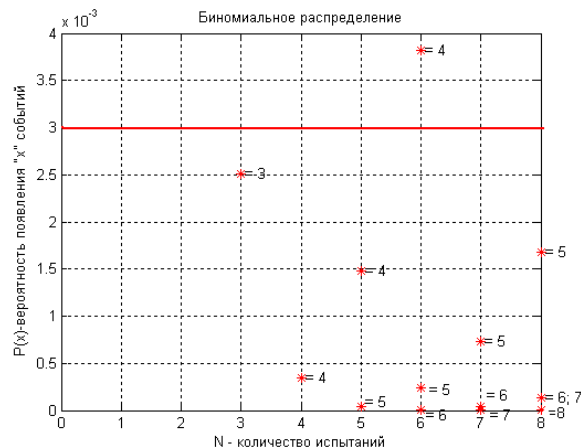


Рисунок 2.20 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  будуть знаходитися по один бік від  $\bar{X}$  тільки в зоні В

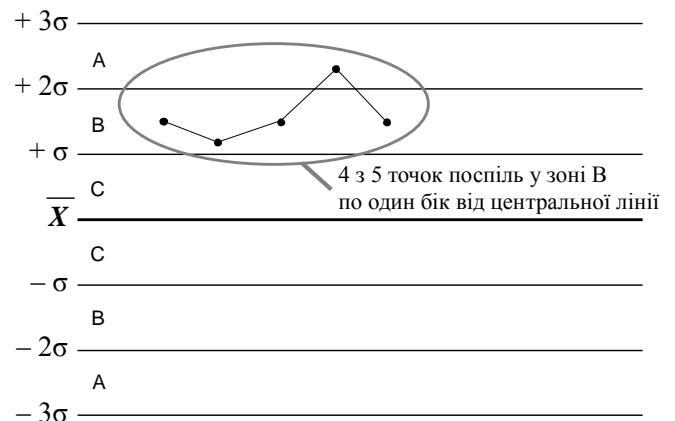


Рисунок 2.21 – Критерій 2.7

З діаграми (рис. 2.20) видно, що ймовірність того, що 3 точки потраплять в зону В буде менше ніж 0.3%. Використовуючи рівняння (2.28) можна переконатися, що ймовірності розподілятися наступним чином (див. табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Імовірність, що  $x$  точок з  $N$  випробувань будуть знаходитися по один бік в зоні В

Кількість точок	3	5	8
З них в зоні В	3	4	5
Імовірність	0.0025	0.0015	0.0017

Виходячи з табл. 2.4 критерій 4 з 5 послідовних точок тільки в зоні В, по один бік від центральної лінії (рис. 2.21) рекомендується віднести до

критичних. На підставі отриманого тренда даного виду можна зробити висновок про порушення умов проведення технологічного процесу, які мають бути дотримані.

У нормативному документі [2] приводяться отримані емпіричним шляхом критерії (послідовності контрольних точок), наявність яких на контрольній карті є свідомством розладнання процесу, а саме: 8 точок поспіль попадають до області В, А (рис. 2.22), або виходять за контрольні межі по обидва боки від центральної лінії (в зону С не потрапляють), який можна також аналітично обґрунтувати, використовуючи розглянутий підхід (з використанням біноміальної моделі).

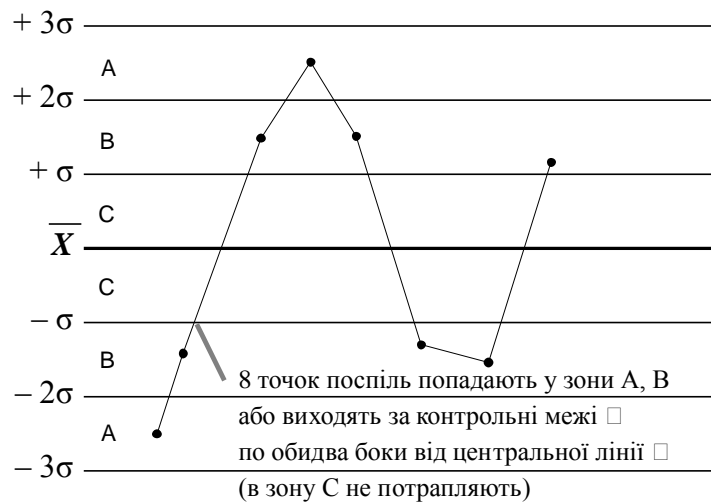


Рисунок 2.22 – Критерій 2.8

Виконання цього критерію є свідченням того, що різні вибірки схильні до впливу різних чинників, в результаті чого вибіркові значення виявляються розподіленими за бімодальним законом. Використовуючи рис. 2.3, визначимо ймовірність того, що точки будуть потрапляти в область В і А, і при цьому жодна точка не опиниться в зоні С. Оскільки в даному випадку вийде так, що приблизно 4 точки лежатимуть в зонах В і А вище центральної лінії, а чотири – нижче, то визначимо ймовірність тільки для однієї частини:

$$p_{N1}(x) = 0.1573^4 (1 - 0.1573)^{4-4} \frac{4!}{4!(4-4)!} = 0.00061 \quad (2.34)$$

Тоді для 8 точок імовірність буде:

$$p_N(x) = 0.00061 \cdot 2 = 0.0012 \quad (2.35)$$

Дане значення ймовірності буде близьким до критичного значення 0.003. Бімодальність розподілу дає важливу інформацію про природу досліджуваної змінної. Наприклад, часто бімодальність може свідчити про те, що вибірка не є однорідною, і спостереження породжені двома або більше «накладеними» розподілами.

Таким чином, за допомогою біноміального закону розподілу можна додатково до описаних ситуацій за нормального закону описати «особливі» причини, які призводять до розладнання процесу. Оскільки аналіз таких причин виконується тільки при використанні двох статистичних «інструментів» – контрольної карти з представленими на ній ймовірнісними границями (рис. 2.3) та рівнянням біноміального закону розподілу (2.28) – то оператору буде набагато простіше контролювати технологічний процес. У оператора є можливість за допомогою отриманих поточних значень регулювати контрольні границі, та протягом більш тривалого часу підтримувати процес в стані статистичної керованості, а також визначити набагато більше ситуацій, які свідчать про реальні зміни в технологічному процесі під час моніторингу. У таблиці А2 Додатку А зведені результати аналізу, в третій колонці якої наведено число точок  $x$ , які знаходяться у відповідній області, та число випробувань у послідовності  $N$ .

Як впливає з отриманих результатів, використання біноміальної моделі підтверджує результати, отримані для випадку, коли критичні ситуації визначалися, виходячи з гаусівської (нормальної) моделі.

Крім того, біноміальна модель дозволила виявити й додаткові ситуації, коли в технологічному процесі «проявляється» вплив не тільки випадкових величин, тобто виявлені «особливі причини» розладнання технологічного процесу (критерії 2.7 та 2.8). Критерій 2.6 як і для випадку з нормальним розподілом також немає сенсу через значну кількість точок.

З аналізу випливає, що в першу чергу потрібно звертати увагу на ситуацію для послідовності з 8 контрольних точок, оскільки в цьому випадку незначний розкид результатів не повинен «заспокоювати», що технологічний процес є статистично керованим, однак при виконанні критерію 1.2 для цього випадку існують «особливі причини» розладнання технологічного процесу.

#### **2.4.3 Аналіз особливих причин розладнання технологічного процесу за аномальної (невідомої) моделі розподілу контрольованих показників**

Кількість можливих ситуацій, в яких виявлення тренда (закономірності, а не випадковості появи ряду даних) дає практично корисну інформацію, значна, тому виникає необхідність виявлення відповідного критерію встановлення тренда залежно від практичного завдання. Вибір відповідного способу ідентифікації не випадкових відхилень залежить від багатьох чинників: обсягу накопичених даних, бажаної точності технологічного процесу, часу та вартості реалізації відповідного способу. Крім того, способи виявлення систематичних зміщень розрізняються залежно від виду розподілу та суттєвості впливу випадкових величин.

У разі, коли випадкова впливна величина не суттєва, систематичну величину можна виявити за чергуванням знаків відхилень від середнього арифметичного. Цей критерій ґрунтується на дослідженні послідовності знаків – «плюсів» та «мінусів». При цьому, якщо

- знаки нескоригованих випадкових відхилень чергуються з якоюсь закономірністю, то говорять про мінливу систематичну похибку;

- послідовність знаків «+» випадкових відхилень змінюється послідовністю знаків «-» і навпаки, то має місце прогресуюча систематична похибка;

- групи знаків «+» і «-» випадкових відхилень чергуються, то має місце періодична систематична похибка.

У разі, коли випадкова складова істотна, то для виявлення систематичної похибки використовують критерії перевірки незалежності



вибіркових значень стаціонарності вибірки [19]. Саме така ситуація спостерігається при використанні контрольних карт для перевірки і підтримки статистичної керованості технологічного процесу коли, на тлі випадкових змін його параметрів в межах заданих (встановлених) границь, необхідно виявити розладнання процесу – зміщення, бажано на початковій стадії за невідомого закону розподілу.

Найбільш простими в практичному застосуванні є:

- критерій серій, в основу якого покладено медіанне значення;
- критерій «висхідних» та «низхідних» серій.

Дані критерії ґрунтуються на дослідженні послідовності знаків – «плюсів» і «мінусів». Основу становить число серій, які можуть спостерігатися в вибірці залежно від її розмірів (числа елементів).

Під серією розуміють послідовність поспіль «плюсів» чи поспіль «мінусів» (в окремому випадку серія може складатися тільки з одного «плюса» або тільки з одного «мінуса», і тоді її протяжність дорівнюватиме одиниці). Наприклад, послідовність "+++++ --- +++ - ++++++ ----" буде поділятися на шість серій, три з них зі знаком «+» і три зі знаком «-» [25].

*Критерій, заснований на медіані.* Вихідним пунктом є послідовність результатів спостереження – вибірка  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , яку представляють у вигляді варіаційного ряду в порядку зростання варіант. Основою для даного критерію є медіана, яку знаходять як серединний елемент варіаційного ряду.

Якщо число значень вибірки непарне, то

$$\tilde{x}_{med} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}, \quad (2.36)$$

якщо число значень вибірки парне, то

$$\tilde{x}_{med} = \frac{1}{2} \left( x_{\frac{n}{2}} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right). \quad (2.37)$$

Медіана обирається як вибіркове значення центру розподілу можливих відхилень характеристики технологічного процесу. Її оцінка робастна (стійка) до значних відхилень від передбачуваної моделі закону розподілу

можливих випадкових відхилень параметрів технологічного процесу [26]. Потім повертаються до початкової вибірки (до ранжирування) і замість кожного  $x_i$  ставлять «+», якщо  $x_i > \tilde{x}_{med}$ , і «-», якщо  $x_i < \tilde{x}_{med}$  (члени вибірки, які дорівнюють медіані, пропускаються). Висувається гіпотеза  $H_0$  про випадковість відхилень значень від центральної лінії, що характеризує номінальне значення характеристики технологічного процесу. Якщо гіпотеза вірна, то чергування знаків «-» і «+» у послідовності не повинно містити занадто довгих серій, і число серій не повинно бути значним. При рівні значущості  $0,005 < \alpha < 0.0975$  кількісне вираження правила прийняття гіпотези, що висувається, має вигляд [27]:

$$\nu(n) > \frac{1}{2} [n + 1 - 1.96\sqrt{n-1}]; \quad (2.38)$$

$$\tau_{max}(n) < [3.3(\lg n + 1)], \quad (2.39)$$

де  $\nu(n)$  – число серій;  $\tau_{max}(n)$  – довжина найбільшої серії (кількість «плюсів» або «мінусів» поспіль у найдовшій серії);  $n$  – кількість значень у вибірці.

Якщо хоча б одна з нерівностей (2.38) або (2.39) виявиться порушеною, то гіпотезу про випадковість зміни характеристики технологічного процесу слід відкинути й прийняти гіпотезу про наявність систематичного зміщення, тобто має місце розладнання процесу.

Не дивлячись на достатню чутливість критерію, заснованого на медіані, він має суттєвий недолік, який в деякій мірі обмежує його застосування при контролі технологічного процесу на малому підприємстві – для знаходження медіани необхідно мати вибірку достатнього обсягу (не менше 15-20 значень).

*Критерій «висхідних» та «низхідних» серій* чутливий до прогресуючих та систематичним зміщень. Цей критерій також ґрунтується на дослідженні послідовності знаків – «плюсів» та «мінусів» і «вловлює» поступове зміщення (за ходом вибіркового обстеження) середнього значення у досліджуваному розподілі не тільки монотонного, але й більш загального, наприклад, періодичного характеру.

Вихідним пунктом є послідовність результатів спостереження – вибірка  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , на  $x_i$ -му місці якої ставлять знак «плюс», якщо

$$x_{i+1} - x_i > 0, \quad (2.40)$$

та «мінус», якщо

$$x_{i+1} - x_i < 0. \quad (2.41)$$

Послідовність появи «плюсів» поспіль буде відповідати зростанню результатів спостереження (висхідна серія), а послідовність «мінісів» – їх зменшенню (спадна серія). Критерій заснований на принципі: якщо вибірка випадкова (спостереження незалежні), то в утвореній послідовності знаків загальне число серій не може бути занадто малим, а їх протяжність (у кількості появи поспіль «плюсів» або «мінісів») – занадто великою. Зокрема, при рівні значущості  $0,05 < \alpha < 0,0975$  кількісне вираження цього правила набуде вигляду:

$$\nu(n) > \frac{1}{3} \left[ (2n-1) - 1.96 \sqrt{\frac{16n-29}{90}} \right], \quad (2.42)$$

$$\tau(n) < \tau_0(n), \quad (2.43)$$

Величина  $\tau(n)$  залежно від  $n$  визначається наступним чином [27]:

$$n \leq 26 \Rightarrow \tau_0(n) = 5; \quad 26 < n \leq 153 \Rightarrow \tau_0(n) = 6; \quad 153 < n \leq 1170 \Rightarrow \tau_0(n) = 7.$$

Якщо хоча б одна з нерівностей (2.42-2.43) виявиться порушеною, то гіпотезу про випадковість вибірки слід відкинути й прийняти гіпотезу про наявність систематичного зміщення у технологічному процесі.

За допомогою даного критерію можна обґрунтувати раніше виявлену емпіричним шляхом особливу причину, яка свідчить про порушення процесу: шість зростаючих або спадних точок поспіль на контрольній карті. У цьому випадку на графіку будуть дві послідовності: виду  $x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+5}$  з шести зростаючих точок та виду  $x_j, x_{j+1}, \dots, x_{j+5}$  з шести спадних точок поспіль (критерій 3 у [2]). Даний тренд на контрольній карті представлений на рис.2.23.

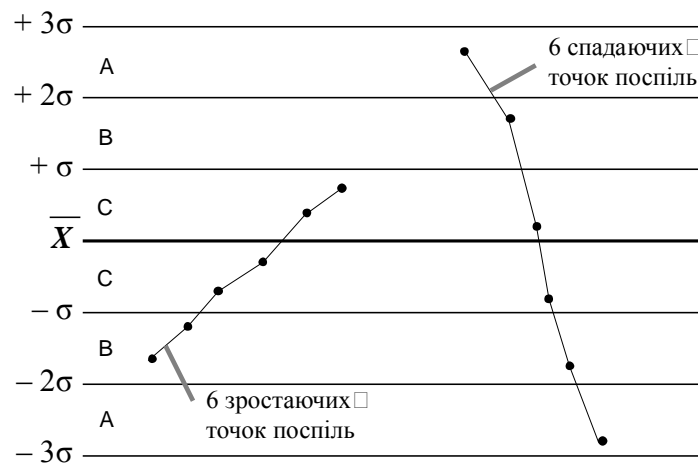


Рисунок 2.23 – Критерій 3.1

Якщо використовувати формули (2.40-2.41), то отримаємо, що довжина серії для цих вибірок буде  $\tau(n) = 5$ , при цьому  $n$  – кількість членів вибірки не перевищуватиме 20, оскільки отримання кожного значення вибірки є дорогим. Це свідчить про те, що нерівність (2.38) не виконується, значить, гіпотезу про випадковість вибірки слід відкинути та прийняти гіпотезу про наявність систематичного зміщення – розладнання технологічного процесу. При цьому обсяг необхідних експериментальних даних – замалий.

Таким чином, встановлений в ході аналізу критерій 3.1 (рис. 2.23) свідчить про наявність зростаючої (або такої, що зменшується) систематичної похибки, причини виникнення якої мають бути з'ясовані та усунені.

Слід зауважити, що при аналізі даних, були розглянуті контрольні карти індивідуальних значень та проведена перевірка двох критеріїв, які наведені в [19,25] – критерій серій, заснований на медіані вибірки та критерій квадратів послідовних різниць (критерій Аббе) [25, 28, 29]. Для виявлення похибок розладнання технологічного процесу з використанням даних критеріїв, необхідно досить значне число вимірювань  $n$ . Однак, цю умову на малому підприємстві практично не можливо здійснити, а на малих вибірках ці критерії себе «не виявляють» [30, 31].

## **2.5 Практична спрямованість застосування критеріїв розладнання технологічного процесу**

Критеріїв, аналогічних розрахованим та наведеним у Додатку А, може бути безліч. Поява будь-якого з них – вказівка на присутність особливих причин, які повинні бути проаналізовані та скориговані. Бувають ситуації, коли очевидно, що з процесом щось відбувається не так, хоча всі точки лежать всередині контрольних границь. З іншого боку, чим більше критеріїв можна використовувати, тим більша ймовірність марного втручання у процес. Тут важливо оцінити ризики зайвої налагодженості та / або непоміченого розладнання процесу.

Для малих підприємств тільки пошук особливих причин, що викликають спостережувані випадкові варіації контрольованих параметрів, економічно неефективний. Недостатньо приймати рішення, ґрунтуючись тільки на аналізі структури декількох точок, без аналізу всього процесу. Слід видаляти причину, якщо вона призводить до розладнання, і, навпаки, якщо вона свідчить про позитивні зміни процесу, то зробити цей стан складовою процесу. Так, на рис.2.25 представлений узагальнений алгоритм діагностування змін технологічного процесу, як позитивних, так і негативних, за допомогою контрольних карт, коли є необхідність у перерахунку їх контрольних меж, наприклад, при запуску нового або модернізації (модифікації) старого технологічного процесу.

Значення статистичної характеристики, за якого процес визнається розладнаним, визначається виходячи з впливу цього значення на частку дефектної продукції. Ця частка дефектної продукції не повинна перевищувати допустимого значення рівня дефектності (максимального рівня дефектності, встановленого в нормативних документах), яке встановлюється з економічних міркувань [32].

