

М. Ю. Михеев, О. В. Прокофьев, М. В. Тюрин, Д. А. Ярославцева

АНАЛИЗ КОРОТКОГО ВРЕМЕННОГО РЯДА В КАРТЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

M. Y. Mikheev, O. V. Prokof'ev, M. V. Tyurin, D. A. Yaroslavtseva

ANALYSIS OF A SHORT TIME SERIES IN A QUALITY CONTROL CHART

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из методов реализации системы качества продукции на поточном производстве является анализ контрольных карт. Помимо проверки нахождения контролируемого показателя внутри допустимых границ и поиска периодических колебаний показателя, в процедуру анализа входит выявление и анализ тренда. Целью работы является совершенствование системы качества продукции в поточном производстве. *Материалы и методы.* Применены дополнительные процедуры анализа короткого временного ряда, формируемого при анализе карты контроля качества. Разработан комплексный алгоритм выявления изменений структуры временного ряда. *Результаты.* Показано, что в процедуру анализа входит проверка расположения большинства точек по одну сторону от центральной линии, что означает возникновение аддитивной составляющей тренда. Количество наблюдений, используемых в процессе анализа, составляет от 7 до 100 точек, расположенных на контрольной карте подряд. Авторы предложили ввести дополнения в процедуру анализа короткого временного ряда, формируемого при анализе карты контроля качества. *Выводы.* Показана возможность получения информативных качественных выводов на основе количественного прогноза, полной автоматизации процесса, исключения этапа экспертной оценки, предполагаемого при традиционном использовании оперативного реагирования на события, послужившие причиной изменения структуры временного ряда. Перечисленные процедуры, применённые к контрольным картам, могут быть полезными для принятия стратегических решений в области системы контроля качества изделий, выпускаемых поточным способом.

Ключевые слова: контрольная карта Шухарта, карта контроля качества, структура временного ряда, изменение модели тренда.

Abstract. *Background.* One of the methods for implementing a product quality system in mass production is the analysis of control charts. In addition to checking whether a controlled indicator is within tolerable limits and searching for periodic fluctuations in the indicator, the analysis procedure includes the identification and analysis of the trend. The work objective includes further development of the product quality system in mass production. *Materials and methods.* Supplementary procedures for analyzing a short time series formed when analyzing a quality control map have been applied. Comprehensive algorithm to expose reconfiguration in time series has been developed. *Results.* It has been illustrated that the analysis procedure includes checking the location of most points on one side of the center line, which means the appearance of the additive component of the trend. The number of observations used in the analysis process is from 7 to 100 points located on the control chart in a row. The authors proposed to introduce additions to the procedure for analyzing a short time series formed when analyzing a quality control map. *Conclusions.* The following availabilities have been presented: informative qualitative conclusions based on quantitative forecast, overall process automation, elimination of expert analysis expected under prompt response to the incidents that caused reconfiguration in time series. The abovementioned procedures applied to the quality control map can be particularly useful when making policy decisions relative to quality system of the items in mass production.

Keywords: Shewhart charts, control charts, time series structure, trend model change.

Введение

Организация системы менеджмента качества для поточного производства изделий требует применения инструментов контроля качества, адекватных целям по качеству, технологическим параметрам и спецификациям готового изделия [1]. Одним из семи основных инструментов являются контрольные карты Шухарта [2], представляющие временные ряды статистических характеристик или первичных данных измерений параметров изделия. Если анализ контрольной диаграммы пока-

зывает, что процесс в настоящее время находится под контролем (является стабильным, с вариациями, исходящими только из внешних для процесса источников), то никаких изменений или изменений в параметрах управления процессом не требуется. Используя набор методов анализа, можно обнаружить, что отслеживаемый процесс не находится под контролем и анализ диаграммы может помочь определить источники изменений. Например, технологические нарушения в литейном производстве проявляются в следующих формах [3]: неполная отливка, заливы, наросты, пригар, раковины, рыхлоты, пористость, трещины, коробление, механические повреждения, окисление и пережог, несоответствие размеров и конфигураций отливок заданным (в корпусных изделиях – перекося, разностенность), несоответствие заданным характеристикам химического состава металла. Не все перечисленные дефекты поддаются быстрому выявлению, измерению и экспертной оценке по наружным признакам. Особый вопрос – это дрейф параметров изделий литейного производства по причине своевременного не обнаруженных изменений технологии.

