

Анализ стабильности технологической системы производства карамели

О.В. Исламова, Ю.Н. Волошин, А.З. Токов, Р.М. Волкова

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Аннотация: В работе рассмотрена операторная модель технологической системы производства карамели, произведена оценка стабильности подсистем и целостности технологической системы. Для наименее стабильной подсистемы образования карамели, с использованием карт Шухарта, при конкретных условиях производства проведен анализ устойчивости функционирования подсистемы.

Ключевые слова: операторная модель, подсистема, целостность системы, устойчивость процесса, контрольные карты, средние значения, размах.

Одним из важнейших элементов качества продукции является уровень технологического процесса её производства, который, в соответствии с [1], формулируется как технологический поток в линии, состоящей из машин и аппаратов, согласованных по производительности и связанных транспортными устройствами. Стадии эволюции технологической системы можно рассматривать с позиций функционирования, развития и прогнозирования системы. Для характеристики каждой стадии используется ряд понятий, имеющих количественные значения.

Для оценки перспектив развития технологического потока используется термин целостность технологического потока [1, 2]. Под целостностью технологического потока понимается способность элементов, составляющих технологическую систему, вступать в такие взаимодействия, которые обуславливают новые, интегративные качества системы, не свойственные составляющим её частям.

При анализе технологических потоков перспективным является подход, который предложен в работах [1, 2]. Исходя из машинно-аппаратурной схемы, строится операторная модель, по схеме, изображенной на рис. 1.

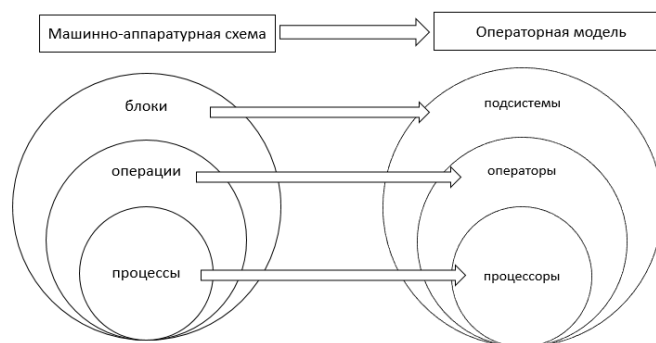


Рис. 1 - Схема построения операторной модели на основе машинно-аппаратурной схемы

Основной технической характеристикой целостности технологического потока является стабильность составляющих подсистемы элементов.

Определим показатели целостности системы применяя подход, когда на основе данных о выходе процесса рассчитывается показатель стабильности подсистем. Свойства технологической системы оценим, рассмотрев процесс производства карамели с начинкой, операторная модель которого представлена на рис. 2.



Рис. 2. - Графическое представление технологической системы карамели с начинкой

Стабильность технологических подсистем будем оценивать с помощью энтропийной функции H [1, 3], которая определяется по формуле:

$$H = -p \log_2 p - q \log_2 q \quad (1)$$

где p – вероятность того, что показатель качества каждого процесса соответствует установленным требованиям; q – вероятность того, что показатель качества «выхода» не соответствует установленным требованиям, ($q=1-p$).

Показатель стабильность подсистемы η рассчитывается по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{H}{H_{max}} \quad (2)$$

где $H_{max}=1$ соответствует полной неопределенности состояния системы при $p = q = 0,5$.

В соответствии с [1] и рисунком 2, уровень целостности технологической системы производства карамели с начинкой может быть рассчитан по формуле:

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = \eta_{C_3} + \eta_{C_2} + \eta_{C_1/C_2} + \eta_{B/C_3C_2C_1} + \eta_{A/C_3C_2C_1B} - 4, \quad (3)$$

где η_{C_3} , η_{C_2} – стабильность подсистем C_3 и C_2 ; η_{C_1/C_2} – условная стабильность подсистемы C_1 относительно подсистемы C_2 ; $\eta_{B/C_3C_2C_1}$ – условная стабильность подсистемы B относительно подсистем C_3 , C_2 , C_1 ; $\eta_{A/C_3C_2C_1B}$ – условная стабильность подсистемы A относительно подсистем C_3 , C_2 , C_1 , B .