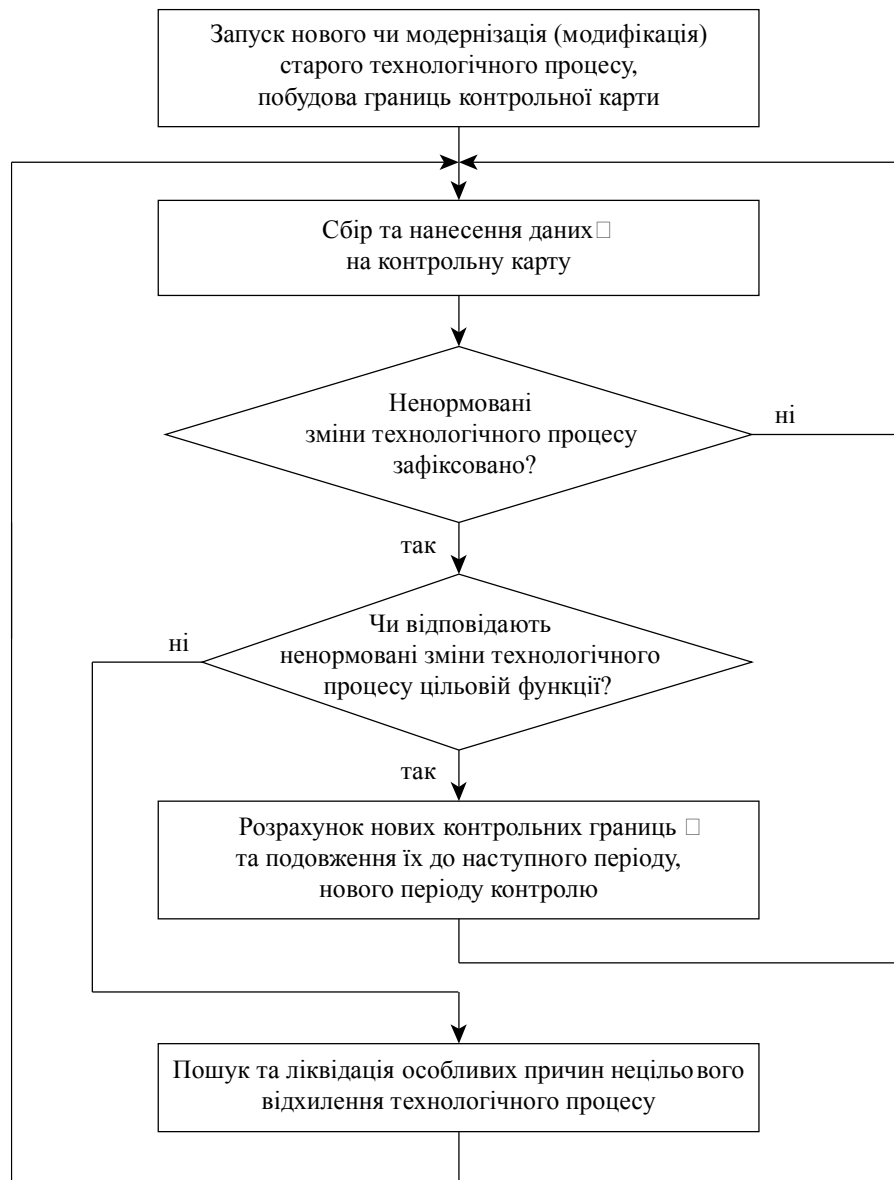


Рисунок 2.24– Узагальнений алгоритм діагностування змін технологічного процесу

Отже, для малих підприємств необхідно оптимізувати процес контролю на рівні системних змін, що належать до компетенції топ-менеджерів, на рівні проектування процесу та поліпшення всіх входів в нього (якість сировини й матеріалів, технічного стану обладнання та інструменту, навчання персоналу тощо). Для цього, в першу чергу, необхідно мати у своєму розпорядженні відповідний набір ефективного статистичного інструментарію, на підставі якого, топ-менеджер, виходячи з наявного досвіду, може приймати оптимальні рішення.

## Висновки за розділом 2

1. Наведено принцип встановлення попереджувальних меж та меж дії для контрольних карт, за яким можна розраховувати будь-які контрольні межі для вирішення практичних завдань

2. Знання чутливості контрольних карт (числа кроків вибіркового контролю) дозволяє за відносно малої тривалості технологічного процесу, що характерно для малопотужних підприємств, обґрунтовано установлювати інтервали між вибірками й за необхідності, вводити додаткові попереджувальні граничні значення.

3. Як показав проведений аналіз, рекомендація нормативних документів щодо числа значень у вибірках 4-5 справедлива лише для  $s$ -карт. Для карт середніх значень чутливість залежить від числа елементів у вибірках, що необхідно враховувати при організації системи забезпечення якості продукції, особливо для малопотужних підприємств.

4. Проведено аналіз можливих ситуацій, які можуть свідчити про розладнання процесу та виходу його зі стану статистичної керованості. Знайдено та обґрунтовано основні критерії, що дозволяють ідентифікувати особливі причини розладнання технологічного процесу. Так, аналіз з використанням біноміальної моделі дозволяє встановити додаткові критерії виявлення особливих причини розладнання процесу, й за допомогою отриманих поточних значень регулювати контрольні границі, протягом більш тривалого часу підтримувати процес в стані статистичної керованості, забезпечувати стабільне середнє значення вимірюваної характеристики.

5. Показано, що за допомогою критерію «висхідних» та «низхідних» серій можливо виявити нові особливі ситуації, які свідчать про розладнання процесу за невідомого розподілу контрольованих параметрів.

6. Даний статистичний інструментарій дає можливість більш глибоко вивчити характер процесу й, згодом, може бути покладений в основу методики планування (проектування) контролю якості технологічного процесу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 1. Загальні настанови: (ISO 7870-1:2014, IDT) : ДСТУ ISO 7870-1:2016. – [чинний від 2016-09-01]. – (Державний Стандарт України). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=65874](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65874). Назва з екрану.
2. Статистичний контроль. Карти контрольні. Частина 2. Карти Шухарта (ISO 7870-2:2014, IDT) : ДСТУ ISO 7870-2:2016. – [чинний від 2016-09-01]. – (Державний Стандарт України). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=65875](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=65875). Назва з екрану.
3. Статистические методы контроля качества продукции: [под ред. Ноулера]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 96 с.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980, Т.1. – 610 с.
5. Мэрдок Дж. Контрольные карты / Дж Мэрдок. – М.: Финансы и статистика, 1986, 251 с.
6. Nishina, K., Kuzuya, K., Ishi, N.: Reconsideration of Control Charts in Japan. *Frontiers in Statistical Quality Control*. 8, 136-150 (2005).
7. Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення: ДСТУ 3514-1997. – К.: Держстандарт України, 1997. – [Чинний від 1997-07-01]. – 60 с. – (Державний стандарт України).
8. Статистика. Словник термінів і позначки. Частина 2. Прикладна статистика: (ISO 3534-2:2006, IDT): ДСТУ ISO 3534-2:2008. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://document.ua/statistika -slovník-terminiv-i-poznaki -chastina-2 -prikladn-std9474.html>. Назва з екрану.
9. D. J. Wheeler, D.S. Chambers *Understanding Statistical Process Control*. Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company, (2010).
10. Gatti, P.L.: *Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineers*. Taylor & Francis, (2004).



11. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 6. Використання значень точності на практиці: (ISO/IEC 5725-6:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-6:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 50 с. – (Національний стандарт України).

12. Volodarsky E., L.Kosheva, Z.Warsza, A. Idźkowski. Precautionary statistical criteria in the monitoring quality of technological process / E. Volodarsky, L.Kosheva, Z.Warsza, A. Idźkowski // In book Recent Advances in Systems, Control and Information. Proceeding of International Conference SCIT 2016, May 20-21, 2016. – Warsaw, Poland. – Technology. – Springer, 2017. – p. 740-750.

13. Статистические методы повышения качества: [пер. с англ.] / Под ред. Х. Кумэ. – М.: Финансы и статистика. – 1990. – 304 с.

14. Миттаг Х.-Й., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества. Пер. с нем. – М; Машиностроение, 1995, - С. 616.

15. Володарський Є.Т. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта / Є.Т. Володарський, М.В. Добролюбова, М.О. Клевцова // Інформаційні системи, механіка та керування, 2017. – № 17 (2017). – С. 51-60.

16. Wheeler D. Advanced Topics in Statistical Process Control. The power of Shewhart's Charts. – Knoxville, SPC Press, (1995).

17. Hoyer R.W., Ellis W.C. A Graphical Exploration of SPC. Part 2: The probability structure of rules for interpreting control charts. – Quality Progress, vol. 29, №6, pp. 57-64, (1996).

18. Wheeler D. J., Chambers D.S. Understanding Statistical Process Control. First Edition. SPC Press Knoxville, Tennessee, (1992).

19. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. – М.: Физматлит, 2007.– 551 с.

20. Volodarsky E. Control stability of indicators product quality / E. Volodarsky, L.Kosheva, Z.Warsza, M. Klevtsova // Метрология и метрологическое обеспечение: Proceedings of 27<sup>th</sup> International scientific

symposium “Metrology and metrology assurance 2017”. September 8-12, 2017, Sozopol, Bulgaria. – p.332-336.

21. Солонин С. И. Метод контрольных карт: учебное пособие: [Электронное издание] / С. И. Солонин; М-во образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург, ЦНОТ ИТОО УрФУ, 2014. – 213 с.– Режим доступа <http://elar.urfu.ru/handle/10995/3613>. Назва з екрану.

22. Адлер Ю.П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом. Часть 2. / Ю.П. Адлер, О.В. Максимова, В.Л. Шпер. – 2011.– [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.twirpx.com/file/906586/>. Назва з екрану.

23. Багузин С.В. Контрольные карты Шухарта. Правила определения отсутствия управляемости / С.В Багузин, 2011.– [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://baguzin.ru/wp/kontrolnye-karty-shuharta-pravila-op/>. Назва з екрану.

24. Клевцова М.А. Обобщенный подход к оцениванию статистической управляемости технологического процесса. Часть 1. Статистическое обоснование критериев разлаженности технологического процесса / М.А. Клевцова, Л.А. Кошечкина // Метрологія та прилади, 2018.– № 1. – С.40-45.

25. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / Кобзарь А. И. — М.: Физматлит, 2006. — 816 с.

26. Хьюбер П. Робастность в статистике / П. Хьюбер: [пер. с англ.] — М.: Мир, 1984. — 304 с.

27. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования / Т.А. Дуброва. – М.: ЮНИТИ, 2003. – 206 с.

28. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 471с.

29. Лемешко С.Б. Критерий независимости Аббе при нарушении предположений нормальности // Измерительная техника, 2006.– № 10. – С.9-14.

30. Лемешко Б.Ю., Комиссарова А.С., Щеглов А.Е. Применение некоторых критериев проверки гипотез случайности и отсутствия тренда // Метрология, 2010. – № 12. – С. 3-25.

31. Bonnini, S., Corain, L., Marozzi, M., Salmaso S. Nonparametric Hypothesis Testing: Rank and Permutation Methods with Applications in R. — Hoboken: John Wiley & Sons, (2014).

32. Клевцова М.А. Обобщенный подход к оцениванию статистической управляемости технологического процесса. Часть 2. Статистический инструментарий для оценивания регулируемости технологического процесса, М.А. Клевцова, Л.А. Кошечая // Метрологія та прилади, 2018.— № 2.—С.47-53.

## РОЗДІЛ 3

### ПОСЛІДОВНА ПРОЦЕДУРА ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

У розділі здійснено аналіз вимог до підвищення вірогідності оцінки відповідності продукції заданим вимогам. Показано, що вірогідність прийняття вірного рішення залежить від невизначеності вимірювання, пов'язаної з результатом вимірювального контролю, та довжини допускового інтервалу. Встановлено, що найбільш ефективним методом оцінювання та прийняття рішення щодо відповідності об'єкта є послідовний адаптивний метод та показана його сутність. Розроблено алгоритм реалізації запропонованого методу. Показано, що застосування методу дозволяє підвищити ймовірність прийняття вірного рішення про відповідність для кожного контрольованого об'єкта та у порівнянні з відомими методами, суттєво не впливає на зменшення продуктивності та підвищення собівартості продукції.

#### **3.1 Оцінювання впливу випадкових величин на вірогідність прийняття рішення**

Контроль як процедура оцінювання відповідності продукції заданим вимогам ґрунтується, як правило, на результатах вимірювання певної властивості продукції. Для вимірюваної величини вимоги задаються границями поля допуску, які відокремлюють інтервали допустимих значень вимірюваної величини від критичних (недопустимих). Об'єкт відповідає заданим вимогам, коли значення його властивості (параметра) знаходиться в межах поля допуску [1]. Покази вимірювальної системи [2] відображають інформацію про значення контрольованої величини за допомогою моделі вимірювання, яка включає ефекти як систематичних, так і випадкових впливів (або їх сукупності). Якщо вплив систематичних величин можна

врахувати (скорегувати) при калібруванні вимірювальної системи, то вплив випадкових величин залишається й оцінюється за допомогою невизначеності (непевності) вимірювання. Через невизначеність вимірювання завжди існує ризик (ймовірність) прийняття помилкового рішення про відповідність або невідповідність об'єкта (його параметра) встановленим вимогам на підставі виміряного значення властивості об'єкта (його параметра). Отже, оцінка відповідності заданим вимогам є ймовірнісним завданням, заснованим на вимірювальній інформації.

Одним з методів зменшення впливу випадкових величин на вірогідність прийняття рішення є усереднення  $n$  результатів спостережень. При цьому виникає суттєве збільшення обсягу контрольно-вимірювальних операцій, що у свою чергу призводить до зменшення продуктивності та збільшення собівартості контролю [3]. При контролі ймовірність правильного прийняття рішення визначається не тільки параметрами закону розподілу випадкових величин, але й положенням поточного значення контрольованої величини по відношенню до граничних значень допускового інтервалу. Чим ближче значення до границь поля допуску, тим більша ймовірність прийняття помилкового рішення, однак є деяка область можливих значень, де впливом випадкових величин можна знехтувати.

Таким чином, доцільно так організовувати процедуру оцінки відповідності, щоб, виходячи з попередньої оцінки значення контрольованої величини, приймалося рішення про необхідність проведення додаткових спостережень цієї величини. Така процедура в статистиці носить назву послідовної [4]. При цьому рішення про продовження або закінчення процедури контролю приймається на кожному поточному етапі й залежить від впливу випадкових величин на попередніх етапах. Розроблення та аналіз адаптивних алгоритмів контролю, які базуються на послідовній процедурі, і складає предмет дослідження у цьому розділі.

Рішення про те, чи прийняти об'єкт як відповідний технічним умовам або відхилити як невідповідний, базується на результаті вимірювання  $z$

характерної властивості об'єкту та залежить від встановленого правила прийняття рішення, де визначальним при формуванні приймального критерію є невизначеність вимірювання. Інтервал вимірних значень властивості об'єкта, за якими приймають об'єкт називають інтервалом приймання, який визначається однією чи двома приймальними границями. При чому, приймальні границі вибираються таким чином, щоб мати можливість управляти небажаними наслідками рішень, що були прийняті помилково.

Одним з основних правил, які широко застосовують під час прийняття рішення, є правило, відоме як просте приймання [5] або спільний ризик [6]. За такого правила й виробник, й споживач погоджуються, що результат вимірювання відповідає дійсному стану об'єкта. За цим результатом або бракують об'єкт, якщо значення його властивості поза полем допуску, або приймають, коли результат знаходиться у середині поля допуску. За правилом, що базується на простому прийманні, виробник та споживач несуть спільну відповідальність за неправильність прийнятого рішення.

Як було сказано раніше, при контролі випадкові величини впливають на вірогідність прийняття рішення не у всьому діапазоні контрольованої величини, а у певних межах біля граничних значень  $x_n$  та/або  $x_v$ . У кондитерському виробництві, при оцінці відповідності готової продукції задається тільки нижня границя. Тому всі подальші викладки будемо пов'язувати з нижнім граничним значенням  $x_n$ , хоча отримані результати можна розповсюджувати й на випадок заданої верхньої границі  $x_v$ .

Спочатку розглянемо випадок, коли є тільки один результат  $z_1 > x_n$ , тобто приймається рішення, що виріб відповідає нормі. Але цей результат фактично є сумою можливого значення  $x^0$  контрольованої величини  $X$ , та реалізації випадкової величини  $y^0$ , тобто

$$z_1 = x^0 + y^0.$$

Результату  $z_1$  може відповідати і  $(x_1 + y_1)$ , і  $(x_2 + y_2)$ , і т.д. (рис. 3.1), де  $y_1, y_2$  – реалізації випадкової величини при вимірюванні відповідно  $x_1$  та  $x_2$

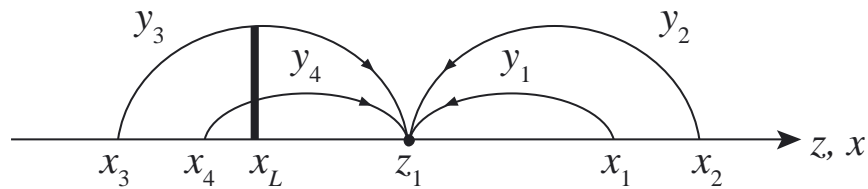


Рисунок 3.1 – Можливі результати, що можуть належати контрольованій величині

Оскільки значення  $x_1, x_2$  являють собою одне з можливих значень контрольованої величини, що визначається законом розподілу цієї величини, то  $z_1$  може бути «продуктом» різних сполучень можливих значень контрольованої величини  $x^0$  та можливих значень впливної випадкової величини  $y^0$ . Однак той самий результат  $z_1$  може бути отриманий як

$$z_1 = x_3 + y_3 \text{ або } z_1 = x_4 + y_4,$$

де  $y_3$  і  $y_4$  – реалізації випадкової величини при вимірюванні відповідно  $x_3$  і  $x_4$ .

При цьому приймається помилкове рішення, що продукція відповідає нормі, хоча в дійсності – не відповідає, оскільки і  $x_3$ , і  $x_4$  менші за граничне значення  $x_n$  [7]. Ймовірність такої події залежить від можливого значення контрольованої величини (на рис. 3.1 може бути або значення  $x_3$ , або  $x_4$ ) та виду закону розподілу можливих значень впливної випадкової величини  $y^0$ , що показано на рис. 3.2.

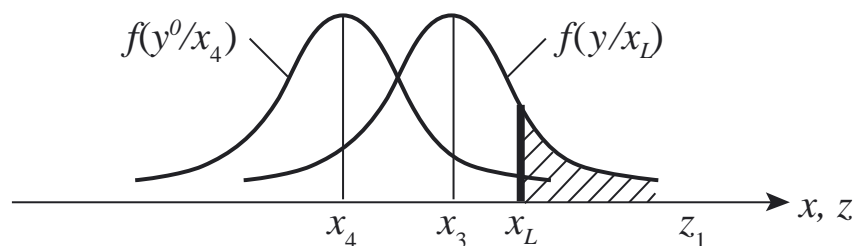


Рисунок 3.2 – Залежність результату від значень впливної величини та виду закону розподілу

Приймаємо, як це робиться у більшості практичних випадків, що закон розподілу величини  $y^0$  – нормальний. Заштрихована площа під кривою

розподілу на рис. 3.2. відповідає ймовірності невизначеної відмови. З наведеного можна зробити висновок: чим далі від граничного значення  $x_H$  знаходиться значення контрольованої величини властивості об'єкта  $x$ , що не відповідає нормі, тим менше ймовірність помилкового прийняття рішення про відповідність. Найбільша ймовірність помилкового прийняття рішення про відповідність буде у випадку, коли  $x^0 = x_H$ . Ця ситуація наведена на рис. 3.3. Ймовірність такого рішення дорівнюватиме 0,5.