Медленная «деградация» качества возникает вследствие изменения температуры расплава, масла и стенки формы; геометрии сопла; разводящих и впускных каналов под действием подаваемого материала; вязкости масла в результате старения и загрязнения; условий вентиляции формы; давления в нагревательном цилиндре у машин с предпластикацией (в производстве пластмассовых корпусов). Помимо тренда, в параметрах литого изделия проявляется стохастическая составляющая. Быстрые колебания контролируемых параметров могут являться последствием вариации момента переключения и быстроты срабатывания обратного клапана, статистического рассеяния длительности пластикации, скорости впрыска, давления в нагревательном цилиндре у машин с предпластикацией. К перечисленному можно добавить материальный износ подвижных частей механизмов, возникновение сколов, деформации пружин. Такое событие может внести изменения в параметры тренда контролируемой количественной характеристики изделия. Таким образом, формируемый временной ряд может характеризоваться переменной структурой, изменения которой могут протекать достаточно быстро, в течение анализируемого отрезка временного ряда.

Постановка задачи и ее практическая значимость

Процедура построения и анализа контрольной карты связана с формированием дискретизированного временного ряда и проверкой свойств текущего (скользящего) короткого участка этого ряда. Рассмотрим контроль качества продукции на примере среднего значения и размаха веса литейных изделий.

На рис. 1 приведены примеры стабильного и нестабильного состояний производственного процесса.

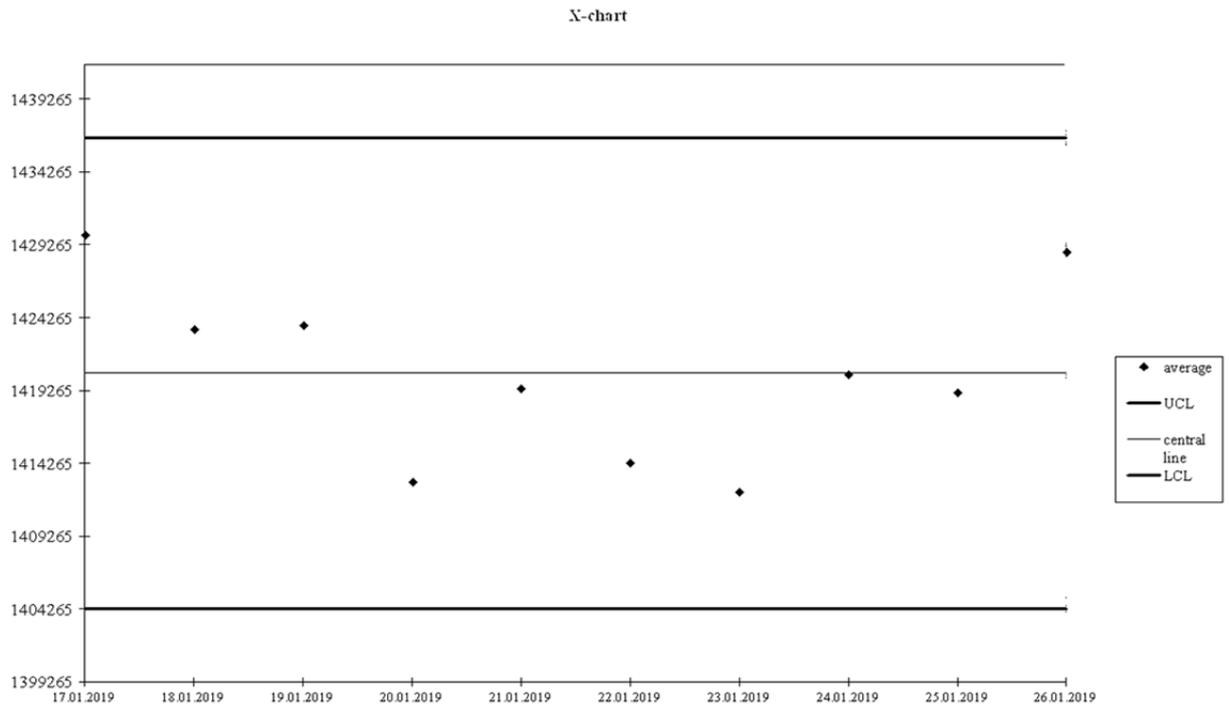
Если на контрольной карте нанесены экспериментальные точки, и все из 25 точек подряд или 34 и более точек из 35 точек подряд, или 98 и более точек из 100 точек подряд лежат внутри границ контрольных линий, то можно считать, что производственный процесс находится в стабильном состоянии.

