УДК 005.6:658.5

ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ОТБОРА ВЫБОРОК ДЛЯ КАРТ ШУХАРТА

С.В. Юдин

Одна из основных проблем контроля и управления качеством продукции статистическими методами заключается в том, что нет теоретического обоснования интервалов времени между отбором выборок (изделий) для проведения контрольных операций. Это справедливо, в частности, для таких методов, как анализ технологического процесса при помощи карт Шухарта, так и при проведении процедуры статистического приемочного контроля. Предложен возможный теоретический подход, основанный на теореме Котельникова, используемой в теории связи.

Ключевые слова: теорема Котельникова, карты Шухарта, контроль качества, менеджмент качества.

Проблема контроля качества изделий известна уже несколько тысячелетий. Купец, приобретающий товар для продажи в других городах, а то и государствах, должен быть уверен в его качестве, если только он не хотел потерять для себя рынок этого города. Учитывая высокий приоритет личных контактов в то время, забота о деловой репутации становилась жизненно важной задачей, причем не только в переносном, но прямом смысле. Разумеется, научных обоснований методов контроля качества в то время не существовало, тем не менее, они выполняли необходимые функции оценки «потребительских характеристик». Так же как и в настоящее время, товары делились на группы по качеству и потребительским характеристикам, в зависимости от чего определялась цена. Разумеется, цена зависела не только от качества, но и от назначения товара, его редкости и т.д.

С развитием потребительского рынка, особенно в последнее время, когда рынок производителя трансформировался в рынок потребителя, проблема повышения качества с одновременным снижением затрат и, соответственно, стоимости продукции, вышла на первый план. Если до второй мировой войны стоимость имела более высокий приоритет по сравнению с качеством, то к семидесятым годам прошлого века качество вышло на первый план.

В условиях жесточайшей конкуренции за потребителя уже не цена, а качество, точнее соотношение «цена/качество» стало иметь важнейшее значение.

Управление качеством стало за последние годы динамично развивающимся разделом математической статистики и теории управления.

Современные системы управления качеством во многом базируются на статистических методах, которые являются краеугольным камнем в решении задач обеспечения качества продукции. Им посвящено огромное количество публикаций, том числе книги У. Шухарта [1], Д. Коудена [2], Х. Куме [3], Я.Б. Шора [4], Р. Шторма [5], Х.-Й. Миттага и Х. Ринне [6], Д. Уилера и Д. Чамберса [7], О. Леонова и др. [8]. Большое внимание уделяли статистическим методам Э. Деминг [9] и Дж. Седдон [10].

Именно благодаря широкому внедрению статистических методов на основе 14 принципов Э. Деминга [9] мы наблюдали так называемое «японское экономическое чудо».

Автор неоднократно обращался к вопросам управления качеством. В работе [11] были рассмотрены новые подходы на основе методов теории информации, в сборнике научных трудов [12] собраны методики работы со статистическими данными при решении задач контроля и управления и представлены шаблоны в среде MS Excel для автоматизации расчетов. В работе [13] представлен метод расчета трудоемкости изделий на

этапе проектирования на базе критерия Г. Тагути «сигнал/шум». В статье [14] рассмотрены проблемы применения статистических методов в условиях штучного и мелкосерийного производства.

Одним из важнейших инструментов статистических методов управления качеством являются контрольные карты Шухарта [1…8, 15, 16]. Некоторые аспекты применения контрольных карт Шухарта были рассмотрены авторов и коллегами в статьях [17, 18].

Несмотря на то, что во многих случаях анализ технологических процессов при помощи карт Шухарта дает быстрый и эффективный результат без существенных затрат времени, денег и других ресурсов, в Российской Федерации как статистические методы в целом, так и карты Шухарта в частности, применяются далеко не везде. Это объясняется и низкой квалификацией сотрудников системы менеджмента качества предприятий [19], и непониманием важности и эффективности их со стороны руководства.

В работе авторов Максимова О. В., Шпер В. Л., Адлер Ю. П. [20, 21] был проведен обзор современного состояния теоретических аспектов и практических применений контрольных карт Шухарта. Показано, что они могут применяться, и применяются в самых различных отраслях, включая машиностроение, радиоэлектронную промышленность, производство кремниевых пластин, экономику и другие.

Несмотря на большое количество работ по картам Шухарта невыясненным остается вопрос о периодичности отбора заготовок для измерений и контроля. Наиболее распространенным подходом является требование регулярности, но период нигде явно не оценивается. Эта работа возлагается на творческий коллектив, создаваемый для проведения конкретных исследований.

