

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

# **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ**

Методические указания  
по выполнению самостоятельных работ

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2013

УДК 658.562.3

ББК 38.3-3

А64

*Методические указания подготовлены в рамках проекта  
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки  
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»  
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –  
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – кандидат технических наук, доцент

С.Н. Кислицына (ПГУАС)

**Анализ** технологических процессов с помощью гистограмм:  
А64 метод. указания по выполнению самостоятельных работ /  
В.И. Логанина, Л.В. Макарова, О.В. Карпова, Е.И. Чапаев; под общ.  
ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС,  
2013. – 24 с.

Приведено описание процедуры анализа технологических процессов с помощью гистограмм.

Методические указания направлены на усвоение знаний и формирование умений по использованию углубленных теоретических и практических знаний, часть которых находится на передовом рубеже науки; осознание студентами основных проблем своей предметной области, при решении которых возникает необходимость в сложных задачах выбора, требующих использования количественных и качественных методов; развитие способности анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию; овладение навыками к адаптации современных систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов.

Методические указания подготовлены на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Стройцентр» и предназначены для использования студентами, обучающимися по направлению 270800 «Строительство» (магистратура).

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2013

© Логанина В.И., Макарова Л.В.,  
Карпова О.В., Чапаев Е.И., 2013

# Самостоятельная работа №1

## Анализ технологических процессов с помощью гистограмм

**Цель работы** – научиться анализировать состояние технологического процесса с помощью гистограмм.

### Общие сведения

Гистограмма – позволяет оценить состояние качества. Гистограмма представляет собой столбчатый график, построенный по полученным за определенный период (час, неделю, месяц) данным, которые разбиваются на несколько интервалов. Число данных, попавших в каждый из интервалов (частота), выражается высотой столбика.

Гистограмма применяется главным образом для анализа значений измеренных параметров, но может использоваться и для расчетных значений. Благодаря простоте построения и наглядности гистограммы нашли применение в различных областях:

– для анализа сроков получения заказа (за контрольный норматив принимается срок поставки согласно договору);

– для анализа времени реагирования группы обслуживания от момента получения заявки от клиента, времени обработки рекламации от момента ее получения и т.д.;

– для анализа значений показателей качества, таких как размеры, масса, механические характеристики, химический состав, выход продукции и т.д. при контроле готовой продукции, при приемочном контроле, при контроле процесса в самых разных сферах деятельности;

– для анализа чистого времени операций, времени износа режущей поверхности и т.д.;

– для анализа числа бракованных изделий, числа дефектов, числа поломок и т.д.

Полученная в результате анализа гистограммы информация может быть легко использована для построения и исследования причинно-следственной диаграммы, что повысит обоснованность мер, намеченных для улучшения процесса.

Одним из способов графического изображения является столбиковая диаграмма, которая отражает состояние качества проверенной партии изделий и помогает разобраться в состоянии качества изделий в генеральной совокупности, выявить в ней положение среднего значения и характер рассеивания.

Для построения гистограммы относительных частот на оси абсцисс откладывают частичные интервалы, а над ними проводят отрезки, параллельные оси абсцисс на расстоянии  $\frac{W_i}{h}$ . Площадь  $i$ -го частичного

прямоугольника равна  $h \frac{W_i}{h} = W_i$  – относительной частоте вариант, попавших в  $i$ -й интервал. Следовательно, **площадь гистограммы относительных частот равна сумме всех относительных частот, т.е. единице**. Размер **интервала** определяют следующим образом. Результаты измерения располагают в порядке возрастания, т.е. составляют вариационный ряд. Первоначально определяют размах варьирования как разность

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (1)$$

где  $x_{\max}$  и  $x_{\min}$  соответственно максимальное и минимальное значения вариационного ряда.

Размах варьирования делят на некоторое число равных интервалов. Число интервалов  $K$  обычно рекомендуется брать в пределах от 8 до 20. Для его определения часто пользуются формулой

$$K < 5 \lg n. \quad (2)$$

Тогда ширина интервала

$$h = \frac{R}{K}. \quad (3)$$

Границы интервала вычисляют путем последовательного прибавления ширины интервала в нижней границе вариационного ряда по формуле

$$x_{\min} + jh, \quad (4)$$

где  $j$  – номер интервала.

Значение нижней границы первого интервала ( $j = 0$ ) из формулы (4), равное  $x_{\min}$ , может быть скорректировано в соответствии с скорректированной ширины интервала.

На рис. 1 приведены примеры различных сочетаний плотности распределения с допуском.

