

КОНТРОЛЬНІ КАРТИ В СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДАХ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ

Л. О. ВЛАСЕНКО, кандидат технічних наук
e-mail: vllida@yandex.ru

А. П. ЛАДАНЮК, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій
e-mail: ladanyuk@ukr.net

***Анотація.** Наведено результати аналізу та синтезу автоматичних систем регулювання об'єктами харчової промисловості. Для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів харчової промисловості запропоновано використовувати методи статистичного керування. Наведено результати використання контрольних карт, побудованих в програмному пакеті STATISTICA.*

***Ключові слова:** статистичне керування, статистична діагностика, контрольна карта, розподіл, вибірка, неполадка*

Більшість сучасних автоматичних систем регулювання (АСР), встановлених на виробництвах харчової промисловості, базуються на використанні стандартних регуляторів. До основних недоліків таких систем належать: відносна інерційність, деяке запізнення процесу регулювання, необхідність параметричного, а інколи навіть і структурного, коригування пристрою керування через зміну зовнішніх і внутрішніх збурень, що діють на об'єкт регулювання. В умовах високої конкуренції та стрімкого технічного розвитку, для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів харчових виробництв активно впроваджують багатовимірні оптимальні регулятори [1], нейромережеві регулятори, сценарні підходи, когнітивні карти, методи та способи синергетики тощо. Особливістю застосування вищезазначених підходів є обов'язкова розробка адекватної математичної моделі об'єкта керування, що зазвичай пов'язано з великою кількістю проблем, починаючи від суттєвих часових обмежень на її отримання, можливістю організації проведення пасивного або активного експерименту і закінчуючи складністю встановлення залежностей між параметрами.

Використання статистичних методів при керуванні суттєво підвищує його ефективність, оскільки не потребує попереднього і обов'язкового виводу та використання математичних моделей і забезпечує оперативну оцінку стану системи та швидке коректне реагування на ситуацію, що склалася.

Аналіз публікацій з даної тематики свідчить про те, що напрям використання статистичних методів при керуванні технологічними комплексами активно розвивається в різних напрямках і є так само злободенним, як це зазначав ще Д. Хіммельблау [2]. В умовах сучасної

промисловості оцінка якості продукту та напівпродукту на всіх стадіях виробництва займає провідне місце при оцінці ефективності роботи підприємства, оскільки, якісна кінцева продукція за мінімальних витрат забезпечує високі прибутки підприємства. Для оперативного визначення якості продукції та виявлення на ранніх стадіях неполадок, для дискретних процесів успішно використовують методи одно- та багатомірного статистичного контролю процесів [3], зокрема одномірні та багатомірні контрольні карти [4, 5]. Для неперервних технологічних процесів контроль якості за допомогою статистичних методів є не менш актуальним, але гірше дослідженим.

Мета досліджень – підвищення ефективності функціонування АСР шляхом використання методів статистичної діагностики.

Матеріали і методика досліджень. На прикладі опрацювання числових даних роботи випарної станції цукрового заводу показано виявлення неполадок технологічного процесу на ранніх стадіях за допомогою різних типів контрольних карт.

Результати досліджень. На практиці більшість порушень нормального ходу технологічних процесів виявляються операторами при простому візуальному спостереженні. Успішність регулювання при цьому залежить від його досвіду, кваліфікації і того, наскільки сумлінно він виконує свою роботу [6]. При цьому необхідно зважати на ряд проблем, що виникають:

- оператор одночасно повинен реагувати на зміну великого обсягу оперативної інформації;
- виявлення порушень оператор проводить безсистемно, часто інтуїтивно, інколи випадково;
- оскільки оператор ідентифікує порушення на основі свого попереднього досвіду, він може визначити проблему невчасно або взагалі звернути на неї увагу занадто пізно, якщо подібна ситуація для нього нова чи невідома;
- через монотонність роботи увага оператора знижується, що може призвести до невчасного реагування на появу порушення;
- зазвичай оператор орієнтується на власний набір ознак, за якими визначає появу небезпечної ситуації і які спонукають його до дій;
- головну мету при виявленні порушення оператор вбачає в упередженні зменшення виробництва продукції, а не в оперативному виявленні й усуненні «проблемного» місця;
- існує складність щодо оперативного визначення ситуації, що склалася, як неполадки або тимчасового викиду;
- якою б не була кваліфікація оператора, він без спеціальних методів і розрахунків не може виявити появу розлагодження технологічного процесу на ранніх стадіях.

