

Исследование статистического управления процессами в задачах автоматизации процессов

Н. В. Размочаева¹, В. П. Семенов², А. А. Безруков³

Факультет экономики и менеджмента

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹nvrasmochaeva@etu.ru, ²vps@etu.ru, ³aabezrukov@etu.ru

Аннотация. Рассматриваются основные аспекты статистического управления процессами по контролю качества как продукции, так и действующих процессов на предприятии. По выделенным для сравнения критериям проводится сравнительный анализ существующего программного обеспечения для статистического управления. Отмечаются достоинства и недостатки систем и формируется ответ на вопрос о применимости каждой из рассматриваемых систем в задаче автоматизации процессов. Выделяются основные перспективные направления модернизации существующих систем и разработки новых системы статистического управления процессами.

Ключевые слова: автоматизация; управление процессами; статистическое управление; *statistical process control*; менеджмент качества; управление качеством

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы исследования автоматизации процессов предприятий (как производственных, так и управленческих) уже поднимались в различных работах. Например, в [1] обсуждается проблема автоматизации процессов предприятий парфюмерно-косметической промышленности. При этом рассматриваются возможности автоматизации на основе методов искусственного интеллекта, приводятся примеры современных существующих ИТ-решений. Что касается методов искусственного интеллекта и интеллектуального анализа, то данный вопрос подробно рассмотрен в [2] на примере анализа данных о продажах розничных товаров. В [3] приводятся результаты разработки программного приложения, реализующего ключевые идеи, изложенные в [2]. В [4] выполнен переход от глобальных методов искусственного интеллекта до локальных методов машинного обучения и их применения для автоматизации извлечения полезной информации из данных о продажах. В [5] выполнена проекция проблем автоматизации на область менеджмента качества, где подчеркивается как важность автоматизации статистического анализа, так и внедрение методов интеллектуального анализа данных.

Одним из самых важных и сложных вопросов автоматизации технологических процессов является автоматизация контроля [6].

II. ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ

Статистический контроль процессов (*Statistical Process Control, SPC*) рассматривается как один из методов контроля качества продукта [7]. При таком подходе считается, что качество продукта определяется качеством процессов.

Статистический контроль процессов подразумевает разделение отклонений, вызванных *сбоями* в процессе, и «естественных» отклонений, являющихся неотъемлемой частью любого процесса. Целью статистического контроля процессов является выявить и устранить фактические и потенциальные причины сбоев. Также статистический контроль нацелен на поддержание стабильности процесса, обеспечивая возможность его постоянного улучшения.

В рамках данного метода определяются параметры процесса, которые являются критичными для качества результатов. Такие параметры называют *СТQ-параметрами* (*Critical To Quality*, критичные для качества). Обязательное требование к *СТQ-параметрам* – значимость для конечного качества продукции и измеримость. Определение ключевых параметров процесса – сложная исследовательская задача, так как параметры могут варьироваться от чисто технических (состояние промышленных установок) до управленческих (величина рабочего дня, сменность). Поэтому определение параметров зачастую выполняется технологами, метрологами и конструкторами. Количество выбранных параметров процесса не должно быть ни слишком большим, ни слишком маленьким: его следует выбирать исходя из ресурсов (временных, человеческих), которые могут быть выделены для мониторинга.

В дальнейшем показатели этих параметров подлежат отслеживанию и сравнению с образцовыми значениями. По результатам сравнения делают заключение о статистической управляемости или неуправляемости процесса. Это заключение позволит в будущем фиксировать изменения в процессе, классифицировать их как отклонения и определять их причины (чтобы в дальнейшем устранить). На основе результатов анализа определяется степень необходимого вмешательства в ход процесса. Одним из популярных инструментов статистического контроля процессов являются так называемые «контрольные карты».

Статистическое управление процессами оперирует такими понятиями как дисперсия, функция распределения, среднеквадратическое отклонение и др. Специалистам по статистическому управлению необходимо уметь строить и интерпретировать карты средних значений и размахов, карты скользящих размахов (контрольные карты Шухарта: XR, XmR, XS, MA, EWMA) [8].

Для современных видов производства такой метод статистического контроля (в его первоначальном виде) несколько устарел. Устаревание произошло по нескольким причинам. Во-первых, выбранные для мониторинга параметры процесса рассматриваются изолированно друг от друга. Во-вторых, количество значимых параметров в современных предприятиях сильно возросло. В связи с этим была разработана и внедрена методика многомерного статистического контроля [9]. Многомерный статистический контроль рассматривает СТQ-параметры в совокупности, определяя поведение всей системы, а не отдельных ее частей.

III. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

Для определения успешности статистического контроля, наряду с выше упомянутыми SPC-системами прибегают к использованию так называемых MSA-методик (*Measurement System Analysis* или систем анализа измерений).

Так как статистический контроль подразумевает работу с данными, выбор системы хранения и обработки данных (информационной системы) – важный этап управления процессами. Стоит отметить, что такие информационные системы должны быть real-time системами (работать в режиме настоящего времени), то есть выполнять online мониторинг процессов. Разнообразие таких информационных систем велико – начиная от баз данных, заканчивая ERP-системами (*Enterprise Resource Planning* – планирование ресурсов предприятия).

Рассмотрим подробнее системы хранения и обработки статистических данных. Информационная система должна поддерживать различные функции, связанные с управлением качеством, например, анализ средств измерений, статистические методы обработки данных. Самыми распространёнными информационными системами для поддержки статистического контроля являются: SAP (*System Analysis and Program Development* – Системный анализ и разработка программ (по наименованию компании-разработчика)), IC, Statistica, MATLAB, Minitab, EMI-системы (*Enterprise Manufacturing Intelligence* – системы производственной отчетности и аналитики).

Для сравнения систем выделим следующие критерии: стоимость внедрения, интеграционная шина, методы управления качеством, доступность исходного кода.

Интеграционная шина (ESB – *Enterprise Service Bus*) – программное обеспечение, осуществляющее взаимосвязь между различными информационными системами предприятия. Интеграционная шина должна поддерживать взаимодействие по различным протоколам. Каждое

приложение (информационная система) подключается только к ESB. Интеграционная шина выполняет следующие важные функции: (1) маршрутизация сообщений между различными информационными системами, (2) гарантия доставки и целостности сообщений. При этом должна быть реализована обработка отказов системы. Даже если информационная система не работала в момент формирования сообщения, по возвращению в работоспособное состояние информация должна быть обработана.

Открытый код обеспечивает возможность адаптации системы под специфические нужды предприятия. Доступность открытого кода также позволяет усовершенствовать существующую систему вместо приобретения новой. Результаты сравнения приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА I СРАВНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Критерий сравнения систем	Название системы				
	SAP	IC	Statistica	Minitab	EMI
Стоимость внедрения	>1млн.	>100т.р.	20т.р./год	70т.р./год	>3млн.
ESB	Отдельно	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Есть
Методы управления качеством	Отдельно	Отдельно	Есть	Есть	Отсутствует
Доступность исходного кода	Нет	Да	Нет	Нет	Нет

Наибольшей популярностью для предприятий РФ пользуются системы IC. Для международных предприятий – SAP. Для глобальных предприятий – EMI-системы. Научно-исследовательские центры некоторых предприятий используют Statistica и Minitab.

Отдельного рассмотрения требует вопрос о модернизации существующих информационных систем на предприятии (вместо закупки новых). Достоинства и недостатки проведения собственных разработок отражены в табл. 2.

ТАБЛИЦА II ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ РАЗРАБОТКИ СОБСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

№ п/п	Перечень достоинств и недостатков	
	Достоинства	Недостатки
1.	Постоянная модернизация в ногу с современными технологиями в компании	Дороговизна
2.	Отсутствие затрат на поддержание лицензий	Высокое количество сопутствующих рисков
3.	Открытый код и возможность постоянной модернизации	
4.	Оценка рисков внедрения системы	
5.	Непрерывная обратная связь с прямыми пользователями системы	

Если мероприятия по автоматизации процессов рассматривать в рамках краткосрочного стратегического планирования, то лучше прибегнуть к использованию готовых решений. Если же компания занимается

долгосрочным стратегическим планированием и заинтересована идти в ногу со временем, то лучше собрать собственную команду разработчиков и заниматься разработкой информационных систем самостоятельно.

IV. ПРИМЕРЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ

Продолжаем развивать вектор исследования, направленный на самостоятельную разработку информационных систем для статистического контроля процессов.

A. Выбор языка реализации

За последний десяток лет особую популярность приобрел язык программирования Python. Данный язык гибкий в использовании за счет низкого порога освоения, простого функционала и скорости обучения. Таким образом, выбор языка Python будет целесообразным при самостоятельной разработке информационных систем.

Для Python уже реализованы специальные модули, выполняющие статистический контроль и построение контрольных карт. Далее продемонстрируем статистический контроль с использованием функций из модуля *ruspс* [10].