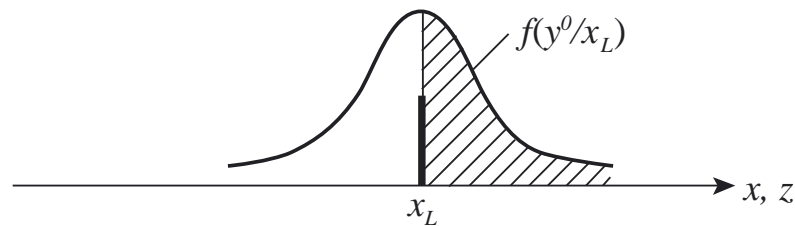


Рисунок 3.3 – Найбільша ймовірність помилкового прийняття рішення

Приймаючи до уваги, що контрольована та впливна величини можуть приймати будь-які значення, необхідно розглядати ймовірність виникнення складної події (СН, РВ). Тут СН – стан «невідповідний», РВ – рішення «відповідний». Ймовірність такої складної події, яка є невизначеною відмовою, запишеться як [1]:

$$P_{H.B} = P(x < x_H, z > x_H). \quad (3.1)$$

Оскільки випадкові величини  $x$  – можливі значення контрольованої величини та  $z$  – результат вимірювання не є незалежними, то для знаходження згортки ймовірностей складових, перепишемо вираз (3.1) як

$$P_{H.B} = P(x < x_H, y > x_H - x)$$

або

$$P_{H.B} = \int_{-\infty}^{x_H} f_1(x) dx \int_{x_H - x}^{+\infty} f(y) dy \quad (3.2)$$

На рис. 3.4 відображено границі інтегрування. Заштрихована площа на рис. 3.4 відповідає можливим сполученням  $x$  та  $y$ , за яких виникає



невизначена відмова. Так, наприклад, для деякого значення контрольованого параметра  $x = a$  невизначена відмова буде за значень  $y \geq y_a$ .

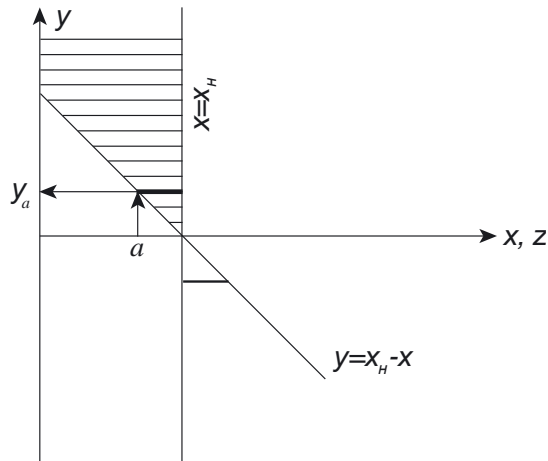


Рисунок 3.4 – Можливі сполучення  $x$  та  $y$ , за яких виникає невизначена відмова

Оскільки вірогідність правильного прийняття рішення про відповідність  $P_B = 1 - P_{н.в}$  залежить від ймовірності невизначеної відмови  $P_{н.в}$ , то, виходячи з наведеного вище, необхідно підвищувати точність вимірювання, яка впливає на правильність прийняття рішення.

Точність вимірювання, яка залежить від точності вимірювальної системи, що застосовується під час процедури контролю, оцінюється розширеною невизначеністю  $U = 2 u_c$  [8], де  $u_c$  – сумарна стандартна невизначеність.

### 3.2 Взаємозв'язок вірогідності прийняття рішення та невизначеності вимірювання

Визначимо зв'язок між ймовірністю прийняття помилкових рішень та стандартною невизначеністю вимірювань. Для цього скористаємось співвідношенням між довжиною допускового інтервалу та стандартною (у загальному випадку сумарною стандартною) невизначеністю  $u_c$ .

У документі [9] вводиться параметр, який характеризує якість вимірювання стосовно вимог до об'єкта контролю, які задаються у вигляді поля допуску. Цей параметр називається показником вимірювальних можливостей та визначається як

$$C_m = \frac{x_b - x_n}{4u_c} = \frac{T}{2U}, \quad (3.3)$$

де  $x_b, x_n$  – границі поля допуску;  $U = 2u_c$  – розширена невизначеність з коефіцієнтом охоплення  $k = 2$ ;  $T$  – довжина допускового інтервалу.

З рівності (3.3) випливає, що  $C_m > 4$  за  $u_c \leq T/16$ . Коефіцієнт 4 обирається за умови використання інтервалу охоплення  $[z - 2u_c, z + 2u_c]$ .

Виходячи із значення показника вимірювальних можливостей  $C_m$  можна для заданих границь поля допуску ( $x_b, x_n$ ) обчислити апіорну ймовірність відповідності об'єкта заданим нормам. Розглянемо випадок з двостороннім полем допуску, оскільки відомо, що одностороннє поле допуску є окремим випадком двостороннього, коли одна границя задана у явному вигляді (її значення записують у відповідних нормативних документах), інша границя задана у неявному вигляді, виходячи з фізичних або теоретичних причин.

За нормального закону розподілу можливих відхилень результатів вимірювання  $z$  від вимірюваної величини  $x$ , ймовірність відповідності обчислюється як

$$p_b = \Phi\left(\frac{x_b - x}{u_c}\right) - \Phi\left(\frac{x_n - x}{u_c}\right), \quad (3.4)$$

де  $\Phi(\cdot) = \int_{-\infty}^a e^{-t^2} dt$  – функція Лапласа;  $u_c$  – стандартна невизначеність результату  $z$ .

Оскільки до відповідних відносять об'єкти (параметри), значення вимірюваної величини яких знаходиться у допусковому інтервалі  $T = x_b - x_n$ , введемо для величини, що знаходиться у допусковій зоні, відносну величину

$$\tilde{x} = \frac{x - x_n}{T}, \quad \tilde{x} = (x - x_n)/T \quad (3.5)$$

яка приймає значення

$$\tilde{x} = \begin{cases} 0 & \text{при } x = x_{\text{н}} \\ 1 & \text{при } x = x_{\text{в}} \end{cases}.$$

Підставляючи вираз (3.5) у вираз (3.4), отримаємо залежність, яка зв'язує ймовірність відповідності та показник вимірювальних можливостей, що враховує відносне значення контрольованої величини

$$p_{\text{в}} = \Phi[4C_m(1-\tilde{x})] - \Phi(-4C_m\tilde{x}) = p_{\text{в}}(\tilde{x}, C_m). \quad (3.6)$$

На рис.3.5. наведена діаграма, яка показує, за яких співвідношень  $C_m$  та  $\tilde{x}$  значення ймовірності відповідності  $p_{\text{в}}$  залишається сталим та рівним 95% для  $0 \leq \tilde{x} \leq 1$ .

Крива поділяє області відповідності (заштриховані) та невідповідності (незаштриховані). Як випливає з рис.3.5 за  $C_m = 1$  ( $u_c = T/4$ ), значення що відповідають ймовірності  $p_{\text{в}} \geq 95\%$  буде тільки для відносних контрольованих величин у діапазоні  $0,45 \leq \tilde{x} \leq 0,55$ . Для розширення діапазону можливих контрольованих значень треба збільшувати значення  $C_m$ .

Прямим шляхом для досягнення цього є зменшення невизначеності вимірювання  $u_c$ .

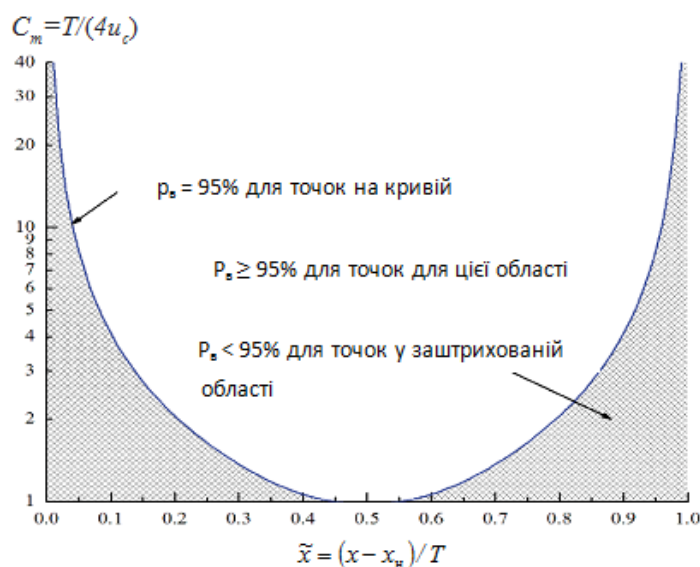


Рисунок 3.5 – Діаграма, яка показує, за яких співвідношень  $C_m$  та  $\tilde{x}$  значення ймовірності відповідності  $p_{\text{в}}$  залишається сталим та рівним 95%

Зменшення невизначеності може бути реалізовано кількома шляхами.

- використанням більш точних вимірювальних систем;
- проведенням багаторазових спостережень контрольованої величини, приймаючи за результат вимірювання характерної ознаки середнє арифметичне;
- введенням контрольних допусків (захисних смуг).

За першим підходом підвищення вимог до точності вимірювальної системи призводить до підвищення її складності, і як наслідок до збільшення її вартості. При цьому збільшується час вимірювання, зменшується швидкодія вимірювальної системи, яка зворотно-пропорційна складності ЗВТ [10]. При цьому відомо, що ефективність процедури прийняття рішення  $E$  про відповідність під час контролю є функціоналом вірогідності контролю  $V$ , продуктивності  $P$  та його собівартості  $C$ :

$$E = F(P * V * C).$$

Отже, вирішуючи задачу підвищення ефективності контролю, відбувається виграш за одним показником – вірогідністю, та втрати за двома іншими – продуктивністю та собівартістю. Крім того, виникає необхідність у залучені відповідного персоналу вищої кваліфікації (настроювачів, контролерів) як під час виробництва, так і під час експлуатації.

Другий підхід, який реалізовується шляхом проведення багаторазових спостережень [11] контрольованої величини  $z_i$ , за результат вимірювання характерної ознаки якої приймається середнє арифметичне

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i}{n},$$

теж має суттєві недоліки.

По-перше, хоча і зменшується вихідна невизначеність  $u$  у  $\sqrt{n}$  разів, обсяг контрольно-вимірювальних операцій збільшується у  $Wn$  разів ( $W$  – число контрольованих об'єктів, а  $n$  – число паралельних спостережень), тобто безпосереднє усереднення спостережень має надлишковість.

По-друге, як вже відзначалося, правильність прийняття рішення залежить від розташування значення контрольованої величини та пов'язаної з ним невизначеності відносно граничних значень допускової зони. Особливо вплив випадкових величин проявляється у тих випадках, коли результат вимірювання близько підходить до верхньої чи нижньої границі допускового інтервалу. У такому разі, існує такий діапазон можливих значень вимірюваної величини, де неточність вимірювання не впливає на правильність прийняття рішення про відповідність, тобто дійсний стан та рішення про відповідність співпадають.

Аналіз залежності, представленій на рис. 3.5, показує, що є деякий інтервал, границі якого залежать від співвідношення невизначеності вимірювань та довжини допускового інтервалу, де приймаються «абсолютно» правильні рішення про відповідність об'єкта. Таким чином, не потрібно проводити  $n$  паралельних спостережень для обчислення середнього результату для усього діапазону можливих значень контрольованої величини.

### **3.3 Підвищення вірогідності оцінки відповідності за рахунок введення захисної смуги**

У випадку, коли інтереси замовника мають більшу вагу (пріоритет), для отримання ймовірності прийняття рішення на менше заданої/допустимої, в документі [9] пропонується вводити захисну смугу  $w$ . Сформувати захисну смугу дозволяє введення інтервалу приймання (*acceptance interval*), контрольні границі якого відстоять від границь поля допуску (зміщені у середину поля допуску) на захисну смугу

$$w = U = 2u.$$

На рис. 3.6 показано як верхня приймальна границя  $x'_в$ , розташована з внутрішнього боку по відношенню до верхньої границі поля допуску  $x_в$ , визначає приймальний інтервал, який зменшує ймовірність помилкового приймання невідповідного об'єкта (ризик споживача). За згодою

параметр довжини  $w$ , пов'язаний із захисною смугою, що використовується при захищеному прийманні, має додатне значення:

$$w = x_B - x'_B > 0.$$



Рисунок 3.6 – Розташування захисної смуги

Правило прийняття рішення на підставі захисної смуги називається захищеним прийманням. В літературі це поняття відомо як позитивна відповідність при прийманні [12], в [13] приймальний інтервал називається областю відповідності, а поле допуску – областю технічних вимог.

Як впливає з аналізу, проведеного у підрозділі 3.1, ширина цієї смуги має дорівнювати сумарній стандартній невизначеності, за межами якої залишковий вплив випадкових величин не перевищує 5%. Саме так і рекомендують у [9].

Методика прийняття рішення про відповідність з накладанням захисних смуг дозволяє зменшити ймовірність помилки 1-го роду за рахунок збільшення ймовірності 2-го роду (і навпаки) шляхом відповідного зсуву приймальних границь щодо меж поля допуску, тобто введення захисних смуг між границями поля допуску та відповідній приймальній границі може призвести до втрат виробника, які, за певних умов, можуть бути суттєвими.

Таким чином, введення захисної смуги дозволяє з одного боку гарантувати правильність прийняття рішення про відповідність, а з другого – зменшити обсяг контрольно-вимірювальних операцій.

Результат первинного вимірювання  $z_i$ , який потрапив в межі приймального інтервалу, є остаточним для прийняття рішення про відповідність. А для об'єктів, результати первинних вимірювань яких знаходяться в інтервалі  $(x'_B, x_B)$  або  $(x_H, x'_H)$ , пропонується проводити  $n$

паралельних спостережень. Проаналізуємо, як при цьому збільшиться обсяг контрольно-вимірjuвальних операцій. Не порушуючи загальності отримуваних висновків, будемо розглядати ситуації, що виникають в околі нижнього граничного значення  $x_n$  при оцінюванні відповідності об'єкта.

Припустимо, що встановлена границя  $x_n'$ , коли за наявного значення  $C_m$  об'єкт визнається відповідним, але ймовірність цього рішення менше, ніж задана (необхідна). Тоді, щоб уточнити дійсний стан об'єкту, коли результат вимірювання його характерної властивості потрапить в інтервал  $(x_n, x_n')$ , (назвемо його «сумнівний»), приймається рішення щодо проведення додаткових  $n$  паралельних спостережень параметра цього об'єкта.

Тоді, якщо  $W$  – уся сукупність контрольованих об'єктів,  $s_0$  – число об'єктів контролю, за результатами первинного вимірювання вихідних величин яких було прийнято рішення про додаткові вимірювання, маємо сумарний обсяг контрольно-вимірjuвальних операцій на першому кроці:

$$V_1 = W + s_0(n-1),$$

де  $s_0$  – дискретна випадкова величина, що може приймати значення  $l=0, \dots, W$ .

Нехай в цей інтервал потрапить  $s_0$ -й результат первинного вимірювання  $z_{1i}$  при контролі об'єкта. Спочатку допустимо, що в цей інтервал потрапив тільки один результат з сукупності  $W$  контрольованого об'єкта, тобто  $s_0 = 1$ .

Середнє значення, обчислене за поточним та  $n$  додатковими спостереженнями становить:

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i. \quad (3.7)$$

У середньоарифметичному значенні  $\bar{z}$  виразу (3.7) індекс відповідає номеру контрольно-вимірjuвального етапу (первинний + додатковий).

При обчисленні середнього значення враховується також і первинний результат вимірювання при контролі. У випадку, коли число первинних результатів, що потрапили у інтервал «сумніву», дорівнює одиниці ( $s_0 = 1$ ), сумарний обсяг контрольно-вимірjuвальних операцій становить:

$$V_1 = W + 1(n-1),$$

де  $W$  – число контрольованих об'єктів

У випадку, коли приймається рішення для двох «сумнівних» об'єктів, тобто за первинної контрольовано-вимірювальної операції у інтервал  $(x_n, x_n')$  потрапляють  $s_0 = 2$  результатів, тоді обсяг буде:

$$V_2 = W + 2(n-1).$$

Число об'єктів  $s_0$ , що після проведення первинної контрольовано-вимірювальної операції потребує додаткових спостережень, є дискретною випадковою величиною, яка може приймати значення  $l = 0, 1, \dots, W$ , тобто допускається випадок, коли до інтервалу  $(x_n, x_n')$  потрапляють спостереження за всіма об'єктами [14].

Ймовірність того, що дискретне випадкове число прийме значення  $l$  з можливого числа  $W$  буде дорівнювати:

$$P\{s_0 = l\} = C_W^l p^{W-l} q^l. \quad (3.8)$$

Математичне сподівання випадкової величини  $s_0$ , яка може приймати значення  $l = \overline{0, W}$ , буде визначатися як

$$M\{s_0\} = \sum_{l=0}^W l \cdot C_W^l p^{W-l} q = qW. \quad (3.9)$$

Тоді математичне сподівання повного обсягу контрольовано-вимірювальних операцій з урахуванням основних первинних та додаткових контрольовано-вимірювальних операцій буде:

$$\tilde{V} = W + M\{s_0\}(n-1) = W + Wq(n-1)$$

або

$$\tilde{V} = W[1 + q(n-1)]. \quad (3.10)$$

Збільшення обсягу контрольовано-вимірювальних операцій порівняно з початковим (первинним) обсягом  $V_0 = W$  буде визначатися як



$$\lim_{W \rightarrow \infty} \frac{\tilde{V}}{W} = 1 + q(n-1). \quad (3.11)$$

Отримане співвідношення (3.11) буде справедливим й для допускового інтервалу з двома граничними значеннями ( $x_n, x_b$ ).

Значення  $q$  та  $n$  залежать від точності (невизначеності) вимірювань та закону розподілу можливих значень контрольованої величини [15].

Таким чином, при потраплянні результату первинного вимірювання у захисну смугу, ширина якої визначається розширеною невизначеністю вимірювання, необхідно проводити додаткові контрольні-вимірювальні операції. Це забезпечує зменшення ймовірності помилкового рішення про відповідність. Оскільки при цьому не враховується відстань значення контрольованої величини до граничного значення, такий підхід має суттєве збільшення контрольних-вимірювальних операцій. Цього можна позбутися, використовуючи для додаткових досліджень апарат послідовного аналізу Вальда [16].

Як відомо [17], побудова статистичного критерію  $\gamma(N) = \gamma(x_1, x_2, \dots, x_i, x_N)$ , де  $x_i$  – спостережуване в  $i$ -му досліді значення аналізованої ознаки (фактора), для перевірки гіпотези за умови фіксованого обсягу вибірки  $N$  область можливих значень критичної статистики  $\gamma(N)$  розбивається на дві: область I правдоподібних (в умовах гіпотези  $H_0$ , що перевіряється) та область II неправдоподібних значень  $\gamma(N)$ .

При попаданні конкретного (експериментального) значення статистики  $\gamma(x_1, x_2, \dots, x_N)$  у область неправдоподібних значень приймається рішення про відхилення гіпотези  $H_0$  та прийняття протилежної гіпотези  $H_1 = \bar{H}_0$ . «Якість» аналізованого статистичного критерію  $\gamma(N)$  характеризується рівнем значущості (ймовірності помилки першого роду)  $\alpha$ , потужністю критерію  $(1 - \beta)$ , де  $\beta$  – ймовірність помилки другого роду, властивостями незміщеності та спроможності. Для спроможних критеріїв можна домагатися як завгодно малих значень  $\alpha$  і  $\beta$  лише за рахунок збільшення обсягу вибірки  $N$ , на підставі якої приймається рішення. У класичній схемі організації

спостережень, заздалегідь не відомо, чи достатньо фіксовану кількість спостережень  $N$  для відмінності цікавлячих нас гіпотез  $H_0$  та  $H_1$  з заданими характеристиками вірогідності  $(\alpha, \beta)$ .