Для усунення вищезазначених недоліків і полегшення роботи особи, що приймає рішення, доцільно використовувати підсистему підтримки прийняття рішення, що побудована на статистичних методах. Зокрема, статистичний контроль при керуванні технологічними процесами забезпечує своєчасне введення коригуючих дій: зміни настроень або

структури регульовального пристрою. Контрольні карти забезпечують оперативність, сигналізують про зміни в процесі, дають змогу оцінити величину зміни регульованої змінної та частоти подібних випадків, є основою для введення коригуючих впливів із урахуванням обмежень на час прийняття рішень. Контрольні карти представляють собою графічні засоби аналізу, які легко інтерпретуються та будуються у виробничих умовах в реальному часі. Також до переваг використання контрольних карт слід віднести забезпечення візуального спостереження регульованої змінної та визначення змін у технологічному процесі на ранніх стадіях [7].

Аналіз якості технологічного процесу, що підпорядковується нормальному закону розподілу, можна проводити за допомогою одновимірних карт для незалежних змінних і багатовимірних – для корельованих. Одновимірні контрольні карти Шухарата набули популярності за простоту побудови й інтерпретації, оперативне виявлення викидів. Їх особливістю є одночасний аналіз розташованих на одному листі карти, призначеної для керування за кількісною ознакою, для середнього \bar{X} і карти розмахів R . Оскільки розмах характеризує міру швидкості зміни регульованої змінної, то викид на R-карті, при його відсутності на \bar{X} -карті, сигналізує про виникнення проблеми ще задовго до появи сигналу тривоги при аналізі зміни середнього \bar{X} .

Для прикладу розглядається процес регулювання температури кипіння сиропу в першому корпусі випарної станції (ВС) цукрового заводу. Контрольні карти побудовані за допомогою програмного продукту STATISTICA [8].

Досліджувана експериментальна вибірка відповідає нормальному закону і може бути використана для статистичного контролю. Основні статистичні характеристики вибірки наведені в табл. 1.

1. Основні статистичні характеристики вибірки, що аналізується

n	\bar{X}	σ	Мода	Медіана	Коеф. ексцесу	Коеф. асиметрії
97	120,86	0,01	120,91	120,86	3,07	0,25

На картах Шухарта на рис. 1 для температури соку в I корпусі ВС: на \bar{X} -карті, за нормального розподілу значень є викид за нижню контрольну межу, що є сигналом появи неполадки, тобто відхилення від прийнятої області значень спостережної змінної, та необхідності введення коригуючих дій.

Контрольні межі не є границями, передбаченими технологічним регламентом і дають змогу уникнути регулювання змінної, коли воно не потрібно, а також збою керування у разі потреби. Вони визначаються за допомогою простих статистичних розрахунків на основі аналізу досліджуваного процесу:

$$\text{НМК} = \mu - 3\sigma, \quad (1)$$

$$\text{ВМК} = \mu + 3\sigma, \quad (2)$$

де НКМ та ВМК – нижня та верхня контрольні межі, відповідно;

μ – загальне вибіркове середнє;

σ – дисперсія;