Если:

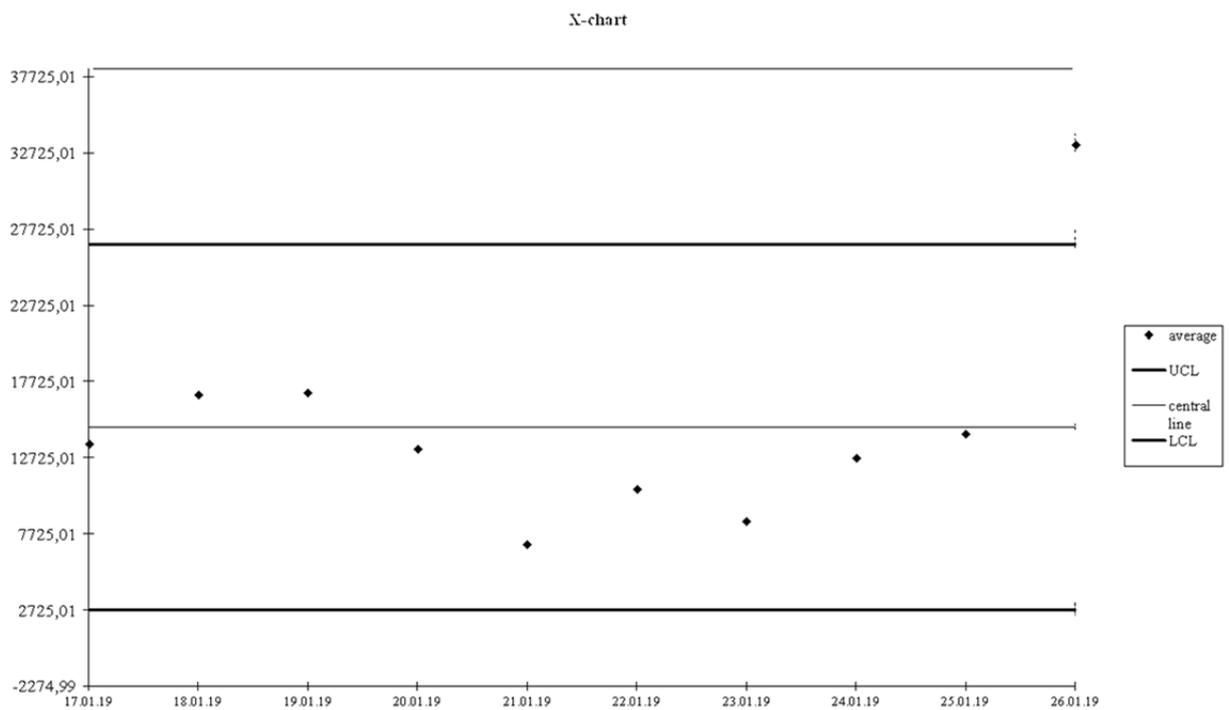
- семь точек подряд, или 10 точек из 11 точек подряд, или 12 точек из 14 точек подряд, или 14 точек из 17 точек подряд, или 16 точек из 20 точек подряд располагаются по одну сторону от центральной линии;
- наблюдается тенденция к смещению точек вверх или вниз;
- точки регулярно колеблются вверх – вниз, то, отыскав причины этого, можно получить важнейшую информацию.

С помощью контрольных карт можно получить ответ на вопрос, находится ли производственный процесс в контролируемом состоянии.

