

УДК 005.6:658.5:519.226.3

**КАРТЫ ШУХАРТА С ВАРЬИРУЕМЫМИ ГРАНИЦАМИ****<sup>1</sup>Юдин С.В., <sup>2</sup>Протасьев В.Б., <sup>3</sup>Подкопаев Р.Ю., <sup>4</sup>Юдин А.С.**<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,  
Тульский филиал, Тула, e-mail: svjudin@rambler.ru;<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, e-mail: avprotasev@mail.ru;<sup>3</sup>Сертифицированный аудитор систем менеджмента, Тула, e-mail: rquant@mail.ru;<sup>4</sup>ООО «Научно-исследовательский центр оборонно-промышленного комплекса»,  
Москва, e-mail: alextula78@rambler.ru

Контрольные карты Шухарта являются одним из так называемых «Семи инструментов качества», предназначенных для анализа и управления технологических процессов статистических методов. Основные положения математической статистики содержат требования к стабильности процесса во времени, что предполагает неизменными характеристики, анализируемые в ходе изучения оборудования, изготавливаемых изделий и т.д. Частая смена номенклатуры изделий приводит к нарушению этого основополагающего допущения, что затрудняет использование любых статистических методов, в том числе карт Шухарта. Карты Шухарта – важнейший метод управления качеством, без которого в машиностроении невозможно добиться высокого качества изделий, но до настоящего времени не существовало методики их применения в случае частой смены номенклатуры изделий. Смена заготовки на станке предполагает одновременно смену применяемой для анализа карты Шухарта, что прерывает цикл наблюдений. Это приводит к тому, что падает эффективность использования карт Шухарта, возрастает вероятность пропустить тенденции изменения характеристик процесса. В статье предложен новый подход, основанный на регулировании не по абсолютным, а по относительным границам. Это позволяет сохранить наследственность результатов. Предложена методика расчета карт Шухарта с варьируемыми границами, основанная на применении табличного процессора MS Excel. Представленное описание позволяет использовать методику лицам, имеющим начальные знания MS Office.

**Ключевые слова:** карта Шухарта, контроль, качество, статистические методы, менеджмент качества, управление процессами

**SHEWHART CARDS WITH VARIABLE BOUNDARIES****<sup>1</sup>Ydin S.V., <sup>2</sup>Protasev V.B., <sup>3</sup>Podkopaev R.Yu., <sup>4</sup>Yudin A.S.**<sup>1</sup>Plekhanov Russian University of Economics, Tula branch, Tula, e-mail: svjudin@rambler.ru;<sup>2</sup>Tula State University, Tula, e-mail: avprotasev@mail.ru;<sup>3</sup>Certified auditor of management systems, Tula, e-mail: rquant@mail.ru;<sup>4</sup>Scientific Research Center of the Defense Industrial Complex, Moscow, e-mail: alextula78@rambler.ru

Shewhart control charts are one of the so-called «Seven quality tools» designed for analyzing and controlling technological processes of statistical methods. The main provisions of mathematical statistics contain requirements for the stability of the process in time, which implies unchanged characteristics that are analyzed during the study of equipment, manufactured products, etc. Frequent changes in the range of products leads to a violation of this basic-assuming assumption, which makes it difficult to use any statistical methods, including Shewhart maps. Shewhart cards are the most important method of quality management, without which it is impossible to achieve high quality of products in mechanical engineering, but so far there has not been a procedure for their application in the case of frequent changes in the product range. A change of the workpiece on the machine involves simultaneously changing the Shewhart map used for the analysis, which interrupts the cycle of observations. This leads to the fact that the efficiency of using Shewhart maps decreases, the probability of missing trends in the characteristics of the process increases. The article proposes a new approach based on regulation not relative to absolute, but relative, boundaries. This allows you to save the heredity of the results. A method for calculating the Shewhart maps with varying boundaries, based on the use of the MS Excel spreadsheet processor, is proposed. The presented description allows the use of the methodology to persons with basic knowledge of MS Office.

**Keywords:** Shewhart card, control, quality, statistical methods, quality management, process management

Как отмечено в работах [1–3], статистические методы контроля и управления качеством являются краеугольным камнем в системе менеджмента качества (СМК). Однако следует заметить, что основные положения математической статистики содержат требования к стабильности процесса во времени, что предполагает неизменными характеристики, анализируемые в ходе изучения оборудования, изготавливаемых изделий и т.д. Карты Шухарта – важнейший

метод управления качеством, без которого в машиностроении невозможно добиться высокого качества изделий, но до настоящего времени не существовало методики их применения в случае частой смены номенклатуры изделий.

Смена заготовки на станке предполагает одновременно смену применяемой для анализа карты Шухарта, рассчитанной для новых числовых значений контролируемого параметра изделия, что прерывает цикл на-

блюдений. Это приводит к тому, что падает эффективность использования карт Шухарта, возрастает вероятность пропустить тенденции изменения характеристик процесса.