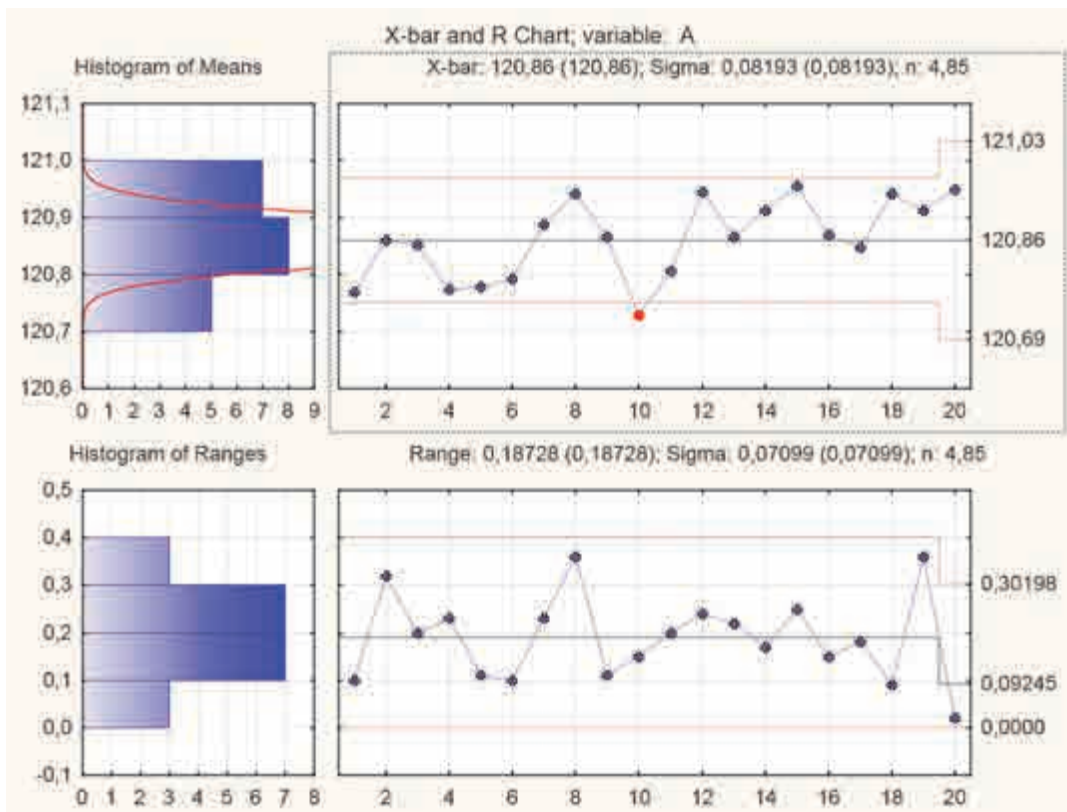


Рис. 1. Контрольні карти Шухарта для температури сиропу в I корпусі ВС

Після нанесення на контрольні карти верхнього (USL) і нижнього (LSL) граничних допусків протікання технологічного процесу, згідно з регламентом ($\pm 1^\circ\text{C}$), видно, що викид спонукає оператора звернути увагу на появу тривоги задовго до того, як змінна вийде за межі технологічних контрольних границь, адже процес у цілому статистично керований (рис. 2).

Для оцінки адекватності отриманого результату побудовано та проаналізовано комплексний графік (рис. 3), що містить контрольні карти Шухарта, з урахуванням граничних допусків, передбачених технологічним регламентом, і показники придатності.

У нижньому лівому куті (рис. 3) розташовано графік окремих спостережень за вимірами температури в I корпусі ВС. Як видно з графіка, усі значення лежать усередині коридора допусків, отже, жодне вимірювання не свідчить про вихід значення температури кипіння сиропу за допустимі технологічні межі й навіть в 10 вимірюванні, яке на X-карті характеризується викидом, не було жодного критичного значення регульованого параметра. Це свідчить про те, що є якась інша причина, через яку виник сигнал тривоги і оператору необхідно коректно відреагувати на його появу.

Візуальна оцінка нормального ймовірнісного графіка, що розташований в правому верхньому куті рис. 3, свідчить про те, що вибіркові дані підпорядковуються закону нормального розподілу й коригування не потрібні.