Контрольные карты можно разделить на контрольные карты для количественных характеристик и для качественных признаков. Для предметной области литейного производства более пригодна количественная контрольная карта $\bar{x} - R$, на основе которой осуществляется проверка размера, веса и т.д. Такая карта состоит из контрольной карты \bar{x} , управляющей изменением среднего, и контрольной карты R , управляющей изменением размаха [4]. Для построения контрольной карты $\bar{x} - R$ прежде всего берут данные, собранные за определенный промежуток времени. Эти данные обрабатывают следующим образом. Результаты измерений отдельных изделий объединяют в k групп (k обычно 20 + 25) объемом 4–5 результатов и измеряют их характеристики. Среднее первой группы обозначают \bar{x}_1 , среднее второй группы \bar{x}_2 , среднее группы k \bar{x}_k .



a)



b)

Рис. 1. Состояние производственного процесса: a – стабильное (управляемое, контролируемое); b – нестабильное (неуправляемое, неконтролируемое)

Затем рассчитывают среднее $\bar{\bar{x}}$ этих средних $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$. Оно становится центральной линией контрольной карты \bar{x} . Затем для каждой группы определяют размахи R_1, R_2, \dots, R_k на основе данных по каждой группе. Среднее \bar{R} этих R_1, R_2, \dots, R_k выбирается за центральную линию контрольной карты R .

Контрольные пределы параметров изделия описаны согласно табл. 1.

Таблица 1

Контрольные карты и контрольные пределы

Название контрольной карты	Что контролируется	Верхний контрольный предел (UCL)	Нижний контрольный предел (LCL)
Контрольная карта \bar{x}	Среднее	$\bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$
Контрольная карта R	Размах	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$

Здесь A_2, D_3, D_4 – константы, зависящие от объема выборки n (они называются граничными коэффициентами); \bar{p} – процент брака из предыдущих данных; \bar{u}, \bar{c} – также значения из предыдущих данных.

Используя формулы табл. 1, строят контрольные линии. Граничные коэффициенты A_2, D_3, D_4 , используемые в формулах табл. 1, представлены в табл. 2. При $n \leq 6$ нижний контрольный предел контрольной карты R не рассчитывается.

Таблица 2

Граничные коэффициенты

Объем n выборки одной группы	Коэффициент		
	A_2	D_3	D_4
2	1,880	–	3,267
3	1,023	–	2,575
4	0,729	–	2,282
5	0,577	–	2,115
6	0,483	–	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Построение допустимых уровней проводится методом «трех сигм». Если случайная величина X имеет нормальное распределение $N(\mu, \sigma^2)$, то

$$P(\mu - 1,96\sigma < X < \mu + 1,96\sigma) = 0,95.$$

Если в правой части уравнения взять 0,99, то получится

$$P(\mu - 2,58\sigma < X < \mu + 2,58\sigma) = 0,99.$$

Округляя коэффициенты перед σ в скобках вместо 1,96–2, а вместо 2,58–3, далее рассуждают так. Отклонения величиной в два стандартных отклонения редки (вероятность менее 0,05), а отклонения величиной в три стандартных отклонения почти не возникают (вероятность менее 0,01).

Вторую половину этого рассуждения можно выразить иначе, а именно: вероятность попадания фактических результатов X в пределы «среднее плюс-минус 3 сигма» превышает 99 %, т.е. вероятность выхода за 3σ меньше 1 %.

Рассмотрим с этой точки зрения контрольную карту $\bar{x} - R$. При выборке объемом n : X_1, X_2, \dots, X_n из нормальной совокупности $N(\mu, \sigma^2)$ распределение выборочного среднего \bar{X} будет тоже нормальным распределением $N(\mu, \sigma^2/n)$. Если даже неизвестно, что генеральное распределение нормально, все равно при большом объеме выборки n можно считать, что распределение