Поряд з класичною схемою спостереження у практиці статистичних досліджень застосовуються послідовні схеми спостережень, за яких на кожному з послідовних у часі етапах спостереження приймається одне з трьох рішень:

- «прийняти основну гіпотезу  $H_0$ », якщо конкретне (число) значення статистики  $\gamma(x_1, \dots, x_v)$  потрапляє у область  $\Gamma \cap H_0$  правдоподібних (за умови справедливості  $H_0$ ) значень критичної статистики  $\gamma_v$ , де  $v$  – обсяг вибірки апріорі не обмежений;

- «відкинути гіпотезу  $H_0$ », якщо конкретне числове значення статистики  $\gamma(x_1, \dots, x_v)$  потрапляє у область  $\Gamma \cap H_1$  неправдоподібних значень критичної статистики  $\gamma_v$ ;

- «остаточний висновок відкладається й проводиться наступне  $(v + 1)$ -е спостереження», якщо конкретне числове значення статистики  $\gamma(x_1, \dots, x_v)$  потрапляє в область  $\Gamma_v^*$  сумнівних значень.

Послідовна схема організації спостережень є більш гнучкою та економічною за числом дослідів  $v$ , необхідних для забезпечення заданої якості  $(\alpha, \beta)$  перевірки, статистичного критерію  $\gamma_v$  у порівнянні з класичною схемою спостережень, де  $v = N$  – фіксоване. Іноді вдається скоротити необхідну кількість дослідів у 2-3 та навіть у 4 рази [17].

### **3.4 Метод послідовного прийняття рішень з фіксованими граничними значеннями**

Як зазначалося, при контролі, на відміну від вимірювань, випадкова складова похибки вимірювальної системи впливає на результат не в усьому діапазоні можливих значень контрольованої величини. Тому виникає можливість зменшення цього впливу в певних межах навколо граничних

значень допускового інтервалу, що дозволить зменшити обсяг додаткових вимірювань. Використання послідовної процедури Вальда, коли за результатами поточної контрольно-вимірювальної операції приймаються рішення про продовження або закінчення контролю, дозволить мінімізувати кількість додаткових вимірювань при вирішенні задачі підвищення вірогідності контролю. Це дозволить, на відміну від розглянутих вище методів, зменшити додаткові часові та економічні витрати [18, 19].

Особливістю методу контролю з використанням послідовної процедури є диференційний підхід, тобто оцінювання кожного об'єкту, що надходить на контроль, індивідуальне уточнення стану об'єкту, на відміну від традиційного інтегрального підходу проведення фіксованого числа багаторазових вимірювань для всіх контрольованих об'єктів з наступним усередненням отриманих результатів.

Отже, сутність запропонованого методу полягає у проведенні адаптивного контролю, що, залежно від контрольно-вимірювальної інформації, проводиться за один, два та більше етапів (кроків). На першому основному етапі проводиться контроль усіх об'єктів без винятку. Перехід до наступного додаткового етапу приймається у випадку, коли результат вимірювання його параметру потрапив у зону прийняття сумнівних рішень – зону додаткових уставок ( $x_n, x_n'$ ) або/та ( $x_b', x_b$ ). Розмір зони додаткових уставок встановлюється залежно від метрологічних характеристик вимірювальної системи і, як було показано раніше, відповідає розширеній невизначеності вимірювання  $U$ .

Вихідним є сумарна стандартна невизначеність вимірювання  $u_c$ , яка визначає границі  $x_n'$  та/або  $x_b'$ , та граничне число послідовних етапів (кроків) при потраплянні результату  $z$  у додатковий інтервал ( $x_n, x_n'$ ) або/та ( $x_b', x_b$ ).

Позначимо через  $p$  ймовірність того, що приймається рішення про відповідність параметрів об'єкта нормам, і на тому контроль закінчується. Це свідчить про те, що результат не потрапив у додатковий інтервал і не потрібно переходити до послідовної процедури, а приймається вірогідне

рішення про відповідність об'єкту. Тоді  $q = 1 - p$  – ймовірність того, що результат початкового (первинного) вимірювання опинився у зоні невизначеності, й виникає необхідність переходу до послідовної процедури. Число додаткових етапів вимірювання вибираємо, виходячи з умови

$$p_{x0} / p_x = k,$$

де  $p_{x0}$  – вірогідність хибної відмови при одноразовому вимірюванні контрольованої величини, тобто без застосування послідовної процедури.

На рис.3.7. наведено алгоритм послідовної процедури контролю для загального випадку – наявності нижнього та верхнього граничних значень, який враховує не тільки забезпечення часових та матеріальних втрат при встановленні відповідності контрольованого об'єкту нормам, але й при встановленні його невідповідності [14].

Загальне число вимірювань (обсяг), включаючи етапи послідовної процедури буде:

$$V_{W(r)} = W + s_0 + s_1 + \dots + s_r,$$

де  $r$  – число етапів;  $s_0$  – число об'єктів первинного результату вимірювання, які потрапили у інтервал  $(x_n, x_n')$  й приймається рішення про проведення додаткової контрольовано-вимірювальної операції;  $s_1$  – число об'єктів, результати вимірювання яких після первинного додаткового етапу залишились в інтервалі  $(x_n, x_n')$  й приймається рішення про проведення другої додаткової контрольовано-вимірювальної операції тощо.

Оскільки число  $z$  додаткових етапів послідовної контрольовано-вимірювальної процедури для кожної конкретної сукупності (партії) об'єктів є величиною випадковою, яка пов'язана із законом розподілу контрольованої величини  $f(x)$  та можливих значень впливних величин  $f(y)$ , то  $s_0 + s_1 + \dots + s_r$  – випадкові величини.

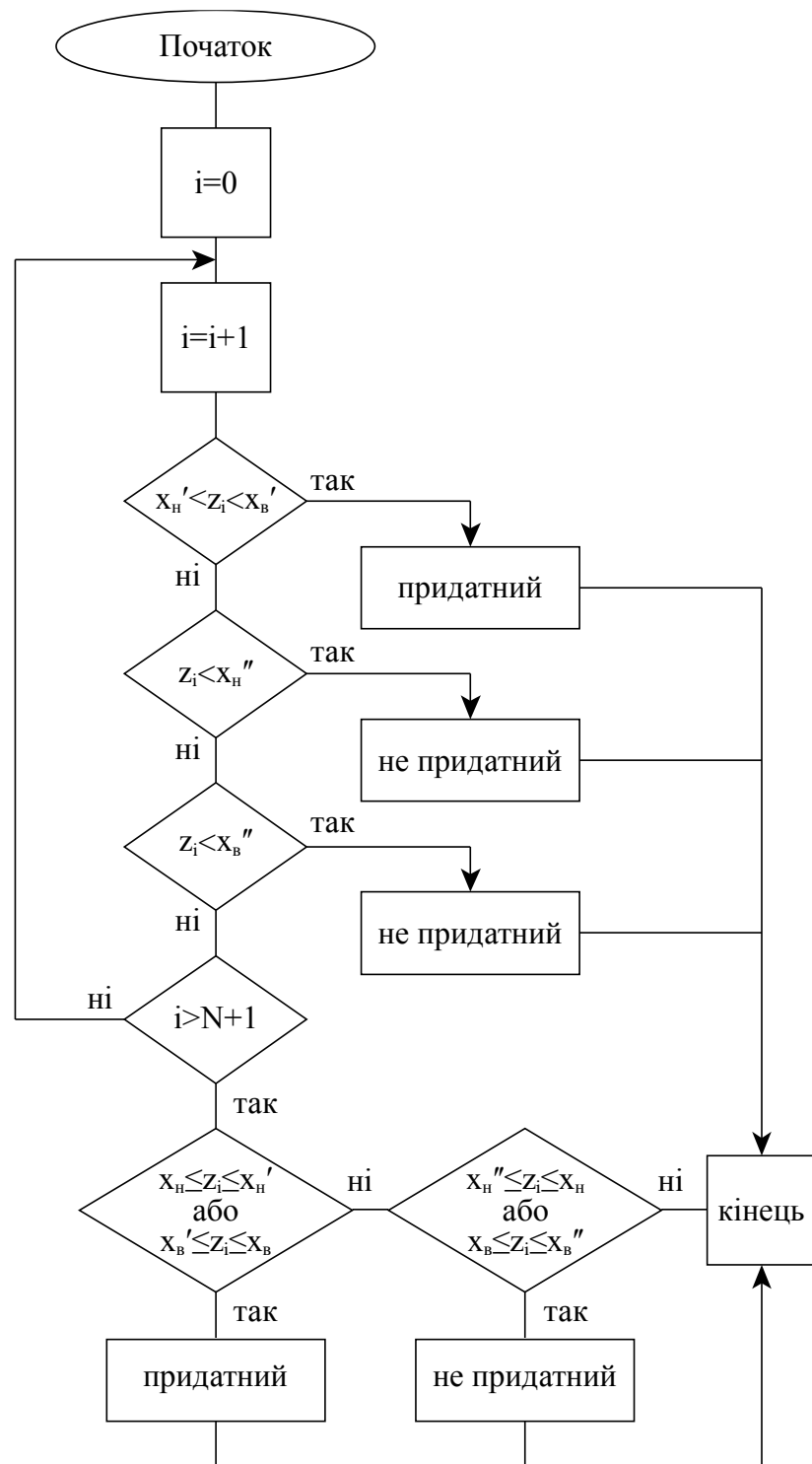


Рисунок 3.7 – Алгоритм послідовної процедури контролю

Тоді математичне сподівання сумарного обсягу контрольно-вимірювальних операцій буде:

$$MV_{W(r)} = W + Ms_0 + Ms_1 + \dots + Ms_r. \quad (3.12)$$

Розглянемо складові виразу (3.12).

Ймовірність того, що об'єкт визнається придатним, позначимо  $P$ :

$P\{s_0 = 0\} = p^w$  – ймовірність того, що стан об'єкта визначено при первинному вимірюванні, тобто жоден з них не потрапив у інтервал  $(x_n, x_n')$ ;

$P\{s_0 = 1\}$  – ймовірність того, що за результатами первинного вимірювання потрібно проводити додатковий етап тільки для одного об'єкту. Це може бути перший з контрольованої партії, або другий, або третій й т.д, тобто

$$P\{s_0 = 1\} = C_w^1 p^{w-1} q^1,$$

де  $C_w^1$  – число можливих сполучень отримати результат, який потрапив в інтервал  $(x_n, x_n')$ .

Ймовірність того, що після первинного (основного) етапу послідовну процедуру необхідно проводити для всіх об'єктів з контрольованої партії буде:

$$P\{s_0 = W\} = q^w,$$

Тоді математичне сподівання події  $s_0$  буде [20]:

$$Ms_0 = \sum_{i=0}^w l \cdot C_w^i p^{w-i} q^i = Wq.$$

Таким чином, після контролю на першому додатковому етапі  $s_0$  об'єктів, результати вимірювання яких потрапили в інтервал  $(x_n, x_n')$ , частина результатів буде більша за  $x_n'$ , тобто  $z_i > x_n'$  й приймається рішення, що об'єкт відповідний. Є частина з підмножини  $s_0$ , результати вимірювання параметрів яких буде менша за  $x_n$ , тобто  $z_i < x_n$  й приймається рішення про невідповідність.

Але є ще третя частина  $s_1$  – коли після першого додаткового етапу  $n$  спостережень залишились у інтервалі  $(x_n, x_n')$ . Для них приймається рішення про проведення другого додаткового етапу.

Оскільки  $s_0$  та  $s_1$  є залежними величинами, необхідно й визначати умови математичного сподівання

$$Ms_1 = M(M s_1 | s_0).$$

Оскільки ймовірність правильного прийняття дорівнює  $P$ , то значення ймовірності умовної події  $P(s_1|s_0)$  залежить від числа результатів  $l$ , які потрапили у інтервал  $(x_n, x_n')$  після першого додаткового етапу.

Допустимо, що після першого додаткового етапу в інтервалі  $(x_n, x_n')$  не залишилося жодного значення, тобто  $[s_1|s_0 = 0]$ . Цій події відповідає ймовірність  $P(s_1|s_0) = p^l$ . Якщо ж після другого додаткового етапу в інтервалі залишився тільки один результат, тобто  $[s_1|s_0 = 1]$ , то ймовірність такої умовної події буде  $p^{l-1}$ . Оскільки це може бути при контролі на другому додатковому етапі з будь-яким з  $l$  об'єктів, то необхідно це враховувати шляхом числа сполучень  $C_l^1$ , тобто з  $l$  об'єктів залишився б один. Ймовірність такої події:

$$P([s_1|s_0 = 1]) = C_l^1 p^{l-1} q.$$

Побудуємо ряд умовних ймовірностей  $P(s_1|s_0)$ , тобто ймовірностей проведення наступного етапу за умови, що  $s_0$  може приймати значення від 0 до  $l$ , який представлено в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Ймовірності умовного ряду розподілу

$s_0$	0	1	...	$j$	...	$l$
$P(s_1 s_0)$	$p^l$	$C_l^1 p^{l-1} q$	...	$C_l^j p^{l-j} q^j$	...	$q^l$

Оскільки математичне сподівання дискретної величини випадкової величини  $s_1|s_0$ , яка приймає значення від 0 до  $l$ , дорівнює сумі добутків значень цієї величини та ймовірність появи такої події, то отримаємо:

$$M(s_1 | s_0) = \sum_{j=0}^l j \cdot C_l^j \cdot p^{l-j} \cdot q^j = ql.$$

Таким чином, число контрольно-вимірювальних операцій на першому додатковому етапі визначається виразом:

$$M(s_1) = M(M(s_1 | s_0)) = \sum_{l=0}^W q \cdot l \cdot p\{s_0 = l\} = q \sum_{l=0}^W l \cdot C_W^l p^{W-l} q^l = ql.$$

Виконавши аналогічні вищенаведеним перетворення для залежних між собою величин  $s_2, s_1, s_0$  отримаємо:

$$Ms_2 = M(M(s_2/s_1, s_0) = Wq^3.$$

У результаті отримаємо вираз для математичного сподівання сумарного (який враховує й додаткові етапи) обсягу контролю при застосуванні послідовної процедури:

$$MV_{W_{\text{посл}}}(r) = W + W \sum_{j=1}^r q^j \quad (3.13)$$

Скориставшись формулою для суми геометричної прогресії [21], вираз (3.13) запишеться як

$$MV_{W_{\text{посл}}}(r) = W + Wq \frac{1 - q^{r+1}}{1 - q} = W(1 + q \frac{1 - q^{r+1}}{1 - q}).$$

Таким чином, збільшення обсягу контрольованих операцій буде:

$$\lim_{W \rightarrow \infty} \frac{M(V_{\text{посл}})}{W} = 1 + q \frac{1 - q^{r+1}}{1 - q}. \quad (3.14)$$

Якщо порівняти вирази (3.14) та (3.11), які характеризують збільшення обсягу контрольованих операцій по відношенню до обсягу при простому прийманні, можна зробити висновок, що метод послідовного прийняття рішень має значно менше збільшення обсягу контрольованих операцій

Таким чином, метод послідовного прийняття рішень з фіксованими граничними значеннями контрольованої величини дозволяє підвищити вірогідність контролю за менших часових витрат, а отже й зменшує собівартість продукції без втрати її якості.

### 3.5 Метод адаптивних контрольних граничних значень

Однією з характерних особливостей малопотужних підприємства, таких як, наприклад, кондитерські фабрики, асортимент продукції може



змінюватися два й більше разів за добу. При цьому компоненти – складові продукції можуть залишатися незмінними, але допускові інтервали на них змінюються. Оскільки засоби вимірювання на технологічній лінії залишаються тими самими, то й інструментальна складова невизначеності вимірювання залишається тією самою. Це призводить до зміни  $C_m$ , що своєю чергою впливає на ймовірність відповідності та з рештою, на вірогідність прийняття вірного рішення за результатами контролю.

### 3.5.1 Опис методу адаптивних контрольних граничних значень

Для уникнення вищенаведених недоліків та обмежень пропонується адаптивний послідовний метод прийняття рішення про відповідність (метод адаптивних контрольних граничних значень). Він, як і попередній метод, базується на послідовній процедурі. Відмінною рисою є те, що залежно від поточного результату вимірювання приймається рішення про закінчення процедури контролю або, про уточнення дійсного стану об'єкту (відповідний/невідповідний). Для цього вводяться нові граничні значення та переходять до наступного етапу контролю в цих границях. Така процедура продовжується до тих пір, поки не «досягнемо» граничних значень, яким відповідає вірогідність 0,95 або більше.

На початку процедури прийняття рішення, виходячи з реального співвідношення довжини допускового інтервалу та невизначеності вимірювання (рис. 3.5) визначають вихідні відносні контрольні границі  $\tilde{x}_{1H}$  та  $\tilde{x}_{1B}$ , які відповідають ймовірності прийняття рішення про відповідність  $p_B = 95\%$ .

На підставі виразу (3.5) знаходять відносні значення цих контрольних границь:

$$\tilde{x}_{1H} = \frac{x_{1H} - x_H}{T}; \quad \tilde{x}_{1B} = \frac{x_{1B} - x_B}{T},$$

з урахуванням яких визначають контрольні границі для первинного контрольного вимірювання:

$$x_{1H} = \tilde{x}_{1H} T + x_H, \quad (3.15)$$

$$x_{1B} = \tilde{x}_{1B} T + x_B. \quad (3.16)$$

З цими контрольними граничними значеннями порівнюють первинний результат вимірювання  $z_1$ . Якщо він знаходиться у межах

$$x_{1H} \leq z_1 \leq x_{1B}, \quad (3.17)$$

то з ймовірністю  $p_s \geq 95\%$  приймається рішення про відповідність об'єкта (параметра) заданим нормам й на цьому процедура контролю закінчується.

Якщо нерівність (3.17) не виконується, то переходять до процедури адаптивного визначення контрольних границь та порівняння з ними обчисленого середнього значення отриманих результатів двох паралельних спостережень:

$$\bar{z}_2 = \frac{z_1 + z_2}{2},$$

При цьому допускається, що систематичні ефекти були враховані при калібруванні вимірювальної системи.

Значення ж відносних контрольних границь знаходять з того самого графіку (рис.3.5) для

$$C_{m1} = T/4u_1,$$

де  $u_1 = u_c/\sqrt{2}$ .

Абсолютні значення наступних контрольних границь  $x_{2H}$  та  $x_{2B}$  обчислюють за виразами (3.15) та (3.16), де вихідними величинами є  $\tilde{x}_{2H}$  та  $\tilde{x}_{2U}$ , які знаходять з графіка (рис.3.5) для  $C_{m1}$ . Знову перевіряють виконання нерівності, але з іншими контрольними границями

$$x_{2H} \leq \bar{z}_2 \leq x_{2B}.$$

За умови виконання нерівності приймається рішення про відповідність.

У протилежному випадку проводять третє вимірювання, й середнє значення трьох вимірювань  $\bar{z}_3$  порівнюють з новими розрахованими границями  $x_{3H}$  та  $x_{3B}$  й т.д.

Число додаткових вимірювань для кожного контролюваного об'єкту залежить від ймовірності потрапляння  $i+1$  середнього значення між

контрольними границями цього інтервалу за умови, що на попередньому етапі середнє значення знаходилося між контрольними границями  $i$ -го контрольного інтервалу, але ймовірність відповідності була меншою за 0,95.