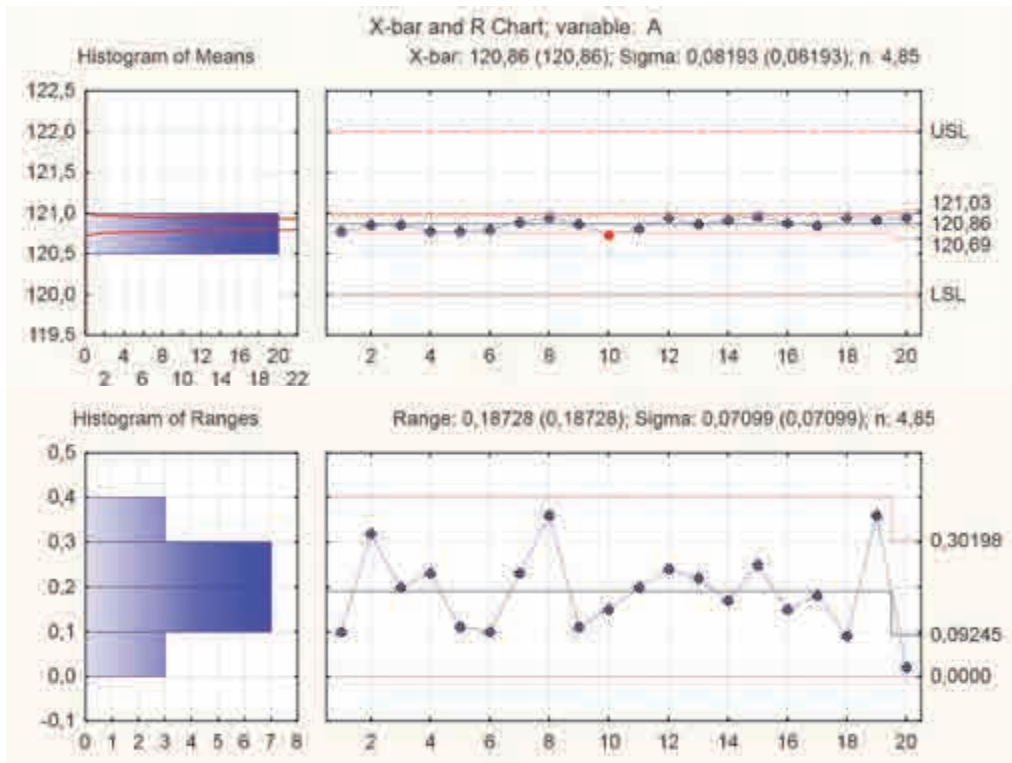


Рис. 2. Контрольні карти Шухарта для температури сиропу в I корпусі ВС з границями, передбаченими технологічним регламентом