На рис. 1а форма распределения удовлетворительна, ибо ее левая и правая стороны симметричны. Если широту распределения сравнить с шириной допуска, то она составит примерно 3/4. Кроме того, центр распределения и центр поля допуска совпадают. Это говорит о том, что качество партии находится в удовлетворительном состоянии. Следовательно, в данной ситуации можно продолжить изготовление продукции.

На рис. 1б форма распределения отклонена вправо, поэтому центр распределения тоже смещен. Имеется опасение, что среди изделий – в остальной части партии – могут находиться дефектные, выходящие за верхний предел допуска. В этом случае проверяют, нет ли систематической ошибки в измерительных приборах.

Если нет, то продолжают изготавливать продукцию, отрегулировав операцию так, чтобы центр распределения совпадал с центром поля допуска.

На рис. 1 в центр распределения расположен правильно, однако, поскольку ширина распределения совпадает с шириной поля допуска, то имеется опасение, что со стороны верхнего и нижнего пределов допуска могут появиться дефектные изделия. Если продолжить выполнять операции таким же способом, то обязательно появятся дефектные изделия. Поэтому, чтобы сузить широту распределения, необходимо принять меры для обследования оборудования, условий обработки, оснастки и т.д.

На рис. 1г центр распределения смещен, что говорит о присутствии дефектных изделий. Так как ширина распределения и ширина поля допуска почти одинаковы, необходимо без промедления путем регулирования переместить центр распределения в центр поля допуска и либо сузить широту распределения, либо пересмотреть допуск.

На рис. 1д центр распределения совпадает с центром поля допуска, но ширина распределения превышает широту поля допуска, обнаруживаются дефектные изделия по обе стороны допуска. Необходимо провести управляющие воздействия для ликвидации дефектных изделий.

На рис. 1е распределение имеет два пика, хотя образцы взяты из одной партии. Это явление объясняется либо тем, что сырье фактически было двух разных сортов, либо в процессе работы была изменена настройка станка, либо тем, что в одну партию соединили изделия, обработанные на двух разных станках. Исходя из этих и других соображений, следует производить обследование послойно.

На рис. 1ж главные части распределения (ширина и центр) в норме, однако незначительная часть изделий выходит за верхний предел допуска и, отделяясь, образует обособленный островок.

Изделия, выделенные в этом островке, возможно, представляют собой часть дефектных изделий, которые могли перемешать с качественными изделиями в общем потоке технологического процесса. В данной ситуации следует принять меры для выяснения самых различных обстоятельств, достаточным образом объясняющих причину явления.

На рис. 1з центр распределения смещен. Левая сторона распределения («3») имеет вид высокого края (в форме обрыва). Такая гистограмма отражает случаи, когда, например, требуется исправление параметра, имеющего отклонение от нормы, или искажена информация о данных и т.д. При этом необходимо уделить внимание случаю грубого искажения данных при измерениях и принять меры к тому, чтобы такие случаи не повторялись.

Хотя гистограмма позволяет распознать состояние качества партии изделий по внешнему виду распределения, она не дает всей информации о величине ширины, симметрии между правой и левой сторонами распределения, наличии или отсутствии центра распределения в количественном выражении.