Число об'єктів, для яких після первинного вимірювання буде прийнято рішення про відповідність, визначається площею під кривою розподілу можливих значень контрольованої величини між значеннями  $x_{1н}$  та  $x_{1в}$ . [3].

Ймовірність закінчення процедури оцінювання відповідності залежить не тільки від співвідношення між  $C_m = T/4u_m$ , а й від СКВ технології виробництва.

Даний метод, як і попередній, в якому також застосовується послідовна процедура, дозволяє оцінювати відповідність кожного з контрольованих об'єктів. Число послідовних етапів визначають також за допустимою «залишковою» ймовірністю прийняття помилкового рішення про відповідність об'єкта. Ця ймовірність залежить від параметрів закону розподілу контрольованої величини.

Відмінною рисою методу адаптивних границь є те, що зменшується ризик прийняти невідповідний об'єкт як відповідний. Але реалізація його складніша, ніж реалізація методу з фіксованими граничними значеннями.

### **3.5.2 Алгоритм реалізації методу адаптивних контрольних граничних значень**

У загальному випадку алгоритм, за яким реалізується метод можна подати наступним чином.

1. Виходячи із значення сумарної стандартної невизначеності  $u_c$ , яка залежить від метрологічних характеристик засобів вимірювання, що використовують при контрольних вимірюваннях, обчислюють вихідне значення  $C_m = T/4u_c$ .

2. Встановлюють на основі залежності, наведеної на рис. 3.5, первинні відносні значення контрольних границь  $\tilde{x}_{1н}$  та  $\tilde{x}_{1в}$ .

3. На підставі виразів (3.15) та (3.16) знаходять абсолютні значення первинних контрольних границь.

4. Порівнюють результат вимірювання  $z_1$  з абсолютними значеннями первинних контрольних границь.

За умови виконання нерівності (3.17) об'єкт, з ймовірністю не менше 95%, визнається відповідним.

За умови невиконання нерівності (3.17) переходять до послідовної процедури зменшення невизначеності вимірювання та знаходження додаткових контрольних границь.

5. Визначають на  $(i+1)$ -у етапі середнє значення як

$$\bar{x}_{i+1} = \frac{i\bar{x}_i}{i+1} + \frac{x_{i+1}}{i+1}, (i = \overline{0, n}). \quad (3.18)$$

6. Порівнюють середній результат з контрольними границями  $x_{(i+1)H}$  та  $x_{(i+1)B}$ , які були знайдені, виходячи з стандартної сумарної невизначеності

$$u_{c(i+1)} = u_c / \sqrt{i+1}.$$

Якщо на  $n$ -му етапі ймовірність прийняття рішення про відповідність в межах граничних значень  $x_H$  та  $x_B$  залишається менше 95%, то приймається рішення про невідповідність об'єкту.

### Висновки за розділом 3

1. Проведено аналіз впливу випадкових величин на правильність прийняття рішення про відповідність контролюваного об'єкту встановленим нормам. Показано, що встановлення захисної смуги, ширина якої відповідає розширеній невизначеності вимірювання, забезпечує ймовірність помилкових рішень не більше ніж 5%.

2. Встановлено, що введення захисних смуг та використання контрольних границь, які пов'язанні з цією смугою, підвищує вірогідність контролю, але при цьому виникають помилки 1-го роду, що призводить до відчутних втрат виробництва. Для зменшення втрат запропоновано при попаданні результату первинного вимірювання у захисну смугу проводити фіксоване число додаткових паралельних спостережень.

3. Дістав подальшого розвитку метод захищеного приймання щодо відповідності продукції шляхом формування вирішального правила за покроковим уточненням відповідності контрольованої величини, результат вимірювання якої потрапив у захисну смугу, довжиною, пропорційною невизначеності вимірювання, за якого прийняття рішення про продовження або закінчення процедури контролю на кожному поточному етапі залежить від впливу випадкових величин на попередніх етапах. Це дозволяє зменшити ризик прийняття помилкового рішення та запобігає втратам виробника.

4. Запропоновано метод адаптивних контрольних границь, за якого на підставі показника вимірювальних можливостей обчислюються значення первинних контрольних границь, при потраплянні результату вимірювання до яких, безпосередньо приймається рішення про відповідність об'єкту з ймовірністю не менше 95%. При знаходженні результату за межами первинних контрольних границь переходять до послідовної процедури зменшення невизначеності вимірювання та знаходження додаткових контрольних границь, з якими на наступному кроці порівнюється середнє значення, обчислене за всіма результатами, отриманими на усіх попередніх кроках.

5. Встановлено, що підвищення вірогідності контролю при захищеному прийманні за послідовною процедурою з фіксованим додатковим числом перетворень при попаданні первинного результату у захисну смугу призводить до збільшення обсягу контрольовано-вимірювальних операцій, але дозволяє зменшити число помилкових рішень у задане число разів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Володарський Є.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник /[ Є.Т.Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б.Сердюк] – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219с.

2. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM), JCGM 200:2008, Joint Committee for Guides in Metrology(JCGM), (2008).

3. Володарський Є.Т. Адаптивний послідовний метод прийняття рішення про відповідність продукції /Є.Т. Володарський, Л.О. Кошева, М.О. Клевцова // Вимірювальні прилади та метрологія, 2018. – № 79 (1), С. 58-63.

4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента / Джонсон Н., Лион Ф.: [пер. с англ.] — М.: Мир, 1981. –520 с.

5. American Society of Mechanical Engineers. ASME B89.7.3.1:2001 Guidelines for decision rules: Considering measurement uncertainty in determining conformance to specifications. New York, (2001).

6. International Laboratory Accreditation Cooperation. ILAC-G8:1996 Guidelines on assessment and reporting of compliance with specification. Silverwater, Australia, (1996).

7. Статистичні методи. Настанови щодо оцінювання відповідності заданим вимогам. Частина 1. Загальні положення: (ISO 10576-1:2003, IDT): ДСТУ ISO 10576-1:2006.– [чинний від 2008.01.01]. – 19 с. (Національний стандарт України)

8. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM : 1995). – Geneva: ISO/IEC, 2008. – 120 p.

9. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment..

10. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / Орнатский П.П. – К.:Вища школа, 1983. – 455 с.

11. Новицкий П.В. О пределе достижимой точности при автоматической статистической обработке результатов многократных измерений / Новицкий П.В. // Измерительная техника. – 1963. - №5. – с.44-49.
12. Deaver, D. Managing calibration confidence in the real world. 1995 NCSL Workshop and Symposium (1995), 1-17.
13. International Organization for Standardization. ISO 14253-1:1998 Geometrical Product Specifications GPS - Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications. Geneva, (1998).
14. Володарський Є.Т. Послідовні алгоритми контролю / Є.Т. Володарський, О.М Литвиненко.// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2006, - №3(7). - с.23-29
15. Volodarsky. Uncertainty of measurement and reliability of the decision making on compliance / E. Volodarsky, Z. Warsza, L. Kosheva, M. Klevtsova // Automation, 2019. – №58 (1), – p.
16. Вальд А. Последовательный анализ: Монография / А.Вальд.–[ пер. с англ.] – М.: Физматиз, 1960. – 320 с.
17. Айвазян С.А. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных / Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л. – М.: Финансы и статистика, 1983.
18. Клевцова М.О. Взаємозв'язок показника вимірювальної можливості з вірогідністю ухвалення рішення при контролі технологічного процесу / М.О. Клевцова // Тези доповідей IV Всеукраїнської науково-технічної конференції у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018» (TUM-2018), Славськ, 13–18 лютого 2018 р.
19. Volodarsky E. Control stability of indicators product quality / E.Volodarsky, Z.Warsha, L.Kosheva, M. Klevtsova // Proceedings of 27<sup>th</sup> International scientific symposium «Metrology and metrology assurance 2017». – September 8-12, 2017, Sozopol, Bulgaria. – p.332-336.
20. Статистические методы в инженерных исследованиях: [учебн.

пособие] / [Бородюк В.П., Вошинин А.П., Иванов А.З. и др] ; под ред. Г.К. Круга. – М.: Мир, 1981. – 320 с.

21. Гусак А.А., Высшая математика. В 2-х т., Т.2: [учебн. пособие] / А.А. Гусак. – М.: “ТетраСистемс”, 1988. – 448 с.



## РОЗДІЛ 4

### АСПЕКТИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

У розділі розглянуто особливості технологічного процесу виготовлення борошняних кондитерських виробів, проведено аналіз впливу технологічних параметрів на якість продукції на всіх етапах технологічного процесу. Визначено, що для малопотужних підприємств з дискретним способом виробництва етап замішування тіста є самим раннім етапом, на якому можна встановити розладнання процесу. При цьому встановлено, що основним впливним параметром на якість продукції є вологість тіста, значення якого залежить від маси сухих речовин рецептурних інгредієнтів та вологопоглинальної властивості борошна. Проведено аналіз вимог нормативних документів щодо забезпечення якості кінцевого продукту при його пакуванні та фасуванні. Встановлено, що кожен вид продукції має свої вимоги при фасуванні щодо забезпечення норм допустимих відхилень, для виконання яких необхідно здійснювати статистичний підхід.

Розроблено методику планування контролю якості продукції та апробовано її в умовах малопотужного кондитерського виробництва; наведено практичні рекомендації щодо її застосування. Впровадження методики надало можливість зменшити нормативні втрати сировини при виробництві продукції та зменшити кількість повернень продукції з торгових мереж з причин неналежної якості до 2...3 процентних пунктів.

#### 4.1 Технологічні особливості виробництва печива

Використання контролю якості продукції лише на останньому етапі технологічного процесу не дозволяє оперативно виявити відхилення в технологічних процесах виробництва, тоді як застосування статистичних

методів контролю дозволяє не тільки виявляти порушення, але й підтримувати процес в стабільному статистично керованому стані і, таким чином, забезпечити повторюваність та відтворюваність його результатів. Використовуючи інструменти статистичного керування процесами, можна своєчасно виявляти появу зміщень та варіацій і, таким чином, звести до мінімуму ймовірність настання їх негативних наслідків, що з рештою може призвести до зниження рівня непоправного браку.

Як об'єкт управління в роботі досліджується технологічний процес виробництва печива, де вихід та якість готової продукції оцінюється, перш за все, властивістю сировини та якістю приготування тістового напівфабрикату.

Методи виробництва кондитерських виробів на малопотужних та великих промислових підприємствах істотно відрізняються, зокрема, на великих підприємствах в основному застосовуються безперервні процеси, в той час як на МП – технологічні процеси періодичної дії. Чим більший обсяг та номенклатура продукції, що випускається, тим більше число партій, і тим більш вірогідна небезпека відхилень якості у різних партіях. Перевірка якості значного числа невеликих партій – серйозне завдання саме по собі, при цьому статистичний підхід вимагає перевірки значного числа проб. Необхідно перевірити характеристики кожної проби, і на багатьох пробах може виконуватися, принаймні, один аналіз (як правило, найчастіше – це аналіз на вміст вологи). Практично, для продукту такого роду перевірка якості процесу, навіть якщо і проводиться, то не аналізується належним чином, і в результаті властивості продукту можуть істотно змінюватися [1, 2].

Для того, щоб виявити закономірності процесу виробництва печива та його стабільність, був проведений аналіз параметрів замісу тіста із застосуванням рекомендацій стандарту [3]. Використання контрольних карт дозволяє фахівцям підприємства на ранній стадії виробництва запобігти подальшій появі продукції, що не відповідає заданим показникам якості.

Як видно з представленої на рис. 4.1 схеми, технологічний процес виробництва здобного печива складається з наступних послідовних операцій:

підготування сировини до виробництва, замішування тіста, формування, випікання, охолодження, укладання та пакування печива. Практика показала, що найбільш критичними в цьому ланцюгу є процедури замішування тіста та пакування готової продукції. Правильність виконання та підтримання в процесі виробництва параметрів складових суміші, з яких формується тісто, відповідно до норм на них, є гарантією якості продукції.



Рисунок 4.1 – Узагальнена структура технологічного процесу виробництва печива

Точне, в рекомендованих межах, визначення маси одиниці готової продукції – печива, дозволяє заповнювати товарну упаковку відповідно до вимог ДСТУ [4], без зайвих втрат виробника та ризику споживача.

Як зазначалося раніше, виробництво на малопотужних підприємствах є багатомономенклатурним та малосерійним, таким чином, на одному тому самому обладнанні випускається різноманітна продукція. Асортимент печива готується за технологічними схемами відповідно до інструкцій, точне виконання їх є гарантією отримання виробів заданого рівня якості.

Оскільки малопотужні підприємства не мають своїх лабораторій для проведення вхідного контролю сировини, тому не можуть отримати фактичні значення її параметрів. З огляду на це, контроль обмежується тільки перевіркою органолептичних показників, таких як, запах, колір, смак. А при розрахунку технологічних карт керуються параметрами сировини, зазначеними в декларації виробника. Все це призводить до розсіювання параметрів тістового напівфабрикату і, як наслідок, параметрів готової продукції.

Як зазначалося раніше, одним з найважливіших етапів виробництва печива є замішування тіста. Процес тістоутворення має основне значення,

оскільки він передує цілому ряду наступних операцій (формуванню, випіканню, оздобленню тощо), специфічних для різних сортів готових виробів. На стадії тістоутворення головним чином формується структура випечених виробів. Отже, якість готових виробів залежать від якості, отриманої в процесі утворення структури тіста. Тому перша обов'язкова мета операції замішування тіста – отримання однорідної за всією масою суміші, що складається з борошна, води, цукру, жиру та інших компонентів. Головне в цьому процесі – формування необхідної структури тіста і з заданими властивостями.

Висока якість замісу вимагає рівномірного перемішування і розподілу всіх інгредієнтів, повного зволоження всіх частинок борошна та інших сухих інгредієнтів. Тільки так можна добитися того, щоб глютен (клейковина) борошна перетворилася на ланку, що зв'язує структури тіста з його необхідними фізико-хімічними властивостями. Це можливо лише завдяки правильному прикладанню необхідної механічної роботи до чітко підібраних доз борошна й води та інших рецептурних компонентів. Правильно організований контроль дотримання технології та параметрів замісу дозволяє на ранній стадії виробництва внести необхідні корективи в разі відхилення контрольованих параметрів від норми, і таким чином, запобігти подальшому отриманню браку.

Фізико-хімічні властивості кондитерського тіста залежать від його вологості, вмісту в ньому цукру, жиру, яйця продуктів тощо. Виробництво різних видів тіста має свої особливості. На малопотужних підприємствах замішування тіста здійснюється в періодично діючих місильних машинах, що має забезпечити отримання тіста однорідного складу. На рис. 4.2 наведено алгоритм замішування здобного тіста.

Замішування тіста може проводитися в тістомісильних машинах різної конструкції. Найбільш поширеними типами місильних машин періодичної дії на малопотужних підприємствах є планетарні міксери та спіральні тістоміси.

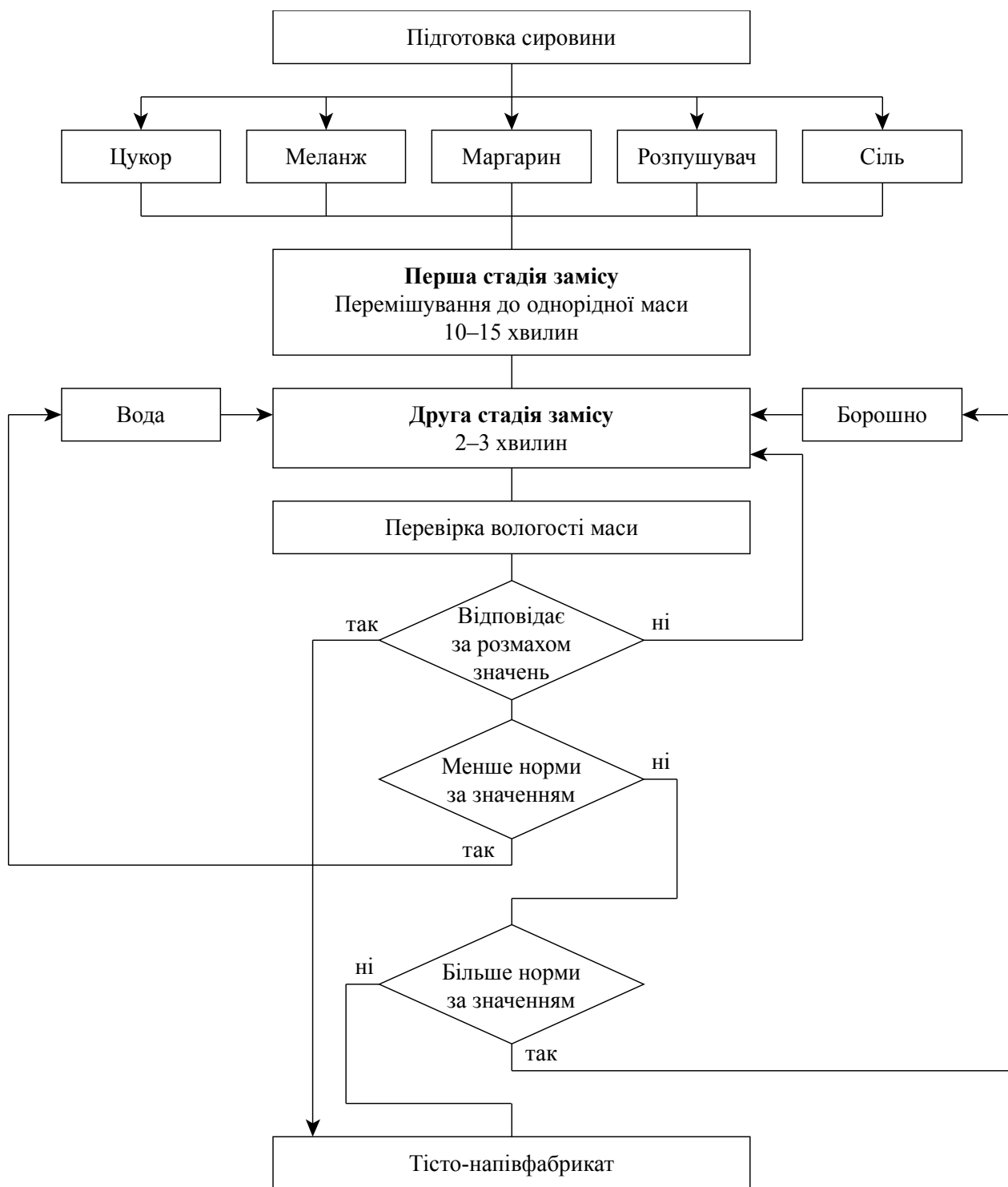


Рисунок 4.2 – Алгоритм замішування здобного тіста

Самі по собі тістомісильні машини мають однаковий принцип дії: за допомогою встановленого місильного органу вони перемішують інгредієнти. Міксери і тістоміси, як правило, виготовляються з нержавіючої сталі. Невеликі міксери мають знімні діжі, у великих – діжа може нахилитися,

причому її край має таку форму, щоб вміст легко можна було вилити. Тістомісильники теж можуть мати знімну або незнімну діжу, а також підйомний та непідйомний робочі механізми. Планетарні міксери, як правило, комплектуються гаком з нержавіючої сталі, збивачкою для вершків та плоскою лопаткою. Ці інструменти взаємозамінні й використовуються для приготування тіста для кондитерських виробів. Спиральні тістоміси отримали свою назву через спіралеподібну мішалку для тіста. У спіралеподібному міксері спіраль-мішалка нерухома, а діжа обертається під час перемішування. При роботі тістоміса цього типу дуже важливим є допуск між крюком спіралі та діжею – він, по можливості, повинен бути якомога менше. Занадто велика відстань від гака до діжі призводить до нерівномірності включення сухих інгредієнтів в тісто, крім того, невелика кількість борошна може залишитися на дні діжі.