Во многих случаях при смене номенклатуры изделий производится смена инструмента и переналадка оборудования на новые размеры. В предположении о неизменности характеристик инструмента и режимов обработки можно заметить, что такая важная характеристика измеряемой случайной величины, как дисперсия, остается неизменной, поскольку она зависит от общих параметров оборудования, степень изменчивости которых со временем достаточно мала.

В работе [4] вышеуказанное допущение было проверено анализом критерия «сигнал – шум» Тагути. 70% полученных выборок подтвердили гипотезу.

Именно слабая изменчивость дисперсии и явилась отправной точкой предлагаемого исследования.

Цель исследования: модификация контрольных карт Шухарта [5–7]. Авторы предлагают рассмотреть возможность использования методики Шухарта при малых объемах производства, что часто имеет место при изготовлении сложных технических объектов.

#### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования авторы предлагают методику построения контрольных карт Шухарта.

Карты Шухарта предназначены для анализа поведения технологического процесса (ТП) в целом и отдельных операций. При построении карт Шухарта проводится предварительный анализ технологической операции, определяются ее основные статистические характеристики, на основе этих характеристик и требований к качеству процесса (например, доли дефектных изделий) рассчитываются контрольные линии.

Наиболее часто используется так называемая  $(\bar{X} - R)$ -карта. Она представляет собой двойной график, на первой части которого представлены средние значения текущих выборок, а на второй – размахи.

Каждая часть содержит контрольные линии (рис. 1).

На карте средних ( $\bar{X}$ -карте) используется три линии:

- 1) центральная линия (Center Line, CL);
- 2) верхняя контрольная линия (Upper Control Limit, UCL);
- 3) нижняя контрольная линия (Lower Control Limit, LCL).

Центральная линия (CL), как правило, соответствует номинальному размеру обрабатываемой детали, в то время как UCL и LCL определяются по границам поля допуска. Наиболее часто полагают, что общая ширина  $\Delta = UCL - LCL$  устанавливается в шесть средних квадратических отклонений, т.е.  $\Delta = 6\sigma$ .

Помимо предельных границ можно использовать предупредительные границы, которые строятся аналогично контрольным, но их отклонение от номинала меньше.

На карте размаха ( $R$ -карте) отмечаются размахи значений текущей выборки. Так как  $R \geq 0$ , то устанавливается только верхняя, предельная, граница допустимого размаха.

Использование контрольных карт, как и любых других статистических методов, может привести к ошибке, вероятность которой уменьшается при использовании большой суммарной выборки и растет при уменьшении суммарного объема выборки.

С целью повышения надежности использования карт Шухарта авторами было предложено использовать при их расчете не абсолютные, а относительные границы контроля, выраженные в долях среднего квадратического отклонения.

#### *Карты Шухарта с варьируемыми границами*

Анализ производства на машиностроительных предприятиях показал, что на многих участках происходит частая смена типов заготовок, что приводит к необходимости перенастройки оборудования. Учитывая относительно малые объемы партий, можно отметить, что в этой связи придется часто менять расчетные параметры контрольных карт, что не позволит воспользоваться их информацией, так как нет возможности сравнивать результаты предыдущих и последующих измерений. Снять ряд вопросов можно, применяя байесовский подход, учитывающий предысторию процесса [4].

Предлагаемое использование метода варьируемых границ заключается в следующем:

В качестве центральной линии CL предлагается использовать условный «ноль»; верхняя контрольная граница UCL и нижняя контрольная граница LCL отсчитываются как отклонение от номинала CL в долях среднего квадратического отклонения процесса.

Координаты расчетной точки на графике также следует откладывать в долях среднего квадратического отклонения процесса. В этом случае график на рис. 1 приобретет вид, представленный на рис. 2.

В табл. 1 представлены результаты измерений в 20 опытах двух типов деталей с разными размерами.

По рис. 2 можно отметить, что для обоих типов заготовок процесс является стабильным, но для первой из них (первые 10 опытов) наблюдается систематическое увеличение размеров (приблизительно на два СКО, т.е. на 0,01 мм), в то время как для второй (последующие 20 опытов) группировка размеров наблюдается около номинала с незначительными отклонениями средних значений. График размаха в обоих случаях имеет одинаковую структуру.

В табл. 2 представлены исходные данные и результаты расчетов для построения карты Шухарта с варьируемыми границами. Структура данных представлена в табл. 1.