В соответствии с [2] выход подсистемы C_1 характеризуется влажностью карамельной массы, подсистемы C_2 – влажностью карамельного сиропа, C_3 – влажностью уваренной рецептурной смеси для начинки, подсистемы B – массой не завернутой карамели, подсистемы A – качеством заготовки карамели. При объеме выборки 100 изделий за смену для подсистемы C_3 количество годных изделий составило 99 единиц ($p = 0,99$),

для $C_2 - 99$ ($p = 0,99$), для $C_1 - 97$ ($p = 0,97$), для $B - 94$ ($p = 0,94$), для $A - 97$ ($p = 0,97$).

Проведенные расчеты по формулам (1) – (3) показали, что фактор стабильности меньше всего у подсистемы B ($\eta_{B/C_3C_2C_1} = 0,67$), а уровень целостности системы $\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,13$, что указывает на резервы ее совершенствования ($0 < 0,13 < 1$).

На рис. 3 представлена подсистема B в качестве фрагмента операторной модели производства карамели с начинкой.

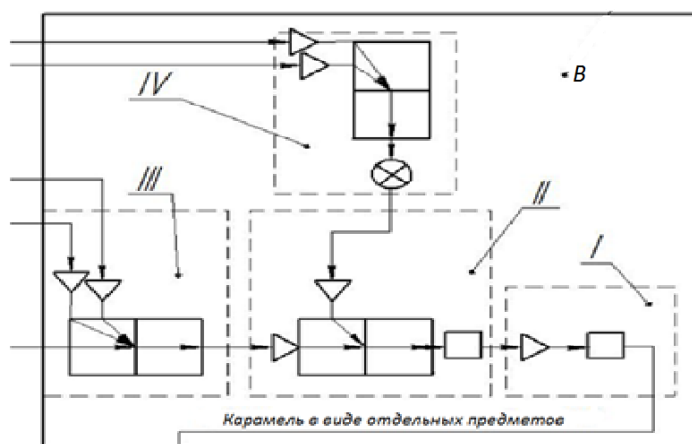


Рис. 3 - Подсистема B операторной модели технологической системы производства карамели с начинкой (I – оператор образования карамели в виде отдельных предметов; II – оператор образования жгута из тянутой карамельной массы; III – оператор образования тянутой карамельной массы с заданными физико-механическими свойствами; IV – оператор образования начинки с заданными физико-механическими свойствами)

В состав комплекса оборудования подсистемы B входят следующие машины: карамелеформирующая (оператор I), карамелеобкаточная и жгутовывтягивающая (оператор II), тянульная (оператор III), начиночная и темперирующая (оператор IV). В соответствии с источником [2], выход подсистемы B характеризуется массой карамели, которая при условии

постоянства диаметра откалиброванного жгута и плотности карамельной массы с начинкой определяется длиной карамели после операции формообразования. Постоянство длины (шага) карамели обеспечивается конструкцией рабочего органа карамелеформирующей машины, а также режимом технического обслуживания машины. Ротационные карамелеформирующие машины обеспечивают более стабильный шаг карамели по сравнению с цепными формирующими машинами за счет жесткой конструкции ротора. Недостатком цепных карамелеформирующих машин является меньшая жесткость конструкции и быстрый износ рабочих органов цепей. Кроме того, стабильность длины карамели влияет на устойчивость работы заверточных машин.

Для повышения стабильности подсистемы можно рассмотреть подсистему как операторную модель, а операторы – как подсистемы и повысить целостность подсистемы путем уменьшения количества подсистем (операторов) путем их группирования или переноса в другую подсистему. Данные технологические мероприятия позволяют повысить целостность подсистемы, а, следовательно, и всей системы. Для операторной модели системы производства карамели с начинкой в подсистеме В операторы содержат либо одиночные машины, либо машины несовместимые по технологическому назначению для группирования. Поэтому для данной подсистемы, как одним из вариантов, является путь сохранения существующей стабильности путем технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования с помощью мониторинга стабильности выпускаемого подсистемой изделия.

Стабильность лежит в основе одного из показателей функционирования технологического потока – управляемости технологического потока, которая часто характеризуется термином

«управление качеством продукции». Инструментом для анализа статистической управляемости технологического потока являются контрольные карты (карты Шухарта) [4, 5]. Общим вопросам применения карт Шухарта для мониторинга технологических процессов посвящена работа [6], их применению в различных областях производств – работы [7-9], для контроля качества процесса обучения в учреждении высшего образования - работа [10].