Різні моделі спіральних тістомісильників мають різну швидкість обертання гака. У деяких моделях спіраль занадто мала і не захоплює достатню кількість тіста. Крім того, маленька спіраль може почати провертатися вхолосту при досягненні тістом певного ступеню замісу. На малопотужних кондитерських підприємствах, як правило, використовуються планетарні міксери. Вони вимагають більш ретельного зшкрябування борошна й сухих інгредієнтів зі стінок чана для їх правильного змішування. Як впливає з наведеного вище, тістомісильні машини мають конструктивні недоліки, які впливають на однорідність перемішування компонентів і, як наслідок – на якість тіста. Цей факт необхідно враховувати при організації процедури моніторингу якості замісу, тому що відхилення в суміші на виході міксера відбуваються не миттєво, і важливо виявити це на ранній стадії. Тому, при моніторингу технологічного процесу виготовлення тістового напівфабрикату необхідно так організовувати процедуру відбору контрольних вибірок, щоб була можливість оцінювання як однорідність самої вибірки, так і зміну характеристик тіста.

Черговість завантаження сировини в періодично діючі місильні машини відіграє певну роль і впливає на процес утворення тіста та його якість. Для приготування тіста для здобного печива рекомендується наступний порядок завантаження сировини в місильні машини періодичної дії:

- цукор (пісок і пудра);
- маргарин (жири);
- яйця (меланж);
- розпушувачі;
- сіль.

Сировину перемішують протягом (10...15) хв., а потім на робочому ходу міксера завантажують:

- борошно (половинна кількість);
- іншу частину борошна й перемішують ще (2...3) хвилини.

Такий порядок завантаження найбільш доцільний і має своє обґрунтування. Кристалічні види сировини (сіль, цукор) розчиняються при достатній кількості вологи, і тому їх слід розчинити у водовмісній сировині (меланжі) до засипання борошна. Як правило, для здобного та цукрового тіста замість цукрового піску додають цукрову пудру, у якій швидкість розчинення вище, ніж у цукровому піску. Сіль необхідно вживати тільки дрібну і краще розчинену у воді. Якщо знехтувати цим, то на поверхні готових виробів будуть виявлені кристали цукру або солі, що погіршують вигляд і смак виробів.

#### **4.1.1 Технологічні параметри та їх вплив на властивості тіста**

Властивості тіста поряд з якістю та кількістю введених в нього рецептурних компонентів в значній мірі обумовлені різними технологічними параметрами замісу. Особливо велике значення мають вологість тіста, тривалість та температура замісу. Змінюючи всі ці технологічні чинники (рецептуру й вологість тіста, температуру й тривалість замісу), практично отримують тісто для кондитерських виробів, що має найрізноманітніші властивості: від пружно-еластичного до рідкого.

*Вологість тіста.* Тісто для різних видів кондитерських виробів готують з різною вологістю. Чим нижче вологість тіста, тим швидше і з меншими витратами енергії відбувається випікання. У зв'язку з цим переважно готувати тісто з меншою вологістю. Оптимальна вологість тіста, крім його якісних показників, залежить від водопоглинальної здатності використовуваного борошна. Вологість тіста для цукрового печива при використанні борошна першого ґатунку при періодичному замішуванні має бути (16,5...18,5) %. Підвищення або зниження вологості такого тіста веде до набування властивостей, які не відповідають вимогам нормативної документації (печиво стає крихким, ломким або розсипчастим).

Вологість тіста кожної групи виробів залежить від застосовуваних рецептур, всередині кожної групи виробів також передбачаються коливання вологості тіста, оскільки окремі сорти виробів відрізняються вмістом цукру, жиру та інших компонентів, відсотком сухих речовин в їх складі та можливим розсіюванням їх параметрів. Простим додаванням борошна або води якість не забезпечується, бо будуть порушені відносні норми на компоненти тістового напівфабрикату. Їх можна тільки корегувати в певних межах. Регулювання вологості тіста здійснюють шляхом додавання борошна або води до утворення остаточної структури тіста, щоб забезпечити рівномірний розподіл сировини у чані. Орієнтовний розрахунок кількості води, необхідної для коригування вологості тіста, здійснюють за формулою:

$$X = [100C / (100 - A)] - B,$$

де  $X$  – кількість води на один заміс, кг;  $C$  – маса сухих речовин сировини, кг;  $A$  – бажана вологість тесту, %;  $B$  – маса сировини на один заміс (без води, що додається), кг.

У виробничих умовах дозування води при замішуванні тіста уточнюється для кожного сорту виробів окремо, залежно від рецептури та водопоглинальної здатності борошна.

*Температура замісу.* Для тіста з пружною консистенцією (затяжне печиво, галети, крекер) оптимальною є дещо підвищена температура замісу



(32°C...40 °C). При замішуванні пластичного тесту (цукрове печиво) підтримують більш низьку температуру (17 °C...25 °C). При замішуванні тіста в теплу пору року для підтримки такої температури замісу іноді доводиться спеціально охолоджувати воду, що витрачається на заміс. При замішуванні такого тіста за підвищеної температури воно затягується, структура його змінюється, якість виробів значно погіршується, малюнок на поверхні печива змащується. Оптимальну температуру замісу тіста слід уточнювати залежно від температури приміщення цеху.

*Тривалість замішування.* Якщо хочуть отримати тісто з пластичними властивостями (цукрове печиво), тривалість замішування повинна бути мінімальною. Особливо важливо скоротити тривалість контакту борошна з водою й водомісткою сировиною. В результаті цього можна скоротити тривалість процесу набухання клейковини та не дати розвинутися пружним її властивостям. Тривалість замішування пластичного тіста не повинна перевищувати 25 хв. Головне при цьому, затратити мінімальний час, необхідний для отримання однорідної маси з рівномірним розподілом всіх компонентів рецептури за всім об'ємом.

Отже, як витікає з наведеного вище, вологість тіста практично є інтегральним показником, який визначає якість тістового напівфабрикату і, як наслідок, визначає структуру готового виробу.

Значення показника вологості для кожного виду тіста встановлюється експериментальним шляхом, тому і невизначеність відтворення вологості тістового напівфабрикату краще оцінювати за експериментальним методом [5]. При цьому немає необхідності встановлення модельного рівняння [6], яке не завжди може адекватно відображати фізичний процес. Вихід невизначеності за встановлені межі при проведенні моніторингу технологічного процесу є сигналом до втручання – введення в певних межах коригуючих дій.

**4.1.2 Моніторинг вологості.** Раніше було доведено, що контрольованим параметром виробництва тістового напівфабрикату печива

доцільно вибрати показник вологості тіста, оскільки цей параметр фактично зумовлює структуру, а, отже, й якість, кінцевого продукту, що регламентується [7], а розмах параметрів вологості, вимірюваних в різних місцях тістомісильної машини дає інформацію про однорідність перемішування компонентів.

В силу особливостей конструкції тістомісильних машин замішування тіста проводиться нерівномірно, тому необхідно проводити вимірювання вологості у п'яти пробах тіста з різних місць чана (поверхня, дно, середина, дві області, прилеглі до бічних поверхонь чана). Результати вимірювань заносять в таблицю моніторингу процесу.

Для кожної контрольної вибірки за критерієм Граббса [3,17] визначається однорідність значень вологості замісу і там самим оцінюється якість перемішування, яка залежить від дисперсійності вхідних компонент та правильності роботи міксера. Вибіркові середні служать контрольними точками на  $\bar{X}$ -карті Шухарта. Оскільки за зміну зазвичай проводиться не більше 25...35 замісів тіста (залежно від виду тіста), то, виходячи з проведеного аналізу чутливості КК, ефективним буде використання критеріїв, сформульованих у розділі 2.

Отже, у практиці роботи малопотужних підприємств з виробництва борошняних кондитерських виробів замішування тіста є найбільш ранньою стадією, на якій можливо здійснити контроль параметрів процесу власними силами. На цій стадії коригування процесу відбувається за мінімальних витрат часу та ресурсів.

## **4.2 Аналіз вимог нормативних документів щодо фасованого товару**

### **4.21.Вимоги нормативно-правової документації**

У зв'язку з приведенням системи технічного регулювання України до міжнародних та європейських норм та правил відбулися зміни у вітчизняному законодавстві, прийняті нові Закони України «Про

стандартизацію», «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» [8, 9, 10, 11] тощо, належне виконання яких сприятиме усуненню технічних бар'єрів у торгівлі. Для України наявність в міжнародній торгівлі технічних бар'єрів створює перешкоди для виходу української продукції на європейські та міжнародні ринки. При постачанні товарів на ринок важливим є дотримання вимог міжнародних нормативних документів, зокрема до фасування, пакування та маркування продукції, що запобігає потраплянню на ринок недоброякісної, потенційно небезпечної, фальсифікованої та контрафактної продукції.

Фасований товар – це призначений для продажу товар, упакований за відсутності кінцевого споживача, при цьому кількість товару в упаковці має певне значення, зазначене на упаковці, що відповідає заздалегідь вибраному номінальному значенню і яке не може бути змінено без розкривання упаковки або її видимого пошкодження [12, 13, 4]. Для фасованих товарів в упаковках будь-якого виду характерно перш за все те, що вони розфасовані та запечатані за відсутності покупця. Отже, існує можливість «економити» товар шляхом недовкладення продукту: дійсна кількість товару в упаковці найчастіше виявляється меншою за вказану на ній. У країнах Європи, Америки, Азії цю проблему почали вирішувати років 30 тому за допомогою прийняття міжнародних нормативних документів, що встановлюють єдині вимоги до кількості фасованих товарів в упаковці [14]. Перш за все, слід назвати документи Міжнародної організації законодавчої метрології (МОЗМ) (МОЗМ Р 79, МОЗМ Р 87, МОЗМ Р 96) та ряд директив Європейського Союзу (75/106 / ЄС, 75/107 / ЄС, 76 / 211 / ЄС, 80/232 / ЄС, 2000/13 / ЄС), на основі яких створюються національні нормативні документи.

В Україні необхідність проведення державного метрологічного нагляду за фасованими товарами встановлена у Законі «Про метрологію та метрологічну діяльність» [15]. Відповідно до статті 23 цього Закону на

упаковці фасованого товару має бути зазначена номінальна кількість товару в одиницях маси, об'єму або іншої фізичної величини. При цьому метрологічні вимоги до фасованих товарів, у тому числі вимоги до відхилень кількості фасованих товарів в упаковках від номінального значення, встановлюються технічними регламентами або іншими нормативно-правовими актами. Оскільки контроль якості та безпечності харчових продуктів належать до сфери законодавчо регульованої метрології, то результати вимірювань у цій галузі можуть бути використані у сфері законодавчо регульованої метрології за умови, що для таких результатів відомі відповідні характеристики похибок або невизначеність вимірювань.

Для того, щоб проконтролювати вказану кількість упакованого товару та його відповідність фактичному вмісту в межах допустимих помилок здійснюють метрологічний нагляд [16]. Метрологічним наглядом є діяльність, яка проводиться у сфері законодавчо регульованої метрології з метою перевірки додержання суб'єктами господарювання вимог Закону [15], технічних регламентів та інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності. Відповідно до п. 23 [15] метрологічному нагляду за кількістю фасованого товару в упаковках підлягають готові упаковки будь-якого виду під час фасування та продажу товару в разі, коли вміст таких упаковок не може бути змінений без їх розкривання чи деформування, а кількість товару зазначена в одиницях маси, об'єму або іншої фізичної величини. На упаковці фасованого товару повинна бути зазначена номінальна кількість товару в одиницях маси, об'єму або іншої фізичної величини, якщо інше не передбачено нормативно-правовими актами.

Метрологічний нагляд за кількістю фасованого товару в упаковках здійснюється шляхом проведення перевірок відповідно до Закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» [11].

Нагляд за розфасованими продуктами проводиться одним або декількома з наступних методів:

- контроль вибірки продукції, відібраної з виробничої лінії, складу або місця продажу;
- контроль заповнення, перевірка градувальних машин та інших засобів, які використовуються для підготовки розфасованих продуктів;
- контроль вимірювальних приладів та стандартів, які використовуються виробником для перевірки кількісних результатів процесу заповнення пакетів; перевірка настройки машин.

Контроль продукції включає:

- взяття вибірки;
- вимірювання окремих зразків з вибірки;
- оцінку результатів.

На сьогодні Мінекономрозвитку України розроблено наказ «Про встановлення метрологічних вимог до фасованих товарів» від 05.07.2017 № 969, яким встановлюються метрологічні вимоги до фасованих товарів:

- до відхилень кількості фасованих товарів в упаковках від номінального значення відповідно до національного стандарту [4];
- до задекларованої кількості нетто фасованого товару відповідно до розділу 5 національного стандарту [13];

При цьому центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері метрологічного нагляду перевіряє кількість фасованого товару в упаковках під час його фасування та продажу та забороняє реалізацію партій фасованого товару, з яких відбиралися зразки упаковок фасованих товарів, до моменту усунення порушень метрологічних вимог.

З метою реалізації статті 23 Закону прийнято Технічний регламент щодо деяких товарів, які фасують за масою та об'ємом у готову упаковку [12].

#### **4.2.2 Вимоги Технічного регламенту щодо деяких товарів, які фасують за масою та об'ємом у готову упаковку**

Відповідно до даного Технічного регламенту упаковані одиниці повинні відповідати таким вимогам:

1) середнє значення фактичного вмісту не повинно бути меншим за номінальний вміст;

2) частка упакованих одиниць з від'ємним відхиленням, що перевищує допустиме від'ємне відхилення, повинна бути достатньо малою, щоб партії упакованих одиниць відповідали вимогам.

Від'ємним відхиленням вмісту упакованої одиниці є різниця, на яку фактичний вміст упакованої одиниці менший за її номінальний вміст.

Фактичний вміст упакованої одиниці визначається або контролюється пакувальником чи імпортером із застосуванням засобів вимірювальної техніки, що пройшли оцінку відповідності або періодичну перевірку відповідно до законодавства та придатні для здійснення необхідних процедур. Фактичний вміст упакованої одиниці може визначатися шляхом проведення вибіркового контролю.

Незалежно від методу, що використовується при цьому, похибка вимірювання фактичного вмісту упакованої одиниці не повинна перевищувати однієї п'ятої допустимого від'ємного відхилення її номінального вмісту. Процедура визначення фактичного вмісту упакованих одиниць здійснюється відповідно до національного стандарту [4].

Шляхом вибіркового контролю упаковані одиниці перевіряються двома етапами:

- перевіркою фактичного вмісту кожної упакованої одиниці у вибірці;
- перевіркою середнього значення фактичного вмісту упакованих одиниць у вибірці.

Партію упакованих одиниць вважають прийнятною, якщо результати обох перевірок відповідають критеріям прийняття.

Для кожної з цих перевірок є два плани вибіркового контролю:

- план неруйнівного контролю, що не передбачає розкриття упаковки;

– план руйнівного контролю, що передбачає розкриття чи знищення упаковки.

Руйнівний контроль здійснюється лише в разі, коли проведення неруйнівного контролю є неможливим. Його не застосовують до партії, в якій є менш як 100 упакованих одиниць.

Усі упаковані одиниці в партії, що підлягають контролю, повинні бути з однаковим номінальним вмістом, одного типу, виготовлені в межах одного виробничого циклу та упаковані в одному місці. У разі коли контроль упакованих одиниць здійснюється у кінці пакувальної лінії, їх кількість у кожній партії становить максимальну кількість упакованих одиниць, що виробляються пакувальною лінією протягом години, без обмежень щодо розміру партії.

Мінімальним прийнятним вмістом упакованої одиниці є різниця між її номінальним вмістом та відповідним допустимим від'ємним відхиленням. Упаковані одиниці в партії, фактичний вміст яких є меншим ніж мінімальний прийнятний вміст, вважають невідповідними.

Неруйнівний контроль здійснюється згідно з планом подвійного вибіркового контролю. Кількість упакованих одиниць, які підлягають перевірці, відповідає кількості одиниць у першій вибірці відповідно до плану. Якщо кількість невідповідних одиниць, виявлених у першій вибірці:

- є меншою чи відповідає першому критерію прийняття, партію упакованих одиниць вважають прийнятною для цілей даної перевірки;
- відповідає або є більшою за перший критерій неприйняття, партію упакованих одиниць бракують;
- перебуває між першим критерієм прийняття та першим критерієм неприйняття, перевіряється друга вибірка, кількість одиниць в якій зазначено у плані.

Невідповідні одиниці, виявлені у першій та другій вибірках, об'єднують і в разі, коли сумарна кількість невідповідних одиниць:

- є меншою або відповідає другому критерію прийняття, партію упакованих одиниць вважають прийнятною для цілей даної перевірки;
- відповідає або є більшою за другий критерій неприйняття, партію упакованих одиниць бракують.

Партію упакованих одиниць вважають прийнятною для цілей даної перевірки, якщо середнє значення фактичного вмісту упакованих одиниць у вибірці є більшим за значення:

$$Q_n - \frac{s}{\sqrt{n}} \times t_{(1-\alpha)},$$

де  $Q_n$  – номінальна кількість упакованої одиниці;

$n$  – кількість упакованих одиниць у вибірці для визначення середнього значення фактичного вмісту окремих упакованих одиниць;

$s$  – розрахункове стандартне відхилення фактичного вмісту партії;

$t_{(1-\alpha)}$  — довірчий рівень 0,995 розподілу Стюдента із ступенем свободи  $\nu = n - 1$ .

Якщо  $x_i$  є визначеним значенням фактичного вмісту  $i$ -ї упакованої одиниці у вибірці, що містить  $n$  одиниць, середнє значення виміряних значень для вибірки обчислюється за формулою:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{n},$$

а розрахункове значення стандартного відхилення як:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i^2) - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{i=n} x_i \right)^2}{n-1}}.$$

Критерії прийнятності при руйнівному та неруйнівному контролі встановлюються регламентом [10]. Орган з метрологічного нагляду з метою встановлення відповідності упакованих одиниць даному Технічному регламенту здійснює вибіркоий статистичний контроль. Статистичний



контроль упакованих одиниць здійснюється згідно з методами приймального контролю якості.

### **4.3 Застосування статистичних методів забезпечення якості при фасуванні готової продукції**

Готова продукція відпускається у тарі, яка підбирається з нормованого ряду у такий спосіб, щоб мінімально прийнятний вміст упакованої одиниці відхилявся від номінального її вмісту на значення, не більше, ніж  $\xi$ , яке приписано у [12]. Додатне збільшення не рекомендується з двох причин:

- упаковка може деформуватися та втратити товарний вигляд або зовсім порушитися;
- продукція може змінити форму більше, ніж це нормовано у стандарті [7].