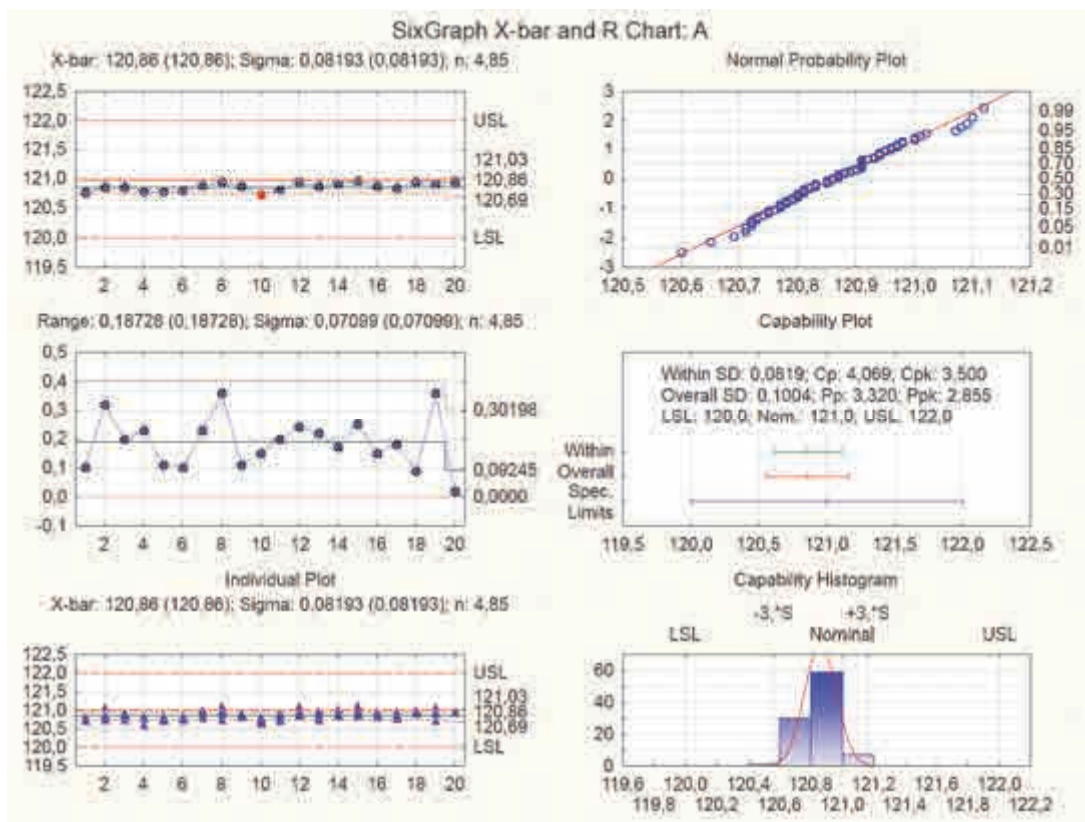


Рис. 3. Комплексний графік для температури сиропу в I корпусі ВС з границями, передбаченими технологічним регламентом

Графік придатності роташований справа всередині на рис. 3. На ньому можна побачити індекси придатності процесу, які виражають (у вигляді відношення), яка частина значень регульованої технологічної змінної, отриманих в межах поточного виробничого процесу, за своїми характеристиками потрапляє у визначені технологічним регламентом межі (зокрема, технологічні граничні допуски).

Найпоширенішим індексом придатності є індекс C_p , який розраховується за формулою:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

Якщо розподіл регульованої змінної підкоряється нормальному закону і процес абсолютно точно центрований (тобто середнє значення процесу відповідає положенню центральної лінії на контрольній карті), то цей індекс інтерпретується як частина стандартної кривої нормального розподілу (ширина процесу), яка знаходиться всередині коридору допустимих значень за технологічним регламентом. Для "придатного" процесу індекс C_p повинен бути більше за 1. У разі нецентрованого процесу, замість індексу C_p використовується уточнений індекс C_{pk} . Для досліджуваного процесу середнє значення процесу несуттєво зміщене відносно положення центральної лінії (на графіку центр зеленої прямої, що відповідає 6σ зміщене відносно центра синьої прямої, що відповідає граничним допускам), тому необхідно щоб було $C_p > 1$, $C_{pk} > 2$ – це означає, що для того, щоб можна було очікувати потраплення більше, ніж 99% усіх регульованих значень температури кипіння сиропу в I корпусі ВС в межах регламентованих технологічних допусків, величина інтервалу між контрольними межами планових значень повинна перевищувати 6σ . У розглянутому випадку $C_p = 4,069 > 1$, $C_{pk} = 3,5 > 2$, згідно з табличними даними, кількість очікуваних «дефектів» на мільйон виміряних значень регульованої змінної повинна бути менше за 1.

Висновки

У роботі показано доцільність та переваги використання одномірних контрольних карт Шухарта для виявлення відхилень у технологічному процесі на ранніх стадіях для подальшого введення коригувальних дій. Оцінка показників придатності, на прикладі роботи ВС, свідчить про адекватність результатів, відображених на контрольних картах, а доповнення АСР картами Шухарта з урахуванням того, що вони лише сигналізують про появу сигналу тривоги, але не вказують точне місце її виникнення, дасть змогу підвищити ефективність роботи технологічного комплексу.

Список літератури

1. Луцька Н. М. Розробка багатовимірних оптимальних регуляторів для випарної станції цукрового виробництва, що функціонує в умовах інтервальної невизначеності / Н. М. Луцька, Л. О. Власенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – К. : НУХТ, 2013. – № 52. – С. 48–61.