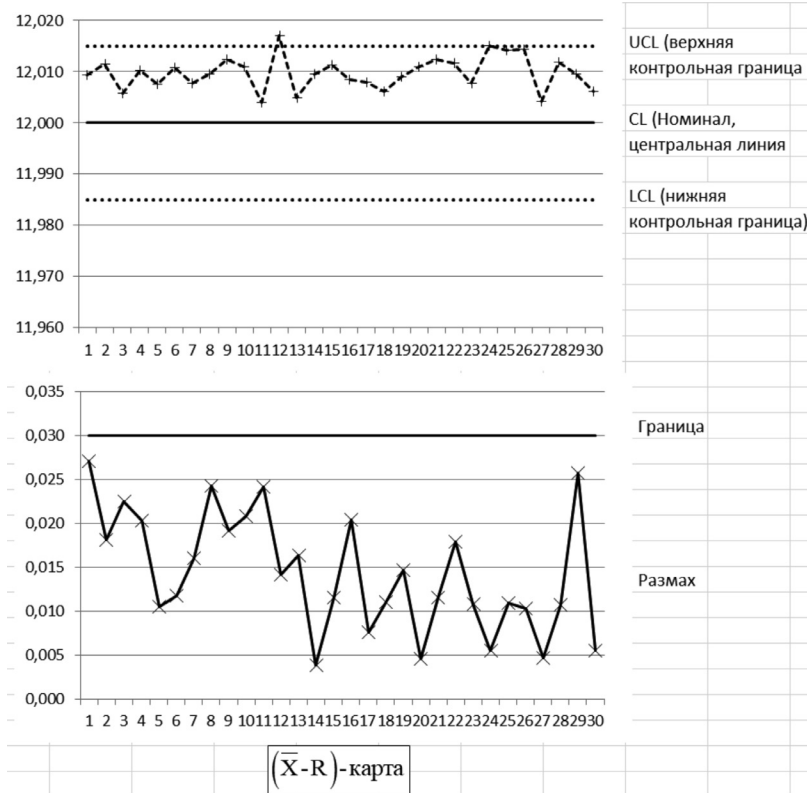


Рис. 1. Пример  $(\bar{X} - R)$  контрольной карты

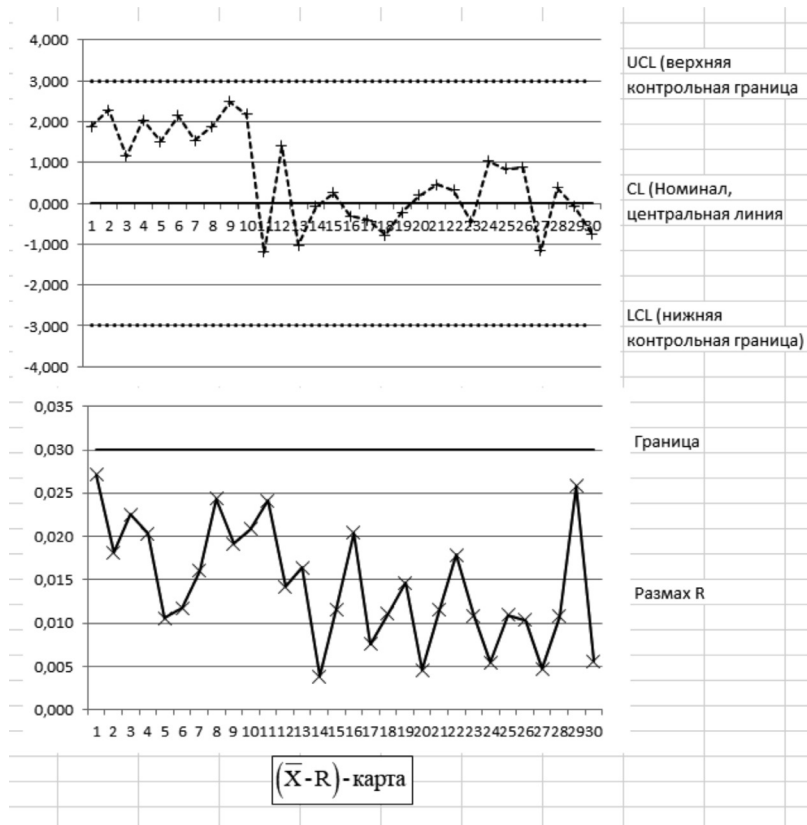


Рис. 2.  $(\bar{X} - R)$ -карта Шухарта с варьируемыми границами

**Таблица 1**

Структура данных листа MS Excel (рис. 3)

№ п/п	Столбец или ячейка	Содержимое столбца
1	A	Номер опыта
2	B, C, D, E	Четыре последовательных измерения опыта
3	F	Значения средних значений для каждого опыта
4	G	Отклонения среднего от номинала в долях СКО
5	H	Значения размахов каждого опыта
6	I2	Значение СКО
7	J	Значения номинала
8	K	Нормированный номинал
9	L	Верхняя граница контроля в долях СКО
10	M	Нижняя граница контроля в долях СКО