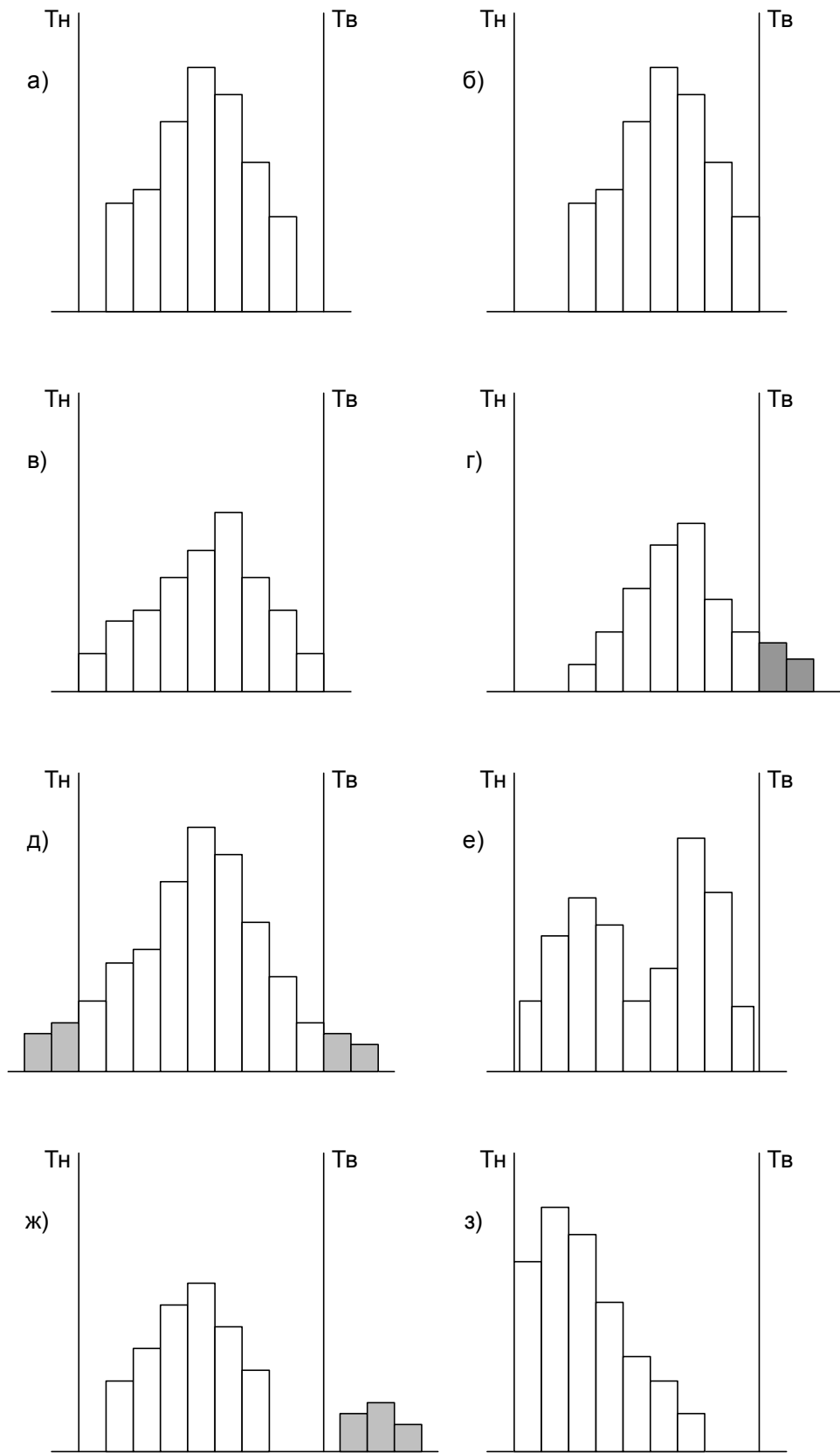


Рис. 1. Сочетание плотности распределения с допуском:  
 $T_{н}$ ,  $T_{в}$  – нижний и верхний пределы допуска

Любой технологический процесс подвержен изменчивости, характер которой определяется влиянием множества случайных и неслучайных факторов. Сюда можно отнести изменчивость в качестве исходного сырья от партии к партии, износ технологического оборудования, несовершенство технологических приёмов, различная квалификация исполнителей и прочие. Для решения вопроса получения «стабильно» высокого качества, необходимо, в первую очередь, привести процесс в «состояние статистической управляемости», т.е. в такое состояние, когда на качество протекания процесса влияют только случайные факторы, устранение которых экономически невыгодно и неэффективно. Следовательно, необходимо установить степень влияния, выявить и устранить те факторы, которые создают систематическое ухудшение качества изделия. Как показывают исследования авторов многочисленных изданий (в основном иностранных) данная цель эффективно достигается с помощью статистических методов анализа и регулирования технологических процессов в процессе их мониторинга (особенно при массовом производстве).

### **Задание для самостоятельной работы студентов**

1. Проанализировать статистические данные прочности силикатного кирпича марок 150 и 125 за январь, февраль и март 2004 года, а также за январь и февраль 2005 года. Данные приведены в таблицах 1-10.

2. Как построить гистограмму?

3. Как оценить качество процесса производства с помощью гистограммы?

Т а б л и ц а 1

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 150 за январь 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

135	155	157	138	137	140
140	157	135	154	135	149
143	138	137	155	139	152
132	136	139	152	154	154
138	154	138	154	150	138
141	157	115	155	137	136
137	155	150	150	157	140
139	152	139	157	152	155
150	158	152	152	155	137
154	138	136	150	157	139
156	154	140	156	136	140

Т а б л и ц а 2

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 150 за февраль 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

137	140	138	141	127	132
140	137	132	138	138	140
138	132	137	143	150	138
135	136	122	139	137	135
137	128	128	140	137	137
140	136	116	137	132	139
132	139	138	138	135	140
138	140	142	142	134	136
136	137	144	137	137	
138	136	140	128	141	
135	135	142	137	135	