2. Клячкин В. Н. Программное обеспечение многомерного статистического контроля процесса с учетом погрешностей измерений / В. Н. Клячкин, В. А. Сафин, Ю. К. Сагдеева, А. А. Сидякина // Информатика и вычислительная техника : сб. научных трудов / под. ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 648–652.
3. Garcia-Diaz, A. C. (2007). The effective variance control chart for monitoring the dispersion process with missing data // *European J. Industrial Engineering*, 1, 1.
4. Клячкин В. Н. Управление качеством продукции на основе совершенствования методов многомерного статистического контроля процессов / В. Н. Клячкин, В. А. Сафин // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* – 2011. – № 4 (2). – С. 537–542.
5. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах / Д. Химмельблау – Л. : Химия, 1983. – 352 с.
6. Ладанюк А. П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А. П. Ладанюк, Н. А. Заєць, Л. О. Власенко – К. : Ліра-К, 2016. – 312 с.
7. Власенко Л. О. Статистична діагностика процесу функціонування випарної станції цукрового заводу / Л. О. Власенко, А. П. Ладанюк, М. А. Сич // *Автоматизація технологічних і бізнес процесів.* – Одеса : ОНАХТ, 2014. – № 2 (18). – С. 50–60.
8. Statsoft [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.statsoft.ru>.

References

1. Lutskaaya, N. M., Vlasenko, L. O. (2013). Rozrobka bagatovimirnih optimalnih regulatoriv dlya viparnoyi stancii cukrovogo virobництва, scho funkcionue v umovah intervalnoi nevznachenosti [Development of multidimensional optimal controllers for sugarmill evaporation plant which operates in interval indetermination conditions]. *Scientific works of National University of food technologies*, 52, 48–61.
2. Klyachkin, V. N., Safin, V. A., Sagdeeva U. K., Sidyakina A. A. (2010). Programmnoe obespechenie mnogomernogo statisticheskogo kontrolya processa s uchotom pogreshnostey izmereniy [Software multivariate statistical process monitoring with consideration of measurement errors]. *Computer science: collection of scientific works / under. edited by V. N. Negoda*, 648–652.
3. Garcia-Diaz, A. C. (2007). The effective variance control chart for monitoring the dispersion process with missing data. *European J. Industrial Engineering*, 1, 1.
4. Klyachkin, V. N., Safin, V. A. (2011). Upavlenie kachestvom produkcii na osnove sovershenstvovaniya metodov mnogomernogo statisticheskogo kontrolya processov [Product quality management on the basis of perfection of methods of the multivariate statistical control of processes]. *Proceedings of the Samara scientific center by Russian Academy of Sciences*, 4 (2), 537–542.
5. Himmelblau, D. (1983). Obnarugenie i diagnostica nepoladok v himicheskikh i neftehimicheskikh processah [Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes]. *Leningrad, Chemical*, 352.
6. Ladanyuk, A., Zaec, N., Vlasenko L. (2016). Suchasni tehnologii konstruyuvannya system avtomatizacii skladnih system (meregevi strukturi, adaptacija, diagnostika ta prognozuvannya: monografija [Modern technologies of designing of systems of automation of complex objects (network structure, adaptation, diagnostics and forecasting): the monograph]. *Kiev, Lira-K*, 312.

7. Vlasenko, L., Ladanyuk, A., Sich, M. (2014). [Statistical diagnostics of operating process of sugar factory evaporator plant]. Automation of technological and business processes, 2 (18), 50–60.

8. Statsoft [Electronic resource]. Available at: <http://www.statsoft.ru>.

КОНТРОЛЬНЫЕ КАРТЫ В СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

**Л. О. Власенко,
А. П. Ладанюк**

Аннотация. *Приведены результаты анализа и синтеза автоматических систем регулирования объектами пищевой промышленности. Для повышения эффективности функционирования технологических комплексов пищевой промышленности предложено использовать методы статистического управления. Приведены результаты использования контрольных карт, построенных в программном пакете STATISTICA.*

Ключевые слова: *статистическое управление, статистическая диагностика, контрольная карта, распределение, выборка, неполадка*

CONTROL CARDS IN THE STATISTICAL ANALYSIS AND SYNTHESIS METHODS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

**L. Vlasenko,
A. Ladanyuk**

Abstract. *The results of analysis and synthesis of automated control systems by food industry objects are shown in the article. It is proposed to use statistical control methods for improving efficiency of food industry technological systems. The results of control cards usage created with the help of software STATISTICA are shown.*

Keywords: *statistical control, statistical diagnostics, control card, set, defect*