Анализируемый процесс – процесс продажи товаров, осуществляемый через торговые автоматы. В качестве анализируемых параметров наблюдаемого процесса могут рассматриваться различные характеристики продаваемости товаров – средняя цена закупки, средняя цена продажи, маржинальность и маржинальность, отнесенная к количеству проданного товара – всего 12 параметров. Дабы не разглашать коммерческую информацию, приведем только результаты исследования в графическом исполнении.

Сначала рассмотрим контрольную карту EWMA.

B. Контрольные карты EWMA на Python

Контрольные карты экспоненциально взвешенного скользящего среднего (EWMA – *Exponentially Weighted Moving Average*) относятся к семейству контрольных карт MA (*Moving Average*). Общая идея для таких карт: значения в каждой точке определения равны среднему значению исходной функции за предыдущий период

Ошибка! Источник ссылки не найден..

Центральная линия для карт рассчитывается как среднее арифметическое наблюдений: $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, где μ – значение центральной линии, x_i – наблюдаемые значения, n – количество наблюдаемых значений.

Значения z_i , откладываемые на карте, вычисляются так: $z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda) z_{i-1}$, где z_i – расчетное значение, λ – фактор сглаживания, x_i – наблюдаемые значения или среднее арифметическое группы наблюдаемых значений (выборки), и z_{i-1} – предыдущее расчетное значение. Наличие расчетного значения предполагает отличие величин, откладываемых на карте, от результатов

наблюдений. Тем не менее, это значение тесно связано с наблюдением, а его отличие призвано сгладить естественную вариацию процесса.

Расчет контрольных пределов карты выполняется по следующей формуле: $CL = \mu \pm \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i})}$.

В следующем разделе представлены результаты исследования – EWMA-карты по различным параметрам товаров.

C. Результаты исследования

Далее на рис. 1–2 можно увидеть контрольные EWMA-карты для двух исследуемых параметров.

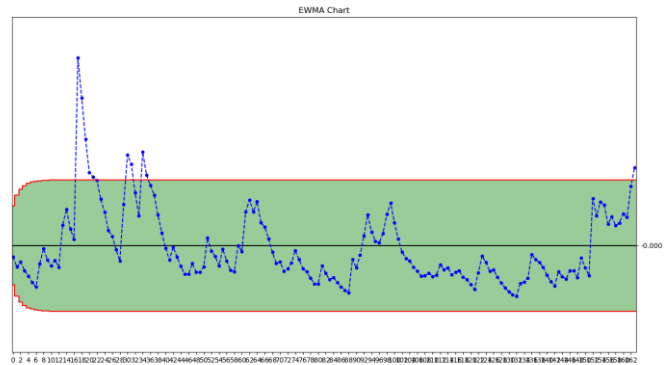


Рис. 1. Построение контрольной карты EWMA по одному параметру

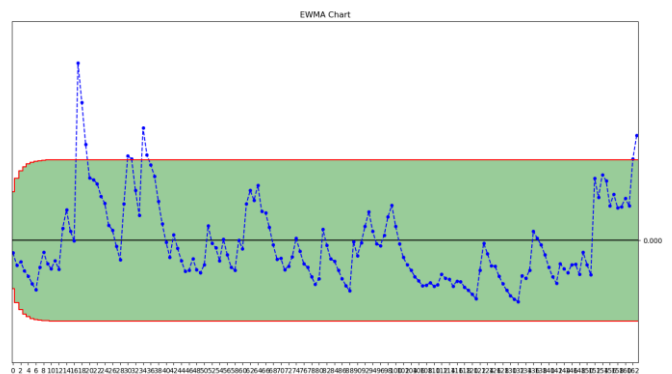


Рис. 2. Построение контрольной карты EWMA по другому параметру

На рис. 1 отчетливо видно отклонения значений параметров некоторых товаров (номера товаров: 18–23, 31, 32, 35, 36 и 162). Можно сделать заключение, что необходимо подробнее исследовать продаваемость (поведение) этих товаров. Поведение этих товаров нестабильно по рассматриваемому параметру. Чтобы сделать итоговый вывод о продаваемости этих товаров, необходимо исследовать их поведение как зависимость от другого параметра (рис. 2).

По итогам анализа по второму параметру гипотеза о нестабильном поведении подтвердилась для товаров под номерами: 19–21, 31, 32, 35, 36, 161 и 162.

Таким образом, исследовав все параметры товаров, был составлен список товаров, которые имеют стабильные отклонения по всем параметрам.

D. Интерпретация результатов

Полученные списки товаров с нестабильным поведением по большинству параметров были переданы экспертной группе.