выборочного среднего \bar{X} близко к нормальному распределению. Если распределение совокупности не нормально, но сравнительно близко к нему, то даже при небольшом n (т.е. $n = 4$ или $n = 5$) можно считать, что распределение \bar{X} весьма близко к нормальному распределению $N(\mu, \sigma^2/n)$. Поскольку стандартное отклонение (сигма) распределения \bar{X} равно σ/\sqrt{n} , в данном случае «среднее плюс-минус 3 сигма» имеет вид

$$\mu \mp 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

При этом, если известны μ , σ , можно следующим образом определить UCL (верхний контрольный предел) и LCL (нижний контрольный предел):

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Таким образом строятся контрольные пределы на основе метода «3 сигма». При этом необходимо знать генеральное среднее μ и генеральное стандартное отклонение σ . Их оценки рассчитывают по выборочным средним $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$ k групп с объемом выборок n :

- оценка математического ожидания $\mu = \bar{\bar{x}}$;
- оценка стандартной ошибки $\sigma = \bar{R}/d_3$,

где d_3 – коэффициент, зависящий только от n .

Используя эти оценки, получаем контрольные пределы

$$\bar{x} = \bar{\bar{x}} \mp \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_3}.$$

Обозначив

$$\frac{3}{\sqrt{nd_3}} = A_2,$$

получаем контрольные пределы

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}, \quad LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}.$$

Контрольные пределы для R определяются таким же образом на основе метода «3 сигма». При этом, если нижний контрольный предел окажется отрицательным числом, он в расчет не принимается.

Кроме того, прогнозировать возможность выхода за контрольные пределы можно с помощью построения тренда наблюдений, который также упоминается среди перечня составляющих инструментов качества. Но дополнение стандартных процедур проверкой на изменение структуры временного ряда, проведенной по тем же данным, позволит выявить дополнительную информацию о качестве изделий. Появление дополнительного отрицательного аддитивного смещения тренда на карте контроля веса может указывать на систематическое появление пузырей, полостей и раковин в затвердевшей массе. С другой стороны, появление дополнительного положительного аддитивного смещения тренда может указывать не только на устранимые причины отклонений в виде литников и облоя, но и скрытые причины в виде утолщения внутренних перегородок и других неочевидных деформаций корпуса.

Базовая методология

Предложена процедура [5] выявления разрыва тренда короткого временного ряда, позволяющая автоматически определить момент появления нового аддитивного смещения.

Если временной ряд характеризуется преобладанием закономерности над случайной составляющей, то тогда его модель может быть представлена в виде уравнения

$$x_t = a + bZ_t + ct + d(Z_t)t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где x_t – уровень временного ряда, Z_t – фиктивная переменная, которой задают значение 1 до излома тренда и 0 после излома тренда; a, b, c, d – параметры модели; ε_t – остаточный компонент. Если параметр b значим, то произошло существенное изменение постоянной составляющей тренда. Рассмотрим метод определения аддитивного смещения.

Инициализация расчетов происходит по мере формирования каждого очередного цифрового значения уровня временного ряда. Осуществляется регистрация 14 последних значений уровней цифрового ряда. Вычисляется логическое выражение

$$K_A = A \wedge B \wedge C,$$

где A – «истина», если наблюдения 1–7 не аномальны на своем участке ряда, «ложь» – иначе; B – «истина», если наблюдение 8 аномально по отношению к наблюдениям 1–7, «ложь» – иначе; C – «истина», если наблюдения 8–14 не аномальны на своем участке ряда, «ложь» – иначе.

Значение величины K_A «истина» означает выявленное аддитивное смещение линейного тренда.

Понятие «аномальности» определено на основе модифицированного критерия Ирвина [6], когда для каждого уровня временного ряда y_t рассчитывают критерий

$$\lambda_t = \frac{|x_t - x_{t-1}|}{\sigma_x}; t = 2, 3, \dots, n,$$

где среднеквадратическое отклонение уровней ряда и среднее значение рассчитывают, соответственно, как

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}{n-1}}; \bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^n x_t}{n}.$$

Принципиальным отличием разработанного способа является эффективное применение метода обнаружения аномалий для другой области применения – для поиска разрыва тренда. Для реализации этого были введены новые операции преобразования данных. В их числе:

- модификация метода в форме разбиения проверки на аномальность на три независимых операции;
- применение операции проверки на аномальность центрального наблюдения по отношению участку ряда из наблюдений 1–7, не включающему проверяемое наблюдение, в отличие от известного алгоритма.