С точки зрения автора эта задача может быть решена на основе теоремы Котельникова о восстановлении сигнала на основе дискретных данных.

Сам В.А. Котельников так сформулировал свою знаменитую теорему [22]:

Теорема V. Любую функцию $F(t)$, состоящую из частот от f_1 до f_2, можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, передаваемых друг за другом через $1/[2(f_2-f_1)]$ секунд.

В настоящее время теорему Котельникова формулируют следующим образом:

Теорема Котельникова. Если спектральная плотность сигнала $s(t)$ ограничена полосой B рад/с, т.е. $S(\omega) = 0$ при $|\omega| \geq B/2$, тогда он может быть представлен своими равноотстоящими дискретными отсчетами $s(nT)$, взятыми с периодом $T = 2\pi / B$ с, как

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT)\,\mathrm{sinc}\left(\frac{\pi(t-nT)}{T}\right). \quad (1)$$

Здесь

$$\mathrm{sinc}(x) = \begin{cases} \dfrac{\sin(x)}{x}; & x \neq 0 \\ 1 \quad ; & x = 0 \end{cases}. \quad (2)$$

Теорема Котельникова позволяет объективно, независимо от предпочитаемых разными авторами эмпирических подходов, определить интервалы времени между отборами выборок для целей, как статистического приемочного контроля, так и анализа техпроцесса при помощи контрольных карт Шухарта.

Рассмотрим методику определения временных интервалов между отборами заготовок для целей контроля и управления процессом. Теоретические основы анализа временных рядов подробно рассмотрены в монографии Т. Андерсона [23], а методы практического применения для решения ряда задач рассмотрены в учебной литературе [24, 25].

Все расчеты проводятся в табличном процессоре MS Excel.

Для определения интервала времени между последовательными выборками с целью контроля и/или управления технологическим процессом необходимо иметь информацию о его поведении, для чего следует провести ряд наблюдений с дискретными равноотстоящими друг от друга моментами наблюдений.

Для анализа были отобраны данные, полученные в результате наблюдений с интервалом в Δt = 0,1 часа = 6 мин. Для анализа Фурье отобраны n = 32 точки, что приводит к периоду T = 192 мин. С целью исключения высокочастотных шумов была проведена операция сглаживания путем вычисления скользящего среднего при помощи функции «Скользящее среднее» мастера «Анализ данных». Результаты представлены на рис. 1.

Следующий шаг: спектральный анализ экспериментальных данных. Он проводится при помощи функции «Анализ Фурье» мастера анализа данных. Результаты расчетов приведены на рис. 2.



Рис. 1. Исходные данные и скользящее среднее

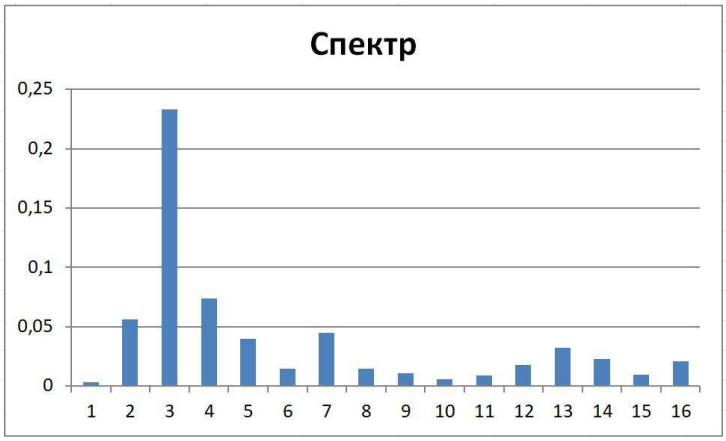


Рис. 2. Результаты амплитудно-частотного анализа (по оси абсцисс указан номер гармоники, а по оси ординат – ее амплитуда)

Первая гармоника имеет частоту $\nu_1 = 1/(n\Delta t)$. По рис. 2 можно сделать вывод о том, что третья гармоника доминирует над всеми остальными и именно она определяет периодичность всего процесса. Ее частота равна $\nu_3 = 3\nu_1$. Соответственно, интервал времени между рекомендуемыми отсчетами равен $\Delta t_0 = 1/(2\nu_3) = n\Delta t/6$ = 32 мин.