Для готової продукції нормується число виробів в одному кілограмі. Ця норма встановлюється у вигляді: «Число виготовленої продукції в кілограмі має бути не менше або не більше заданого значення». Таким чином, мінімальна маса одного виробу даного сорту визначається як

$$m_{\text{гр}} = \frac{1000}{N}, \text{ г.} \quad (4.1)$$

Для кожного сорту печива існує затверджена рецептура, відповідно до якої робиться 25...35 замісів тіста. Заміс подається на дозуючо-формуючу машину. Формування окремих тістових заготовок виробів здійснюється за об'ємом, а фасування та продаж готової продукції в упакованому вигляді – за масою. Тому після випічки з кожної партії виробів береться контрольна вибірка з  $n = 10$  виробів. Нормується відхилення середнього значення ваги вибірки продукції по відношенню до її граничного значення  $\varepsilon$ , з тим, щоб характеристики виробу знаходились у допустимих межах, а саме:

- для допустимого від'ємного відхилення:

$$\varepsilon < \frac{\bar{m}_n - m_{\text{гр}}}{\bar{m}_n} \leq 0. \quad (4.2)$$

– для допустимого додатного відхилення:

$$0 < \frac{m_{\text{гр}} - \bar{m}_n}{\bar{m}_n} \leq \varepsilon. \quad (4.3)$$

Як відомо [17], результат отриманий будь-яким методом має зміщення та розсіювання, які є складовими точності отриманого результату. Результат, отриманий при зважуванні виробу має зміщення  $\Delta_0$ , обумовлене недосконалістю конструкції ваг, а розсіювання – впливом випадкових величин. При цьому визначення середнього значення ваги вибірки з  $n$  виробів може здійснюватися двома методами. Проаналізуємо точність результатів, отриманих двома методами.

Перший, традиційний метод, полягає у визначенні експериментальним шляхом маси кожної одиниці виробу  $\hat{m}_i$  та обчислення оцінки середнього значення однієї одиниці виробу у вибірці як

$$\hat{\bar{m}}_{n1} = \sum_{i=1}^n \frac{\hat{m}_i}{n}. \quad (4.4)$$

У виразі (4.4):

$$\hat{m}_i = m_i + \Delta_0 + e_i, \quad (4.5)$$

де  $m_i$  – дійсна вага печива,  $\Delta_0$  – зміщення результату зважування,  $e_i$  – сумарний вплив випадкових величин під час зважування  $i$ -го ( $i = \overline{1, n}$ ) виробу,

Таким чином,

$$\hat{\bar{m}}_{n1} = \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{m}_i + \Delta_0 + e_i)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} + \Delta_0 + \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}. \quad (4.6)$$

Отже, зміщення оцінки середнього значення ваги вибірки залежить від систематичної складової основної похибки ваг. Оскільки для конкретного засобу вимірювання  $\Delta_0$  не відомо, то необхідно при оцінюванні відповідності за співвідношеннями (4.2) або (4.3), де замість  $\bar{m}_n$  береться  $\hat{\bar{m}}_{n1}$ ,

використовувати  $\Delta_{0\text{ гр}}$ , значення якого наводиться у нормативній документації на ваги або встановлюється у вигляді класу точності засобу вимірювання. Вплив випадкових величин, як впливає з виразу (4.6) зменшується у  $n$  разів.

За другого методу середнє значення вибірки визначається як результат зважування всієї сукупності виробів у вибірці, віднесене до числа виробів у цій вибірці, тобто

$$\bar{m} = \frac{\sum_i m_i}{n}. \quad (4.7)$$

Прийнявши до уваги, що вираз (4.4), можна записати:

$$\hat{m}_{n2} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n m_i \right) + \Delta_0 + e}{n} = \bar{m} + \frac{\Delta_0}{n} + \frac{e}{n}. \quad (4.8)$$

Як бачимо, у другому випадку вплив  $\Delta_0$  зменшується у  $n$  разів порівняно з традиційним методом визначення середнього значення вибірки.

Таким чином, можна зробити висновок, що при експериментальному оцінюванні середнього значення вибірки з партії виробів більш точний результат буде спостерігатися при використанні другого методу обчислення. З огляду на це при оцінюванні середнього значення ваги продукції (печива) у вибірці необхідно визначати масу всієї вибірки, а потім ділити на число  $n$  виробів у вибірці.

Як показав аналіз, вплив випадкових величин на розсіювання середнього значення однаковий для першого та другого методів – зменшується у  $n$  разів.

Готову продукцію, показники якої відповідають нормам згідно з (4.2) або (4.3), фасують у відповідну пакувальну тару. При цьому задається допустиме від'ємне відхилення маси упакованої одиниці продукції від номінального вмісту (у відсотках або абсолютних значеннях). Упаковані одиниці перевіряються шляхом вибіркового контролю двома етапами [12]:

– перевірка середнього значення фактичного вмісту (маси) упакованих одиниць у вибірці;

– перевірка фактичного вмісту кожної упакованої одиниці у вибірці.

Партія упакованих одиниць вважається відповідною, якщо результати обох перевірок відповідності задовольняють критеріям відповідності.

При оцінюванні за першим критерієм одностороннє граничне значення для можливих значень середньої маси вибірки має бути меншим за від'ємне відхилення маси  $\xi$  від номінального значення.

Будемо виходити зі співвідношення [12]:

$$P\{\bar{Q} - Q_n < \xi\} = 1 - \alpha,$$

на основі якого можна встановити нижнє та верхнє граничні значення, де ця умова виконується. Таким чином можна записати:

$$Q_n - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{n,(1-\alpha/2)} < \bar{Q} < Q_n + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{n,(1-\alpha/2)} \quad (4.9)$$

де  $Q_n$  – номінальна маса упакованої одиниці;

$\bar{Q}$  – середня вибіркова маса;

$n$  – кількість упакованих одиниць у вибірці;

$s$  – стандартне відхилення фактичної маси у вибірці з  $n$  упакованих одиниць, обчислене за результатами експерименту;

$t_{n,(1-\alpha/2)}$  – коефіцієнт розподілу Стюдента для двостороннього довірчого інтервалу за вибірки у  $n$  елементів та довірчої ймовірності  $P = 1 - \alpha$ .

Згідно з [12] нормується від'ємне відхилення  $\xi$  від номінального значення, тоді вираз (4.9) можна записати у вигляді:

$$Q < Q_n - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{n,(1-\alpha)}. \quad (4.10)$$

Таким чином, при контролі середньої маси вибірки у  $n$  упакованих одиниць, партія вважається прийнятою (відповідною), коли середнє значення фактичного вмісту вибірки у  $n$  упакованих одиниць буде відповідати нерівності (4.10). Згідно з [12]  $\alpha$  приймається рівним 0,05, що відповідає відхиленню від номінального значення –  $3\sigma$ .

Як показано вище, середнє значення, обчислене за результатами експерименту відповідно до виразу (4.7), має вищу точність. У цьому разі спостерігається менший вплив засобу вимірювання. За визначенням, обчислення середнього квадратичного значення (СКВ) здійснюється за виразом:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (4.11)$$

Для знаходження СКВ необхідно виміряти фактичне значення  $x_i$  в кожній упаковці та обчислити середнє значення згідно з модельним рівнянням (4.4).

Розглянемо, як впливає неідеальність засобу вимірювання на точність знаходження вибіркового СКВ. Спочатку оцінимо вплив зміщення результату вимірювання випадкових величин на точність обчислення СКВ. Для цього зручно аналізувати дисперсію за виразом:

$$s_1^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i + \Delta_0) - (\bar{x} + \Delta_0)]^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 .$$

З цього виразу випливає, що зміщення, обумовлене неідеальністю засобу вимірювання, не впливає на оцінку СКВ.

При аналізі впливу випадкових величин скористаємося виразом (4.6), з якого випливає, що цей вплив зменшується у  $n$  разів, тобто

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i ,$$

тоді

$$\tilde{s}_{n1}^2 = \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ (x_i + e_i) - \left( \bar{x} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i \right) \right]^2 \right\} .$$

Після математичних перетворень отримаємо

$$\tilde{s}_{n1}^2 = s^2 + \frac{n-1}{n^2} \sum_{i=1}^n e_i^2 + 2 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i (x_i - \bar{x}) .$$

Оскільки  $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$ , то остаточно можна записати:

$$\tilde{s}_1^2 = s^2 + \frac{n-1}{n^2} \sum_{i=1}^n e_i. \quad (4.12)$$

Друга складова у правій частині виразу (4.12) збільшує оцінку СКВ, що необхідно враховувати при використанні критерію відповідності, представленого нерівністю (4.10).

Оцінка СКВ, яка не потребує знання середнього значення вибірки може бути отримана з виразу (4.11), а саме:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i^2 + \bar{x}^2 - 2x_i\bar{x}) = \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\bar{x})^2 - 2\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i \right\}$$

або

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\bar{x})^2 - 2\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i \right] \quad (4.13)$$

Розглянемо окремо останню складову у правій частині виразу (4.13) у дужках:

$$2\bar{x} \sum_{i=1}^n x_i = 2\bar{x} \frac{n}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 2n(\bar{x})^2$$

Підставимо у вираз (4.13) та отримаємо:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n(\bar{x})^2 \right]$$

або

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]. \quad (4.14)$$

Як бачимо, рівняння (4.14) для обчислення СКВ не потребує знання середнього вибіркового значення.

Оцінимо вплив систематичної складової точності (зміщення)  $\Delta_0$  засобу вимірювання. Для цього використаємо вираз (4.14) і введемо в нього зміщення, обумовлено не ідеальністю засобу вимірювальної техніки:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_2^2(n-1) &= \sum_{i=1}^n (x_i + \Delta_0)^2 - \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i + \Delta_0) \right]^2 = \\ &= \left[ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_0)^2 + 2\Delta_0 \sum_{i=1}^n x_i \right] - \frac{1}{n} \left[ \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 + n^2 \Delta_0 + 2n\Delta_0 + \sum_{i=1}^n x_i \right].\end{aligned}$$

Після математичних перетворень прийдемо до виразу (4.14). Таким чином, вплив систематичної складової похибки засобу вимірювання, як і у першому випадку відсутній.

Проаналізуємо вплив випадкових величин на точність оцінки вибіркового СКВ, що обчислюється за рівнянням (4.14). Для цього розглянемо вираз:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_2^2(n-1) &= \sum_{i=1}^n (x_i + e_i)^2 - \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i + e_i) \right]^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \sum_{i=1}^n (e_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n (x_i e_i) - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i)^2 - \frac{2}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n e_i \right).\end{aligned}$$

Після математичних перетворень та знехтування складовими другого та більше порядків малості отримаємо:

$$\tilde{s}_2^2 = s^2 + \sum_{i=1}^n e_i + 2 \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i e_i). \quad (4.15)$$

Якщо порівняти вирази (4.14) та (4.15) можна зробити висновок, що при використанні критерію прийняття партії упакованих одиниць на підставі нерівності (4.2) або (4.3) необхідно:

- середнє значення обчислювати за модельним рівнянням (4.7);
- середнє квадратичне відхилення вибірки необхідно обчислювати за модельним рівнянням (4.11).

Це дозволить зменшити вплив засобу вимірювання (ваг) на точність оцінювання результату, і тим самим забезпечити відповідну вірогідність прийняття рішення [18].

#### **4.4 Методика планування (проектування) контролю якості технологічного процесу**

Як показала практика та проведений аналіз, існуючі на сьогодні системи контролю якості у рамках системи управління якістю на МСП не передбачають планування (проектування) методів контролю якості, що не сприяє забезпеченню необхідного рівня якості та конкурентоспроможності продукції.

Слід зазначити, що повністю визначити та перевірити всі характеристики кондитерських виробів неможливо, особливо на малопотужних підприємствах. Тому необхідно, щоб виробничий персонал дуже уважно відслідковував будь-які зміни у технологічному процесі, оскільки вони визначають частоту взяття зразків для перевірок.

Контроль будь-якого процесу завжди починається з його ретельного опису. Для кондитерської галузі – це рецептура виробу, обладнання, що використовується та його параметри, тривалість замішування тіста, його температурні показники та інше. Ретельно зроблений опис процесу при роботі без збоїв дає технологам еталон, з яким можна порівнювати дані у випадку виникнення різного роду відхилень. При цьому слід враховувати, що окремі параметри технологічних операцій можуть бути задовільними, але якщо оцінювати виробничий процес в цілому, деякі поєднання параметрів можуть свідчити про його розладнання. При проведенні статистичного контролю приймається рішення про приймання чи бракування всієї партії продукції за результатами контролю вибірки.

Отже, до методики організації контролю технологічного процесу необхідно включати контрольні процедури, основані на статистичних методах та спрямовані на попереднє виявлення відхилень технологічного процесу, тобто контролювання його точності та стабільності ще до завершення власне технологічного процесу, а також, що важливо для МП,



скорочення тривалості та обсягу контрольних процедур, а отже й собівартості контролю

#### **4.4.1 Планування (проектування) контролю точності та стабільності технологічного процесу**

Перевірка стабільності полягає у перевірці здатності технологічного процесу зберігати середні значення  $\bar{X}$  та стандартне відхилення  $\sigma$  незмінними протягом деякого інтервалу часу без втручання ззовні.

З цією метою використовують контрольні карти, які дозволяють відслідковувати хід протікання процесу та впливати на нього до того, як він вийде з-під контролю. Задача полягає у тому, щоб на підставі результатів періодичного контролю вибірок малого обсягу приймати рішення – «процес налагоджений» або «процес розладнаний», контролюючи точність показників технологічного процесу, тобто його здатність забезпечувати близькість дійсних значень контрольованого параметра  $X$  до номінального значення.

Для реалізації контролю встановлюється номенклатура показників, обсяг вибірки на кожний з них, інтервал контролювання, встановлення меж попередження та дії відповідних контрольних  $\bar{X}$ -карт. Моніторинг проводиться протягом тривалості всього технологічного процесу. У разі виявлення особливих причин можливого розладнання процесу, видається команда на його припинення.

- Визначення нижніх та верхніх меж відхилень параметрів від середнього значення. Це робиться шляхом вимірювання параметрів проб печива за дуже короткий проміжок часу для визначення діапазону короткострокової мінливості середніх значень.

- При зборі даних для побудови контрольної карти важливо проводити відбір проб печива однаково та за єдиною методикою.

- На основі аналізу та досвіду роботи встановлюють критичні контрольні точки процесу, у яких й проводять вимірювання параметру, а його значення відображають на контрольній карті. Перша можливість

оцінити відповідність виробу технічним вимогам виникає на виході продукту з печі. Тому саме в цій точці проводиться відбір проб та вимірюється їх маса, розміри, вологість. Один із найбільш важливих параметрів – це маса виробу (якщо вона не відповідає вимогам, то, очевидно, невірними є й інші параметри).

При аналізі контрольних карт слід звертати увагу на будь-які незвичайні структури точок, оскільки вони можуть вказувати на прояв особливих причин. Дія особливих причин на карті зазвичай проявляється або у вигляді монотонних трендів або стрибків, пов'язаних з порушенням налаштованості процесу від вибірки до вибірки, коли точки виходять за контрольні межі.

Недостатньо приймати рішення, ґрунтуючись тільки на аналізі структури декількох точок, без аналізу всього процесу. Слід видаляти причину, якщо вона призводить до розладнання, та, навпаки, якщо вона свідчить про позитивні зміни процесу, зробити цей стан складовою процесу.

Необхідно оптимізувати процес контролю на рівні системних змін, проектування процесу та поліпшення всіх входів в нього (якість сировини й матеріалів, технічного стану обладнання та інструменту, навчання персоналу і ін.). При цьому необхідна повна інформація про деталі технологічного процесу, що сприяє встановленню відмінностей впливу нормальних флуктуацій процесу від можливих дій особливих причин.

#### **4.4.2 Планування (проектування) тривалості та обсягу процедури контролювання готової продукції**

При контролі вірогідність правильного прийняття рішення визначається не тільки параметрами закону розподілу випадкових величин, але й положенням поточного значення контрольованої величини по відношенню до граничних значень допускового інтервалу. Чим ближче значення до границь поля допуску, тим більша ймовірність прийняття помилкового рішення, однак є деяка область можливих значень, де впливом випадкових величин можна знехтувати.

– Послідовна процедура контролю готової продукції з фіксованими граничними значеннями. З метою скорочення обсягу та тривалості контролю доцільно так організовувати процедуру контролю, щоб, виходячи з попередньої оцінки значення контрольованої величини, приймалося рішення про необхідність проведення додаткових спостережень цієї величини. При цьому рішення про продовження або закінчення процедури контролю приймається послідовно на кожному поточному кроці й залежить від впливу випадкових величин на попередніх етапах Використання послідовної процедури, коли за результатами поточної контрольно-виміральної операції приймаються рішення про продовження або закінчення контролю, мінімізує кількість додаткових вимірювань при вирішенні задачі підвищення вірогідності контролю, а отже й зменшує часові та економічні витрати.

На першому основному кроці проводиться контроль усіх об'єктів без винятку. Необхідність переходу до наступного додаткового етапу приймається у випадку, коли результат вимірювання його параметру потрапив у зону прийняття сумнівних рішень – захисну зону  $(x_n, x_n')$  або/та  $(x_v', x_v)$ . Розмір захисної зони  $(x_n', x_v')$  встановлюється залежно від метрологічних характеристик виміральної системи. При цьому враховується кількість об'єктів при первинному результаті вимірювання, які потрапили у інтервал (наприклад,  $x_n, x_n'$ ) й за якого приймається рішення про проведення додаткової контрольно-виміральної операції; потім – кількість об'єктів, результати вимірювання яких після первинного додаткового етапу залишились в інтервалі  $(x_n, x_n')$  й приймається рішення про проведення другої додаткової контрольно-виміральної операції й т.д.

За такого контролю відбувається диференційний підхід, тобто індивідуальне уточнення стану об'єкту, на відміну від традиційного інтегрального підходу проведення фіксованого числа багаторазових вимірювань для всіх контрольованих об'єктів з наступним усередненням отриманих результатів. Таким чином, застосувавши метод послідовного прийняття рішень з фіксованими граничними значеннями контрольованої

величини можна підвищити вірогідність контролю за менших часових витрат, що приводить до зменшення собівартості продукції без втрати її якості.

– Метод адаптивних контрольних граничних значень. Компоненти – складові продукції можуть залишатися незмінними, але допускові інтервали на них можуть змінюватися. Залежно від поточного результату вимірювання приймається рішення про закінчення процедури контролю або, про уточнення дійсного стану об'єкту (відповідний/невідповідний). Для цього вводять нові граничні значення та переходять до наступного кроку контролю в цих границях. Така процедура продовжується до тих пір, поки не буде «досягнуто» граничних значень, яким відповідає вірогідність 0,95 або більше.

Даний метод, як і попередній, дозволяє оцінювати відповідність кожного з контрольованих об'єктів. Кількість послідовних кроків визначають також за допустимою «залишковою» ймовірністю прийняття помилкового рішення про відповідність об'єкта. Ця ймовірність залежить від параметрів закону розподілу контрольованої величини.

При застосуванні методу адаптивних границь зменшується ризик прийняти невідповідний об'єкт як відповідний.

#### **4.4.3 Планування (проектування) контролю зважування фасованої продукції**

Відповідно до Технічного регламенту упаковані одиниці повинні відповідати таким вимогам:

- 1) середнє значення фактичного вмісту не повинно бути меншим за номінальний вміст;
- 2) частка упакованих одиниць з від'ємним відхиленням, що перевищує допустиме від'ємне відхилення, повинна бути достатньо малою, щоб партії упакованих одиниць відповідали вимогам.