Обсуждение

Предложенное дополнение процедуры построения и использования тренда временного ряда контролируемых показателей может привести к выводам, представляющим интерес в смысле изменений в технологии, а также послужить причиной последующего детального анализа. С появлением информации об изменении структуры временного ряда и переходом к кусочной модели изменяются качественные выводы о приближении (или отсутствии такового) параметров изделия к контролируемым пределам. На рис. 2 приведены несколько примеров, иллюстрирующих возникающее преимущество. В то же время отказ от анализа «левого» участка наблюдений и сохранение «правого» (состоящего из последних наблюдений) позволят построить столь же точный прогноз, что и кусочная модель, однако в таком случае информация об изменении структуры временного ряда, которая может быть критически важной для контроля состояния технологического процесса, может оказаться недоступной.

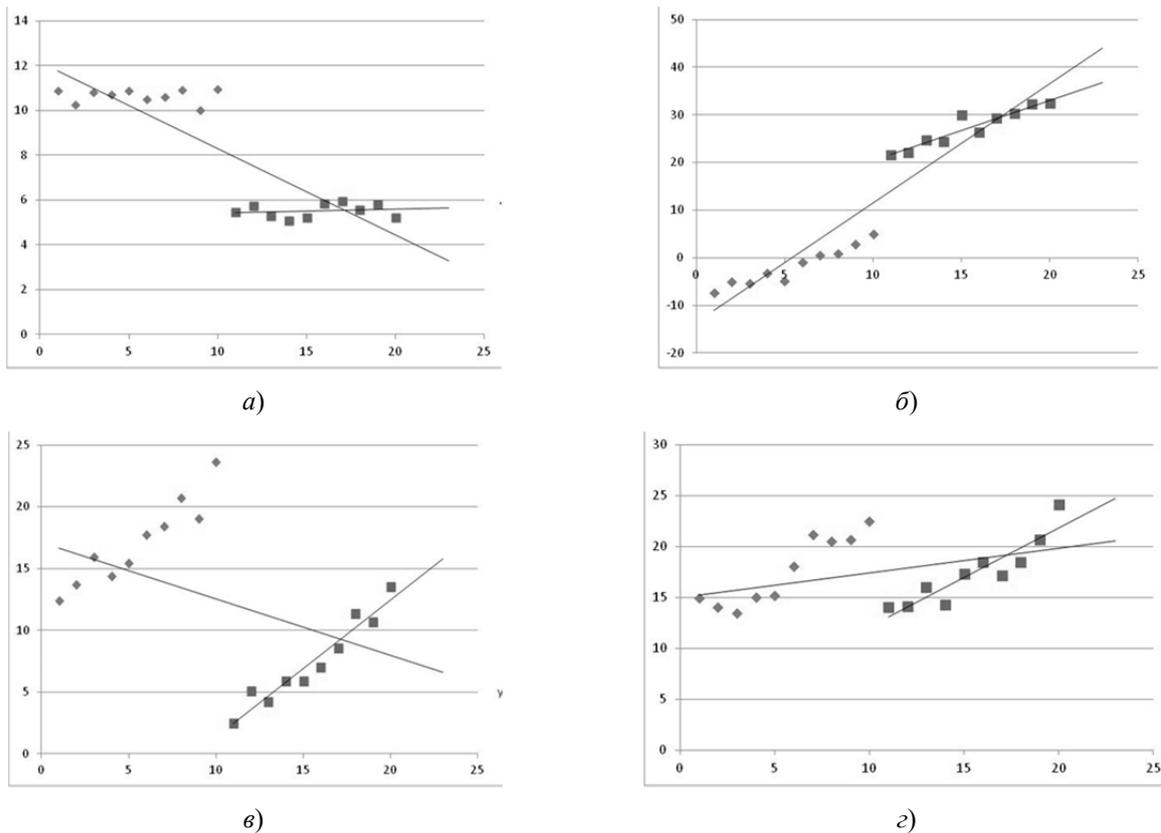


Рис. 2. Сравнение качественных выводов в результате прогнозирования по обобщенной и кусочной модели тренда: *а* – ошибочный прогноз общей модели о пересечении нижнего предела; *б* – ошибочный прогноз общей модели о пересечении верхнего предела; *в* – прогноз общей модели о снижении Y и прогноз кусочной модели об увеличении Y ; *г* – прогноз обобщенной модели не предсказывает приближение к верхнему пределу