**Таблица 2**

Исходные данные и результаты расчетов для построения карты Шухарта с варьируемыми границами

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	№ опыта	Номер измерения в опыте				Среднее Хср	Отклонение от номинала в долях СКО	Размах R	СКО 0,005	Номинал	Нормированный номинал	UCL в долях СКО	LCL в долях СКО
2		1	2	3	4								
3	1	12,013	11,994	12,021	12,010	12,009	1,874	0,027		12	0	-3	3
4	2	12,001	12,020	12,012	12,013	12,011	2,280	0,018		12	0	-3	3
5	3	12,007	12,018	11,995	12,003	12,006	1,146	0,023		12	0	-3	3
6	4	12,021	12,018	12,001	12,001	12,010	2,033	0,020		12	0	-3	3
7	5	12,010	12,004	12,014	12,003	12,008	1,515	0,011		12	0	-3	3
8	6	12,017	12,006	12,015	12,005	12,011	2,149	0,012		12	0	-3	3
9	7	12,012	12,014	11,998	12,006	12,008	1,534	0,016		12	0	-3	3
10	8	12,010	12,000	12,024	12,004	12,009	1,885	0,024		12	0	-3	3
11	9	12,007	12,007	12,026	12,009	12,012	2,484	0,019		12	0	-3	3
12	10	12,007	12,014	12,001	12,021	12,011	2,168	0,021		12	0	-3	3
13	11	50,008	49,984	49,991	49,994	49,994	-1,199	0,024		50	0	-3	3
14	12	50,013	50,003	50,013	49,999	50,007	1,403	0,014		50	0	-3	3
15	13	50,005	49,990	49,989	49,995	49,995	-1,037	0,016		50	0	-3	3
16	14	50,000	49,999	49,998	50,001	50,000	-0,083	0,004		50	0	-3	3
17	15	50,002	50,000	50,007	49,995	50,001	0,253	0,012		50	0	-3	3
18	16	49,999	49,985	50,006	50,003	49,998	-0,323	0,020		50	0	-3	3
19	17	49,995	49,997	49,997	50,003	49,998	-0,418	0,008		50	0	-3	3
20	18	49,996	49,995	49,991	50,002	49,996	-0,782	0,011		50	0	-3	3
21	19	49,997	49,992	50,006	50,000	49,999	-0,220	0,015		50	0	-3	3
22	20	49,998	50,002	50,001	50,003	50,001	0,200	0,005		50	0	-3	3

**Результаты исследования и их обсуждение**

Проведенные исследования показали теоретическую возможность применения карт Шухарта при малых объемах производства и частой смене заготовок и деталей на технологическом оборудовании. Показано, что эффективным методом может быть

использование карты Шухарта с варьируемыми границами.

**Заключение**

Анализ системы управления качеством показал необходимость модификации контрольных карт Шухарта. Предложена и реализована методика построения

( $\bar{X} - R$ )-карт Шухарта с варьируемыми границами.

Для повышения точности и надежности результатов использования карт Шухарта с варьируемыми границами необходимы дальнейшие исследования различных технологических процессов, в том числе с использованием аппарата анализа малых выборок и байесовского подхода.

Методика предлагается для использования на машиностроительных предприятиях. Для ее применения не требуются специальные знания в программировании, достаточно иметь общее представление о работе в MS Excel.

#### Список литературы

1. Басовский Л.Е., Протасьев В.Б. Управление качеством: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2018. 231 с.
2. Кане М.М., Суслов А.Г., Горленко О.А., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Медведев А.И., Мирошников В.В. Управление качеством продукции машиностроения: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2010. 416 с.
3. Барвинок В.А., Годлевский В.Е., Стрельников Е.А. Менеджмент качества в машиностроении. Ч. 1. Введение в теорию менеджмента качества: учеб. пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 80 с.
4. Анализ эффективности действующей системы управления качеством продукции и надежностью технологических систем. Разработка методологии инспекционного контроля. Построение эффективной структуры системы управления качеством продукции и надежности технологических систем / Отчет о НИР (промежуточный). № ГР АААА-А17-117110970026-5 / ТФ РЭУ им. Г.В. Плеханова; рук. С.В. Юдин; ответств. исполн. А.С. Юдин; исполн. М.В. Волков, А.С. Кривов, Р.Ю. Подкопаев, В.Б. Протасьев, В.Г. Степанов. Тула, 2018. 603 с. № гос. регистрации АААА-Б18-218052890030-8.
5. Лапидус В.А. Система Шухарта. Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2004. 65 с.
6. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. М.: Стандартиформ, 2016. 47 с.
7. Адлер Ю.П., Максимова О.В., Шпер В.Л. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом. Часть 1 // Стандарты и качество. М., 2011. № 7. С. 82–87.