В том случае, когда имеется несколько сравнимых по величине гармоник, то сначала определяется разница из частот $\Delta\nu = \nu_k - \nu_m$, где k и m – максимальный и минимальный номера гармоник. Интервал времени в этом случае определяется как $\Delta t_0 = 1/(2\Delta\nu)$.

Таким образом, представленная методика дает возможность оценить период контроля, обеспечить снижение трудоемкости и поддержку адекватности решений о состоянии процесса.

Список литературы

1. Walter A. Shewhart. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control // The Graduate School. The Department of Agriculture. Washigton. 1939.

2. Коуден Д. Статистические методы контроля качества / под ред. Б.Р. Левина. М.: Физматлит, 1961. 624 с.

3. Статистические методы повышения качества / под ред. Х. Куме; перевод с англ. Адлера Ю.П., Конаревой Л.А. М.: Финансы и статистика, 1990. 304 с.

4. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М.: Сов. Радио, 1962. 552 с.

5. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М.: Мир, 1970. 368 с.

6. Миттаг Х.-Й., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества. М.: Машиностроение, 1995. 616 с.

7. Уилер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами: Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт. М.: Альпина Паблишер, 2016. 409 с.

8. Леонов О., Шкаруба Н., Темасова Г. Статистические методы в управлении качеством: учебник. СПб.: Лань, 2019. 144 с.

9. Деминг Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 370 с.

10. Седдон Дж. Свобода от приказов и контроля. Путь к эффективному сервису. М.: РИА «Стандарты и качество», 2009. 232 с.

11. Григорович В.Г., Юдин С.В., Козлова Н.О., Шильдин В.В. Информационные методы в управлении качеством. М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. 208 с.

12. Юдин С.В., Остапенко С.Н., Протасьев В.Б., Юдин А.С., Ралихов Г.В. Современные статистические методы управления качеством: сборник научных трудов / под ред. С.В. Юдина. [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42768137 (дата обращения: 24.08.2020).

13. Протасьев В.Б., Юдин С.В. Оценка трудоемкости изготовления инструментов в условиях мелкосерийного и штучного производства // Черные металлы. № 3. 2020. С. 58-62.

14. Юдин С.В. Проблемы управления качеством и надежностью мелкосерийных изделий вооружений и военной техники // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С. 88-92.

15. ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М.: Госстандарт России, 1999. 47 с.

16. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. – М.: Стандартинформ, 2019. 57 с.

17. Протасьев В.Б., Юдин С.В. Использование контрольных карт Шухарта с переменными контрольными границами // Качество и жизнь. Специальный выпуск: Научные труды Академии проблем качества. № 4 (20). 2018. С. 72-76.

18. Юдин С.В., Юдин А.С., Протасьев В.Б., Подкопаев Р.Ю. Карты Шухарта с варьируемыми границами // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12 (часть 1). С. 174-178.

19. Юдин С.В. Опыт подготовки специалистов по управлению качеством на курсах профессиональной переподготовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 12. С. 83-87

20. Максимова О.В., Шпер В.Л., Адлер Ю.П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом. Часть 1. Стандарты и качество. 2011. № 7. С. 82-87.

21. Максимова О.В., Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом. Часть 2. Стандарты и качество. 2011. № 8. С. 82-87.

22. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Собрание трудов. Т. 1. Радиофизика, информатика, телекоммуникации. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 90-109.

23. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 755 с.

24. Лужков А.А. Физический практикум в формате электронных таблиц: Учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений. СПб.: Изд-во «Фора-Принт», 2018. 36 с.

25. Айвазян С. А. Методы эконометрики: учебник. М.: Магистр: ИНФРА-М, 2020. 512 с.

Юдин Сергей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, svjudin@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова

KOTELNIKOV THEOREM AND SAMPLING PERIODICITY FOR SCHUHART MAPS

S.V. Iudin

One of the main problems of control and management of product quality by statistical methods is that there is no theoretical justification for the time intervals between the selection of samples (products) for conducting control operations. This is true, in particular, for methods such as process analysis using Schuhart maps, and for statistical acceptance control procedures. A possible theoretical approach is proposed, based on the Kotelnikov theorem used in communication theory.

Key words: Kotelnikov's theorem, Schuhart's maps, quality control, quality management

Iudin Sergey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, svjudin@rambler.ru, Russia, Tula, Plekhanov Russian University of Economics, Tula branch