Выводы и рекомендации

Дополнение процедуры построения общей модели тренда как рекомендуемого инструмента анализа контрольной карты [4] обладает рядом новых возможностей. С учетом малого размера анализируемого участка временного ряда представляется целесообразным одновременное осуществление следующих видов анализа:

- проверка наличия аномалий по критерию Ирвина [6];
- проверка наличия тренда по методу Фостера – Стьюарта [7], методу средних [6, 8];
- на основе критерия Чоу [9], выявляющего изменение наклона тренда с помощью критерия Фишера;

– на основе критерия Гуйарати [10], проверяющего существенность изменения параметров модели (1) (если параметр b значим, то произошло существенное изменение постоянной составляющей тренда, если параметр d значим, то произошло существенное изменение наклона тренда).

Достижимым эффектом является возможность получения информативных качественных выводов на основе количественного прогноза [11], полной автоматизации процесса, исключения этапа экспертной оценки, предполагаемого при традиционном использовании перечисленных методов оперативного реагирования на события, послужившие причиной изменения структуры временного ряда. Перечисленные процедуры, примененные к контрольным картам, сохраненным в объемах больших данных [12], могут быть полезными для принятия стратегических решений в области системы контроля качества изделий, выпускаемых поточным способом.

Библиографический список

1. Nancy, R. Tague. Seven Basic Quality Tools. The Quality Toolbox / R. Nancy. – Milwaukee, Wisconsin : American Society for Quality, 2004. – P. 15. – URL: <https://asq.org/quality-resources/seven-basic-quality-tools> (дата обращения 12.02.2019).

2. Control chart. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart (дата обращения 12.02.2019).
3. Управление процессом литья под давлением. – URL: <http://iceberg.name/332-upravlenie-processom-litya-pod-davleniem.html> (дата обращения 12.02.2019).
4. Макино, Т. Контроль качества с помощью персональных компьютеров / Т. Макино, М. Охаси, Х. Докэ, К. Макино. – Москва : Машиностроение, 1991. – 224 с.
5. Прокофьев, О. В. Метод обнаружения сдвига тренда и оценка его функциональной устойчивости // Теоретико-методологические подходы к формированию системы устойчивого развития предприятий, комплексов, регионов / О. В. Прокофьев. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2016. – С. 141–151.
6. Экономико-математические методы и прикладные модели : учебник / В. В. Федосеев, А. Н. Гармаш, И. В. Орлова ; под ред. В. В. Федосеева. – Москва : Юрайт, 2013. – 336 с.
7. Михеев, М. Ю. Методы прогнозирования предаварийной ситуации сложного технического объекта / М. Ю. Михеев, А. Е. Савочкин, О. В. Прокофьев // Управление реформированием социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов (VII МНПК) : сб. науч. тр. – Пенза, 2016. – С. 341–343.
8. Михеев, М. Ю. Модели прогнозирования технического состояния сложных объектов по коротким временным рядам / М. Ю. Михеев, О. В. Прокофьев, А. Е. Савочкин // Телекоммуникации. – 2016. – № 10. – С. 10–115.
9. Прокофьев, О. В. Алгоритмическая модификация теста Чоу для автоматизированной проверки гипотезы о структурной стабильности тренда / О. В. Прокофьев, А. Е. Савочкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 3 (19). – С. 183–188.
10. Gujarati, D. Econometrics by Example / D. Gujarati. – New York : Palgrave Macmillan, 2011. – 371 p.
11. Тюрин, М. В. Разработка моделей прогнозирования состояния элементов технически сложного объекта / М. В. Тюрин, С. А. Фомин, О. В. Прокофьев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (13). – С. 73–78.
12. Прокофьев, О. В. Большие данные для нового качественного уровня электроэнергетики / А. В. Николаев, О. В. Прокофьев, М. В. Тюрин, А. Н. Токарев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2018. – Т. 2. – С. 102–104.