Специалисты предметной области трактовали результаты следующим образом. Во-первых, среди исследуемых товаров были так называемые новинки, что спровоцировало повышенный интерес у покупателей и привело к отклонениям на контрольной карте. Во-вторых, среди товаров с отклонениями также есть товары, которые уже длительное время продавались в торговых автоматах, что привело к эффекту «привыкаемости» у покупателей и потере интереса.

Проведенный анализ позволил получить весьма ценные результаты. Для того, чтобы рядовому специалисту получить аналогичные результаты (сравнить значения параметров и выявить отклонения) требуется несколько рабочих дней (количество параметров – 12, количество продаваемых товаров – ~200 шт.). И можно не успеть вовремя зафиксировать товары с нестабильным поведением, чтобы предпринять меры по регулированию.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование статистического управления процессами. Отмечена важность статистического управления процессами в задачах управления качеством не только конечной продукции, но и процессов производства и управленческих процессов.

Проведен сравнительный анализ современных информационных систем, выполняющих различные функции хранения, обработки информации и в том числе функции статистического контроля. Стоит отметить, что все рассмотренные системы имеют как достоинства, так и недостатки. В связи с чем был поставлен вопрос о плюсах и минусах проведения собственных разработок. Ответ на которой такой: для компаний, занимающийся долгосрочным планированием собственные разработки – это ключ к успеху.

В практической части проведено построение контрольных карт EWMA для анализа продаваемости товаров через торговые автоматы. В результате анализа удалось выявить отклонения в продаваемости товаров, которые были успешно интерпретированы специалистами экспертной группы. Отмечается значимость проведения такого анализа автоматически – экономия временных и человеческих ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Razmochaeva N.V., Semenov V.P., Bezrukov A.A. Role of Process Automation in Quality Management of Enterprises in Perfumery and Cosmetic Industry. Материалы Конференции молодых исследователей России по электротехнике и электронике IEEE (2019 ElConRus) (2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering). 28-31 Января 2019. СС: 1449-1452. [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8657085/> (Дата обращения: 27.03.2019)
- [2] Semenov V.P., Chernokulsky V.V., Razmochaeva N.V. Research of artificial intelligence in the retail management problems. Материалы II Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2017) (2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS)). 25 - 27 октября 2017. С. 333-336. [Электронный ресурс] URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109560/> (Дата обращения: 27.03.2019)
- [3] Semenov V.P., Chernokulsky V.V., Razmochaeva N.V.. Software Application for Retail Sales Optimization. XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2018). Материалы конференции (XXI International Conference on Soft Computing and Measurement May 23-25, 2018 (SCM'2018)). 23-25 мая 2018 г. (в печати)
- [4] Klionskiy D.M., Chernokulsky V.V., Razmochaeva N.V. The Investigation of Machine Learning Methods in the Problem of Automation of the Sales Management Business-process. Материалы Международной научно-практической конференции «Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» IT&MQ&IS – 2018 (The International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"). 24-30 Сентября 2018. СС: 376-381. [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8525008> (Дата обращения: 27.03.2019)
- [5] Mikhailov Y.I., Razmochaeva N.V. The Problems of Quality Management Automation in Retail Sales. Материалы Международной научно-практической конференция «Менеджмент качества, транспортная и информационная безопасность, информационные технологии» IT&MQ&IS – 2018 (The International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"). 24-30 Сентября 2018. СС: 372-375. [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8525056> (Дата обращения: 27.03.2019)
- [6] Тимофеев Г.А., Барбашов Н.Н., Терентьева А.Д. Статистические методы управления технологическими процессами // Известия вузов. Машиностроение. 2016. №12 (681). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskie-metody-upravleniya-tehnologicheskimi-protsessami> (дата обращения: 27.03.2019).
- [7] Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. – Альпина Паблишер, 2009. 416 с.
- [8] Статистический контроль качества продукции на основе принципа распределения приоритетов / В.А. Лapidус, М.И. Розно, А.В. Глазунов и др. М.: Финансы и статистика, 1991. 224 с.
- [9] Эдвардс Д. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессам. Альпина Паблишер, 2015. 417 с.
- [10] Statistical Process Control Charts Library for Humans. [Электронный ресурс] URL: <https://pypi.org/project/pyspc/> (дата обращения: 27.03.2019).
- [11] Дергунов Д.В., Шейнкман Л.Э. Применение контрольных карт экспоненциально взвешенных скользящих средних для исследования загрязнения подземных вод // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. №4. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-kontrolnyh-kart-eksponentsialno-vzveshennyh-skolzjasyh-srednih-dlya-issledovaniya-zagryazneniya-podzemnyh-vod> (дата обращения: 27.03.2019)