Анализ устойчивости процесса образования карамели (подсистема В) проводился на основе отбора изделий после карамелеформирующей машины в течение смены. Каждые 20 минут отбиралось по 5 единиц. Всего было проведено 20 выборок. Каждая единица взвешивалась с точностью до 0,01 грамма, результаты вносились в контрольный листок.

Предварительно была построена гистограмма распределения для проверки соответствия выборочных данных закону нормального распределения (рис. 4).

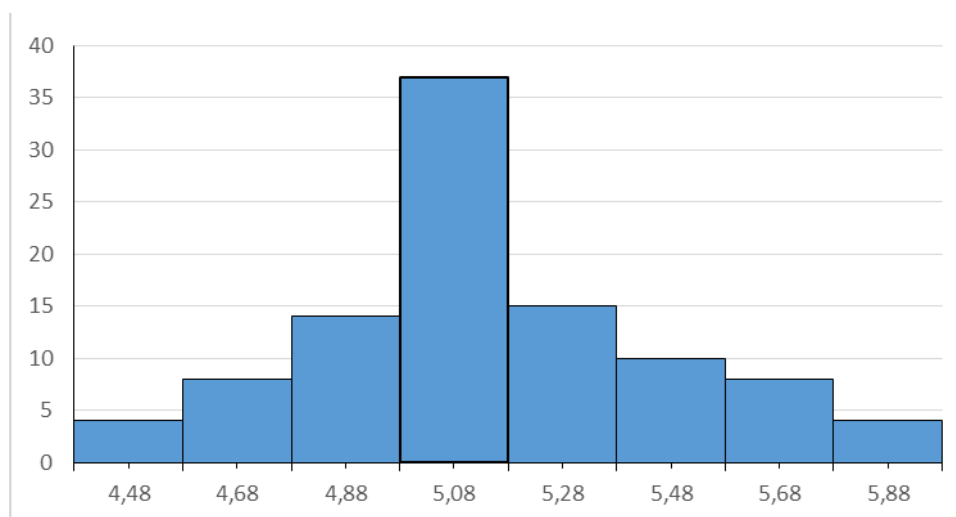


Рис. 4. – Гистограмма распределения

Из рисунка следует, что гистограмма имеет вид нормального распределения, что соответствует рекомендациям ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты.

Анализ статистической управляемости процесса (стабильности) проводили на основе контрольных карт $\bar{X} - R$, представленных на рис. 4.