Після фасування з кожної партії продукції береться контрольна вибірка з  $n$  фасованих виробів. Значення  $n$  розраховується відповідно до регламенту [12] виходячи із загальної кількості виробів в партії, що перевіряється. Нормується

відхилення середнього значення маси вибірки продукції по відношенню до її граничного значення  $\xi$ , з тим, щоб характеристики виробу знаходились у допустимих межах (для допустимого від'ємного відхилення)  $\xi < \frac{\bar{m}_n - m_{\text{гр}}}{\bar{m}_n} \leq 0$ .

Упаковані одиниці перевіряють шляхом вибіркового контролю двома етапами: на першому перевіряють середнє значення фактичного вмісту упакованих одиниць у вибірці обсягом  $n$ ; на другому – фактичний вміст кожної упакованої одиниці у вибірці. При оцінюванні за першим критерієм одностороннє граничне значення для можливих значень середньої маси вибірки  $\bar{Q}$  має бути меншим за від'ємне відхилення маси  $\xi$  від номінального значення  $Q_n$ . На основі співвідношення  $P\{|\bar{Q} - Q_n| < \xi\} = 1 - \alpha$  можна встановити граничні значення, за якими приймається рішення про відповідність. За від'ємного відхилення  $\xi$  партія вважається відповідною, коли середнє значення фактичного вмісту вибірки у  $n$  упакованих одиниць відповідатиме нерівності  $\bar{Q} < Q_n - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{n,(1-\alpha)}$ .

Для цього необхідно середнє значення вибірки визначати як результат зважування всієї сукупності виробів у вибірці, віднесене до числа виробів у цій вибірці, тобто

$$\hat{\bar{m}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n m_i \right) + \Delta_0 + e}{n} = \bar{m} + \frac{\Delta_0}{n} + \frac{e}{n},$$

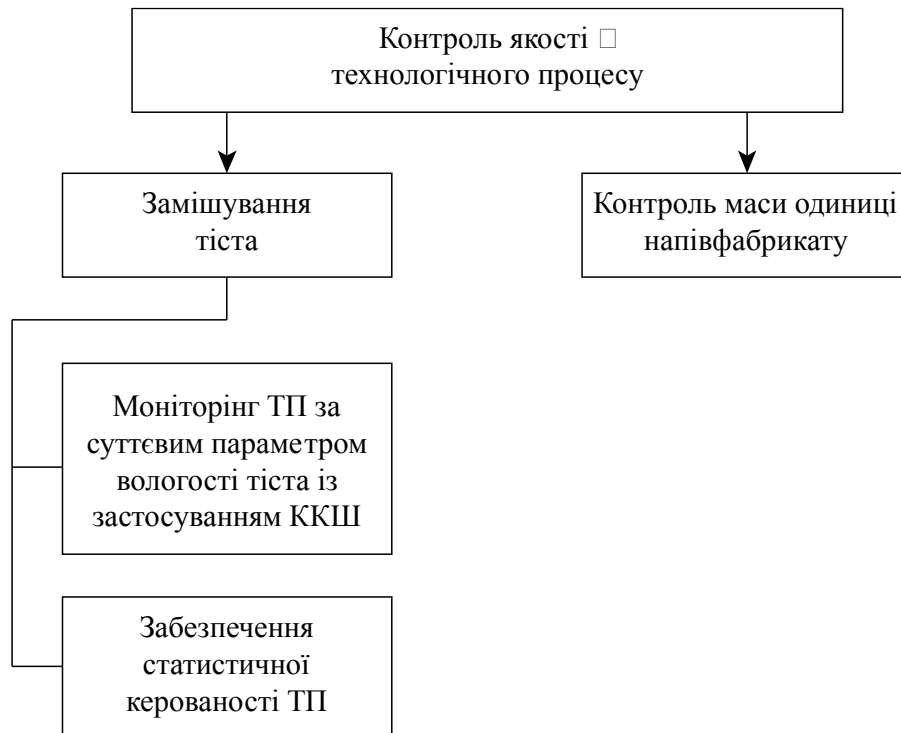
де  $\Delta_0$  – систематична складова основної похибки ваг;  $e$  – сумарний вплив випадкових величин під час зважування.

Оскільки для конкретного засобу вимірювання  $\Delta_0$  не відомо, то використовується  $\Delta_{0\text{гр}}$ , значення якого наводиться у нормативній документації на ваги, що може зміщувати фактичний результат. Тому при оцінюванні СКВ слід використовувати вираз:

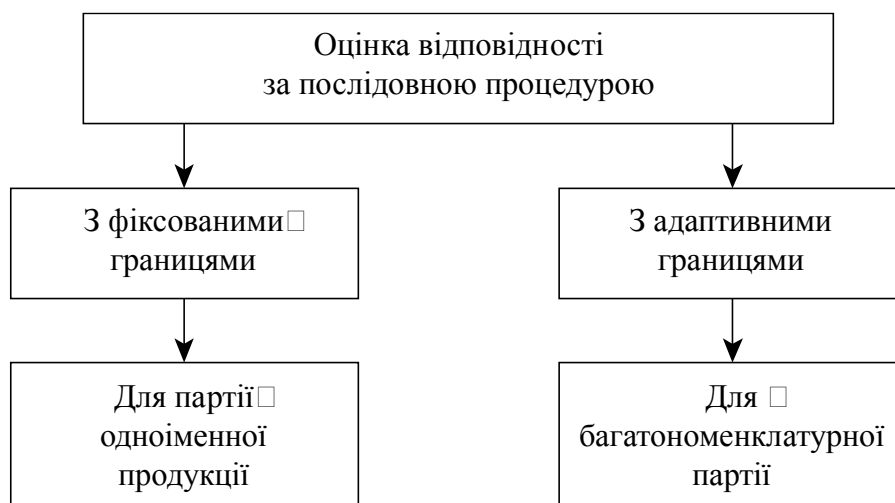
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right],$$

за якого вплив систематичної складової похибки засобу вимірювання відсутній. Це дозволить зменшити вплив ваг на точність оцінювання результату, і тим самим забезпечити відповідну вірогідність прийняття рішення.

Структурна організація контролю якості виробництва печива наведена на рис. 4.3, а, б



а



б

Рисунок 4.3 – Структурна організація контролю якості виробництва продукції

На рис. 4.3 *а* наведено структурну організацію контролю якості технологічного процесу за показником вологості; а на рис. 4.3 *б* наведена процедура оцінки відповідності готової однойменної фасованої продукції за послідовним методом з фіксованими границями та багатоміністерською партії продукції за послідовним методом з адаптивними границями

#### **Висновки за розділом 4**

1. В результаті аналізу впливу технологічних параметрів на якість продукції вологість тіста визначена як основний параметр, що впливає на якість продукції.

2. При проведенні аналізу вимог нормативних документів щодо забезпечення якості кінцевого продукту при його фасуванні та пакуванні рекомендовано здійснювати статистичний підхід. Обґрунтовано застосування математичних виразів, за яких зменшуються ризики виробника та споживача.

3. Розроблено методику планування (проектування) контролю якості продукції на важливих стадіях її життєвого циклу та апробовано її в умовах малопотужного кондитерського виробництва; наведено практичні рекомендації щодо її застосування.

4. Впровадження методики надало можливість зменшити нормативні втрати сировини при виробництві продукції та зменшити кількість повернень продукції з торгових мереж з причин неналежної якості до 2...3 процентних пунктів.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Заніздра В. Технології кондитерської промисловості. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://baker-group.net/component/k2/4269-technochemical-production-control.html?showall=1>. Назва з екрану.

2. Сусол Н. Методи контролю якості технологічних операцій виготовлення кулінарної продукції / Н.Сусол, В. Куць // Вимірювальна техніка та метрологія, 2012. – № 73. – С. 113-117.

3. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта: (ISO 8258:1991/Cor.1:1993, IDT): ДСТУ ISO 8258-2001. – [чинний від 2003-07-01]. – Держспоживстандарт України, 2003. – 57 с.

4. Кількість фасованого товару в упаковках: (OIML R 87:2016, IDT): ДСТУ OIML R 87:2017. – [чинний від 2019-07-01]. 57 с. – ДП «УкрНДНЦ» (Національний стандарт України).

5. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation: ISO/TS 21748:2004. – (Міжнародний стандарт).

6. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений»: ДСТУ-Н РМГ 43:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 20 с. – (Національний стандарт України).

7. Печиво. Загальні технічні умови: ДСТУ 3781:2014. – [чинний з 2015-07-01]. – 23 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу. – [http://document.ua/pechivo\\_zagalni-tehnicni-umovi-std26977.html](http://document.ua/pechivo_zagalni-tehnicni-umovi-std26977.html). – Назва з екрану.

8. Закон України «Про стандартизацію», ред. від 04.11.2018, № 1315-VII.

9. Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», від 15.01.2015, № 124 –VIII.

10. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», ред. від 10.02.2016, № 2736-VI.

11. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 03.11 2016 року № 1726-VIII.

12. Технічний регламент щодо фасованого товару (Постанова КМУ № 1193 від 16.12.2015 р.), зі змінами (Постанова КМУ № 23 від 18.01.2017 р.).



13. Вимоги до маркування фасованих товарів: (OIML R 79:2015, IDT): ДСТУ OIML R 79:2015. – [чинний від 2019-01-01].

14. Діяльність міжнародної організації законодавчої метрології. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <file:///C:/Users/Admin/Desktop/Деятельность%20Международной%20организации.html>. Назва з екрану.

15. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність", ред. від 02.08.2017, № 1214-VII.

16. Документ OIML D9. Principles of metrological supervisoін (Принципи метрологічного нагляду), 2004. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.fundmetrology.ru/depository/04\\_IntDoc\\_all/D\\_R\\_9.pdf](http://www.fundmetrology.ru/depository/04_IntDoc_all/D_R_9.pdf). Назва з екрану.

17. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: (ISO/IEC 5725-1:1994, IDT): ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-1:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 31 с. – (Національний стандарт України).

18. Клевцова М.О. Особливості оцінювання відповідності готової фасованої продукції / М.О. Клевцова // Міжнародна науково-технічна конференція «Системи –2018», 22-23 листопада 2018 р., м. Львів.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз та встановлено характерні особливості малопотужного підприємства як об'єкта забезпечення якості продукції. Встановлено, що проблема досяжності відповідної якості продукції є комплексною і потребує комплексного підходу при плануванні (проектуванні) та застосуванні методів забезпечення, управління, контролювання якості на всіх стадіях життєвого циклу продукції. Для вирішення цієї задачі в умовах малого підприємства доцільно застосовувати статистичні методи.

2. Проведено аналіз чутливості контрольних карт до розладнання технологічного процесу, що дозволило, з врахуванням особливості малопотужних підприємств, обґрунтовано установлювати інтервали між контрольними вибірками. Встановлено, що рекомендація нормативних документів щодо числа значень у вибірках 4-5 справедлива лише для  $s$ -карт. Для карт середніх значень чутливість відрізняється на 20% залежно від числа значень у вибірках.

3. Розроблено метод сполучення елементарних подій для встановлення додаткових критеріїв виявлення розладнання технологічного процесу, що дозволяють ідентифікувати особливі причини його розладнання на початковому етапі та своєчасно вводити корегувальні дії ; введено в науковий обіг коефіцієнт оперативності зазначених критеріїв. Показано, що застосування непараметричного критерію надає можливість виявити нові особливі ситуації, які свідчать про розладнання процесу за невідомого розподілу контрольованих величин.

4. Запропоновано при оцінюванні відповідності готової продукції методом послідовного контролю з фіксованими граничними значеннями проводити додаткові вимірювальні процедури тільки тих об'єктів, результати вимірювання яких потрапили у захисну смугу..

5. Запропоновано метод адаптивних контрольних границь для об'єктів з різною довжиною інтервалу приймання, який дозволяє мінімізувати число додаткових вимірювань при вирішенні задачі підвищення вірогідності оцінки відповідності і, тим самим, зменшити собівартість продукції без втрати її якості.

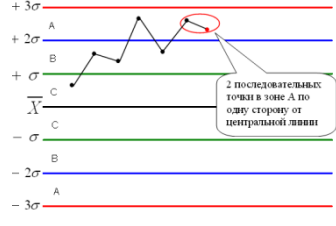

6. Встановлено, що малопотужним підприємствам притаманне змінне значення коефіцієнту вимірювальних можливостей, що обумовлено значною кількістю різновидів продукції, що випускається, кожна з яких має свій допусковий інтервал на контрольований параметр. Для виконання нормативних умов з ймовірності відповідності при контролі на тому самому обладнанні запропоновано удосконалити метод захищеного приймання, що дозволить виключити втрати виробника і забезпечити задане значення ймовірності відповідності нормам.

7. Розроблено методику планування (проектування) контролю якості продукції на важливих стадіях її життєвого циклу та апробовано її у виробничих умовах кондитерського виробництва; наведено практичні рекомендації щодо її застосування. Впровадження методики надало можливість зменшити нормативні втрати сировини при виробництві продукції та зменшити кількість повернень продукції з торгових мереж з причин неналежної якості на 2-3 процентних пункти.

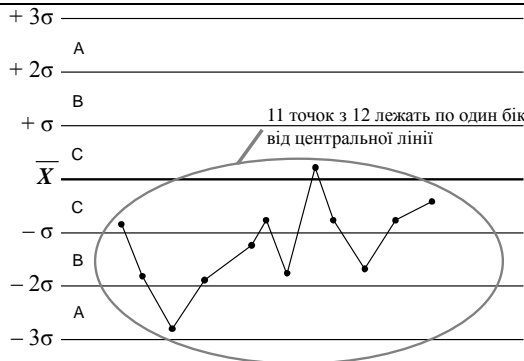
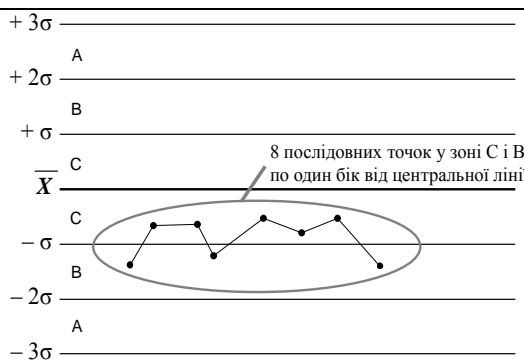
**Статистичне обґрунтування особливих причин  
розладнання технологічного процесу**

Таблиця А1 – Графічна інтерпретація критеріїв особливих причин, обумовлених нормальним законом розподілу контрольованих показників

№ кри-те-рію	Області, у яких знаходяться контрольні точки і їх критичне число $n$	Відображення на контрольній карті	Імовірність елементарної вихідної події $p_0(A_c)$	Критичне значення імовірності $\prod_{i=1}^8 P(A_i)$
1	2	3	4	5
1.1	Область $[+A; +B; +C]$ або $[-A; -B; -C]$ ; $n = 9$		0,4986	0,00195
1.2	Область $[+C; +B]$ або $[-C; -B]$ ; $n = 8$		0,4772	0,00158
1.3	Область $+C$ або $-C$ ; $n = 6$		0,3413	0,00269
1.4	Область $[+A; +B]$ або $[-A; -B]$ ; $n = 4$		0,1573	0,00061

Продовження таблиці А1				
1.5	Область $+A$ або $-A$ ; $n = 2$	 <p>2 послідовних точок в зоні А по одну сторону від центральної лінії</p>	0,0214	0,00046
1.6	Область $[+C; -C]$ ; $n = 15$	 <p>16 послідовних точок в зоні С - критичний признак</p> <p>15 послідовних точок в зоні С - тревожный признак</p>	0,6828	0,00327

Таблиця А2 – Графічна інтерпретація додаткових критеріїв особливих причин, виявлених за біноміальним законом розподілу

№ кри-те-рію	Зони, у яких знаходяться контрольні точки і їх критичне число $n$	Відображення на контрольній карті	Число точок у відповідній області	Імовірність складної події
1	2	3	4	5
2.1	Область $[+A; +B; +C]$ або $[-A; -B; -C]$ ;	 <p>11 точок з 12 лежать по один бік від центральної лінії</p>	9 з 9 або 11 з 12	0,0029
2.2	Область $[+B; +C]$ або $[-B; -C]$ ;	 <p>8 послідовних точок у зоні С і В по один бік від центральної лінії</p>	8 з 8 або 11 з 12	0,0027 0,0018

## Продовження таблиці А2

2.3	Зони + C або – C по один бік від $\bar{X}$	<p>7 з 8 точок поспіль у зоні C по один бік від центральної лінії</p>	6 з 6 або 7 з 8	0,0028
2.4	Область [+ A; + B] або [– A; – B];	<p>4 з 5 точок поспіль у зонах A і B по один бік від центральної лінії</p>	4 з 4 або 4 з 5	0,0026
2.5	Зони + A або – A	<p>2 з 3 точок поспіль у зоні A по один бік від центральної лінії</p> <p>2 з 4 точок поспіль у зоні A по один бік від центральної лінії</p>	2 з 2 або 2 з 3 або 2 з 4	0,0013  0,0026
2.6	Зони [+ C; – C] по обидва боки від $\bar{X}$ Немає сенсу	<p>16 послідователних точок в зоні C - критичний признак</p> <p>15 послідователних точок в зоні C - тревожный признак</p>	16 з 18 або 4 з 14	
2.7	Зони +B або –B .	<p>4 з 5 точок поспіль у зоні B по один бік від центральної лінії</p>	3 з 3 або 4 з 5	0,0015

Продовження таблиці А2				
2.8	Область [+ A; + B] або [- A; - B];	<p>8 точок поспіль попадають у зони А, В або виходять за контрольні межі □ по обидва боки від центральної лінії □ (в зону С не потрапляють)</p>	4 з 8 по один бік	0,0012

**АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ**



ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор НТУУ  
«КПІ імені Ігоря Сікорського»,  
академік НАН України,  
доктор технічних наук, професор  
Якименко Ю.І.  
\_\_\_\_\_ 2019 року



**АКТ**

впровадження результатів дисертаційної роботи  
на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук  
Клевцової Марини Олександрівни

Даний акт складено в тому, що на кафедрі автоматизації експериментальних досліджень приладобудівного факультету НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» у навчальний процес впроваджено результати дисертаційної роботи Клевцової М.О. «Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському підприємстві», а саме, при викладанні дисциплін:

1. «Інтелектуальні інформаційно-вимірювальні системи» – адаптивний алгоритм контролю для випадку зміни допускового інтервалу.

2. «Теорія експерименту» – виявлення на основі контрольних карт Шухарта на початковому етапі контролю зміщення результатів вимірювання.

Економічний ефект від впровадження не підраховувався.

Завідувач кафедри автоматизації  
експериментальних досліджень,  
доктор технічних наук, професор



Ю.М. Туз

« 08 01 » 2019 року



П/р26000157630063  
В Київській філії АКІБ "Укрсиббанк" КРУ  
МФО 300733  
Код ЄДРПОУ 30023858

товариство з обмеженою відповідальністю "ФАБРИКА СВІТЯЗЬ"

вих. № 01/03 від 03.01.19

## Д О В І Д К А

### про впровадження результатів дисертаційного дослідження Клевцової Марини Олександрівни на тему "Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському підприємстві"

Результати дисертаційного дослідження Клевцової М.О. на тему "Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському підприємстві" впроваджені на підприємстві, а саме:

- впроваджений моніторинг технологічного процесу замішування тіста з використанням контрольних карт;
- впроваджений метод послідовного прийняття рішення про відповідність продукції з фіксованими границями;
- впроваджений метод прийняття рішення про відповідність продукції з адаптивними границями.

Довідка видана для надання до спеціалізованої вченої ради за місцем захисту дисертації.

Головний інженер



В.О.Кузьменко