References

1. Nancy R. Tague. *Seven Basic Quality Tools. The Quality Toolbox*. Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, 2004, p. 15. Available at: <https://asq.org/quality-resources/seven-basic-quality-tools> (accessed Febr. 12, 2019).
2. Control chart. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart (accessed Febr. 12, 2019).
3. *Upravlenie protsessom lit'ya pod davleniem* [Injection molding process control]. Available at: <http://iceberg.name/332-upravlenie-processom-litya-pod-davleniem.html> (accessed Febr. 12, 2019). [In Russian]
4. Makino T., Okhasi M., Doke Kh., Makino K. *Kontrol' kachestva s pomoshch'yu personal'nykh komp'yuterov* [Quality control via personal computers]. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 224 p. [In Russian]
5. Prokofev O. V. *Teoretiko-metodologicheskie podkhody k formirovaniyu sistemy ustoychivogo razvitiya predpriyatiy, kompleksov, regionov* [Theoretical and methodological approaches to the formation of sustainable development of enterprises, complexes, regions]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2016, pp. 141–151. [In Russian]
6. Fedoseev V. V., Garmash A. N., Orlova I. V. *Ekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli: uchebnik* [Economic and mathematical methods and applied models : textbook]. Moscow: Yurayt, 2013, 336 p. [In Russian]
7. Mikheev M. Yu., Savochkin A. E., Prokofev O. V. *Upravlenie reformirovaniem sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya predpriyatiy, otrasley, regionov (VII MNPK): sb. nauch. tr.* [Management of reform of socio-economic development of enterprises, industries, regions (VII mnpc) : collection of scientific papers]. Penza, 2016, pp. 341–343. [In Russian]
8. Mikheev M. Yu., Prokofev O. V., Savochkin A. E. *Telekommunikatsii* [Telecommunications]. 2016, no. 10, pp. 10–115. [In Russian]
9. Prokofev O. V., Savochkin A. E. *XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [XXI century: results of the past and problems of the present plus]. 2014, no. 3 (19), pp. 183–188. [In Russian]
10. Gujarati D. *Econometrics by Example*. New York: Palgrave Macmillan, 2011, 371 p.
11. Tyurin M. V., Fomin S. A., Prokofev O. V. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2016, no. 1 (13), pp. 73–78. [In Russian]
12. Prokofev O. V., Nikolaev A. V., Tyurin M. V., Tokarev A. N. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and quality]. 2018, vol. 2, pp. 102–104. [In Russian]

Михеев Михаил Юрьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационных
технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: rector@penzgtu.ru

Прокофьев Олег Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных
технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза,
проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: prokof_ow@mail.ru

Тюрин Михаил Владимирович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: info@niifi.ru

Ярославцева Дарья Александровна

аспирант,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
инженер-конструктор,
Научно-исследовательский институт
физических измерений
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)
E-mail: levik_92@mail.ru

Mikheyev Mykhail Yurievich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department
of informational technologies and systems,
Penza State Technological University
(440039, 1a/11 Baydukov passage / Gagarin street,
Penza, Russia)

Prokofev Oleg Vladimirovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of informational
technologies and systems,
Penza State Technological University
(440039, 1a/11 Baydukov passage / Gagarin street,
Penza, Russia)

Tyurin Mihail Vladimirovich

candidate of technical sciences, senior researcher,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(440026, 8/10, Volodarskogo street, Penza, Russia)

Yaroslavtseva Daria Aleksandrovna

postgraduate student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia);
design engineer,
Scientific Research Institute
of Physical Measurements
(440026, 8/10, Volodarskogo street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Михеев, М. Ю. Анализ короткого временного ряда в карте контроля качества / М. Ю. Михеев, О. В. Прокофьев, М. В. Тюрин, Д. А. Ярославцева // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2 (26). – С. 70–78. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-8.