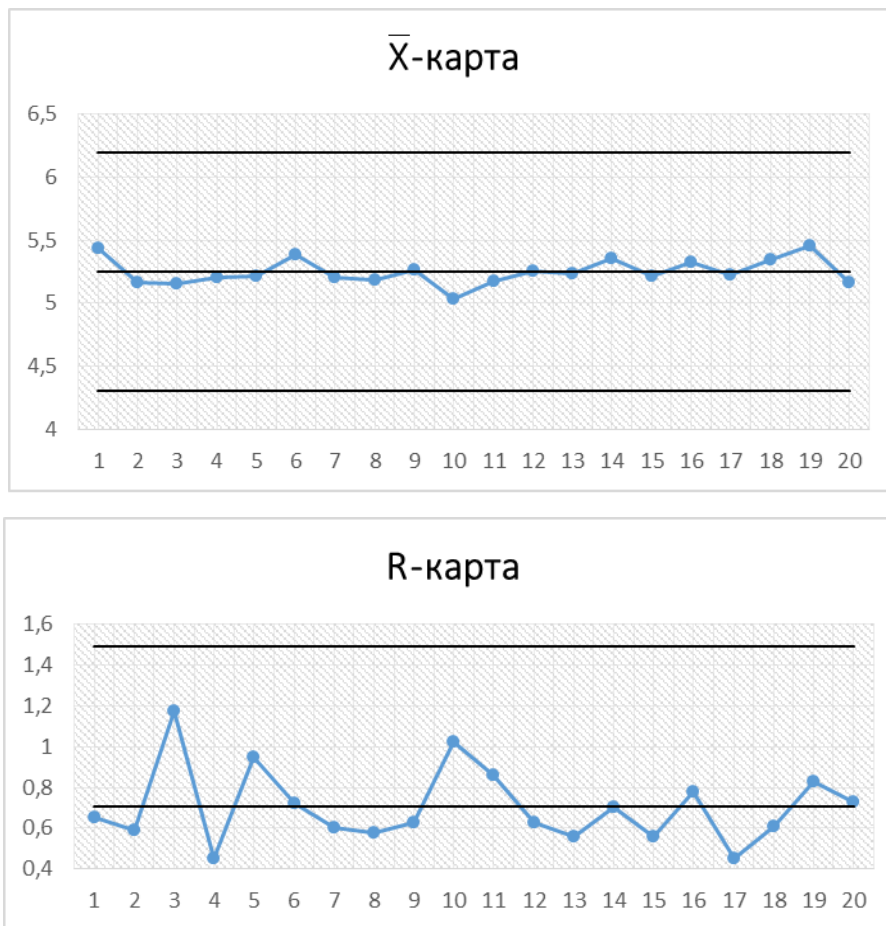


Рис. 5. – Контрольные карты для количественных данных

Карты представлены без технического допуска на массу отдельных единиц карамели, которые не фиксируются в нормативных документах, а разброс массы карамели используется для оценки стабильности функционирования карамелеформирующих машин.

Из рисунка видно, что на контрольной карте отсутствуют признаки, указывающие на наличие особых причин в виде серий, трендов, выходов точек за контрольные границы и др. Точки, в основном, сосредоточены возле центральной линии, рассеяние показателя качества незначительно.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что технологический процесс в подсистеме *B* находится в стабильном состоянии, а сама подсистема устойчива. Мониторинг состояния подсистемы с помощью карт Шухарта позволяет использовать техническое обслуживание оборудования по состоянию для сохранения стабильности подсистемы, без постоянного диагностирования самого оборудования.

Литература

1. Панфилов В.А. Теория технологического потока. М.: КолосС, 2007. 319 с.
2. Панфилов В.А. Научные основы развития технологических линий пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1986. 246 с.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Изд-во Ленанд, 2019. 240 с.
4. Солонин С. А. Метод контрольных карт: электронное текстовое издание. - Екатеринбург: УрФУ, 2015. - 215 с.
5. Петрова И.В. Контрольные карты Шухарта как наглядный инструмент внутрилабораторного контроля качества измерения // Молодой ученый. 2019. №52 (290). С. 56–57.
6. Васин Л.А., Нечаев Ю.В. Проблемы применения метода Шухарта для мониторинга технологических процессов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 5. С.133–140.
7. Islamova O. V., Zhilyaev A. A. Provision of quality of technological process of manufacturing machine-building manufacturing products // Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, St. Petersburg – St. Petersburg, 2017. – P. 531-532.

8. Amirov S., Turdibekov K., Rustamov D. Experimental and statistical methods of research and optimization of electric power systems modes under uncertainty conditions // *Universum: technical science.* – 2023. – No. 2-6(107). – P. 71-75.

9. Терёхина Ю.В., Котляр В.Д., Серебряная И.А., Черенкова И.А. Контрольный лист качества - инструмент сбора и анализа данных при производстве кирпича керамического // *Инженерный вестник Дона.* 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2109

10. Исламова О. В., Токов А. З., Жилиев А. А., Волкова Р.М. Влияние дистанционного режима на качество обучения студентов института информатики, электроники и робототехники КБГУ // *Инженерный вестник Дона.* 2021., № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7349

References

1. Panfilov V.A. *Teoriya tehnologicheskogo potoka [Process flow theory].* М.: KolosS, 2007. 319 p.

2. Panfilov V.A. *Nauchnye osnovy razvitiya tehnologicheskikh linij pishhevyykh proizvodstv [Scientific basis for the development of technological lines of food production].* М.: Agropromizdat, 1986. 246 p.

3. Birger I.A. *Tehnicheskaja diagnostika [Technical diagnostics].* М.: Izd-vo Lenand, 2019. 240 p.

4. Solonin S. A. *Metod kontrol'nyh kart [The control card method]: elektronnoe tekstovoe izdanie.* Ekaterinburg: UrFU, 2015. 215 p.

5. Petrova I.V. *Molodoj uchenyj.* 2019. №52 (290). pp. 56 - 57.

6. Vasin L.A., Nechaev Ju.V. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki.* 2013. № 5. pp.133–140.



7. Islamova O. V., Zhilyaev A. A. Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, St. Petersburg, 2017. pp. 531-532.

8. Amirov S., Turdibekov K., Rustamov D. Universum: technical science. 2023. No. 2-6(107). pp. 71-75.

9. Terjohina Ju.V., Kotljar V.D., Serebrjanaja I. A., Cherenkova I.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2109

10. Islamova O. V., Tokov A. Z., Zhiljaev A. A., Volkova R.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7349