Т а б л и ц а 3

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 150 за март 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

138	128	140	138	145
134	158	137	136	138
132	165	153	137	142
139	158	155	142	148
137	154	154	137	143
135	167	156	156	138
138	146	150	163	142
138	157	137	148	137
138	138	139	162	
152	137	165	155	

Т а б л и ц а 4

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 150 за январь 2005 г, кг/см<sup>2</sup>

138	158	134	154	141
143	140	154	150	142
136	156	158	135	138
132	159	133	157	140
152	162	138	154	137
143	143	152	138	136



Таблица 5

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 150 за февраль 2005 г, кг/см<sup>2</sup>

132	152	136	125	161	138	137
156	138	153	132	155	142	136
158	140	140	173	168	138	143
133	156	138	165	158	140	138
136	120	162	172	154	142	141
162	141	156	137	158	143	136
136	135	141	175	156	153	144
158	154	139	162	153	162	
162	153	140	158	153	132	
127	150	137	164	141	140	

Таблица 6

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 125 за январь 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

110	125	126	115	116	119
117	127	113	128	111	127
119	113	115	125	120	130
116	117	111	129	126	126
120	127	117	126	125	117
115	125	125	127	118	115
117	128	128	125	128	118
116	125	116	128	125	126
125	127	127	125	128	116
126	116	114	128	129	118
128	125	113	125	115	113

Таблица 7

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 125 за февраль 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

116	116	115	118	110	110
117	113	110	115	115	114
116	116	118	117	127	110
112	110	100	119	115	116
118	107	100	121	118	115
112	112	94	115	114	117
114	115	119	114	112	118
117	118	117	124	111	114
114	116	115	115	116	
112	114	118	107	115	
117	110	114	115	113	

Таблица 8

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 125 за март 2004 г, кг/см<sup>2</sup>

117	113	115	116	118
113	128	118	114	110
116	132	127	117	117
115	127	126	120	123
118	130	127	114	116
114	135	125	128	112
116	118	126	130	118
113	126	112	117	110
113	114	116	130	
124	113	138	128	

Таблица 9

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 125 за январь 2005 г, кг/см<sup>2</sup>

107	135	105	128	119
114	120	128	130	116
112	132	132	118	118
108	128	114	131	126
128	133	116	129	114
114	112	134	116	110

Таблица 10

Статистические данные по прочности кирпича  
марки 125 за февраль 2005 г, кг/см<sup>2</sup>

114	130	113	100	130	120	121
125	120	128	114	128	117	110
128	124	120	128	137	115	115
112	131	116	126	129	119	115
114	111	130	135	127	120	116
127	124	133	102	130	122	115
117	117	123	128	132	126	118
132	127	118	130	127	125	
128	131	123	126	127	118	
100	128	119	133	119	117	

## Самостоятельная работа №2

### Статистическое регулирование технологических процессов с помощью контрольных карт

**Цель работы** – научиться оценивать стабильность технологического процесса производства

#### Общие сведения

В процессе проведения операционного контроля целесообразно применять статистическое регулирование технологических процессов. Статистические методы регулирования позволяют своевременно выявлять разладку технологического процесса и тем самым предупредить выпуск дефектной продукции, выполняя таким образом важнейшее требование стандартов ИСО серии 9000 "предупреждать любое несоответствие продукции".

Контроль по количественному признаку основывается на определении с требуемой точностью фактических значений контролируемого параметра у единицы продукция из выборки. Фактические значения контролируемого параметра необходимы для последующего вычисления статистических характеристик, по которым принимается решение о состоянии технологического процесса (процесс налажен или процесс разлажен). Такими статистическими характеристиками являются выборочное среднее или медиана и выборочное среднее квадратическое отклонение или размах. Первые две характеристики являются характеристиками положения, а последние две – характеристиками рассеивания случайной величины  $X$  ( $X$  – контролируемый параметр).

При контроле по альтернативному признаку не требуется знать фактическое значение контролируемого параметра – достаточно установить лишь факт соответствия или несоответствия его установленным требованиям. Поэтому можно использовать и такие простейшие средства контроля, как предельные калибры, шаблоны, а также визуальный контроль, основанный на сравнении с контрольным образцом.

Каждый из указанных способов контроля имеет свои преимущества и свои недостатки.

В зависимости от того, по каким статистическим характеристикам осуществляют статистическое регулирование, различают следующие виды контрольных карт:

- 1) карта средних арифметических значений ( $\bar{x}$  – карта),
- 2) карта медиан ( $x$  – карта),
- 3) карта средних квадратических отклонений ( $s$  – карта),
- 4) карта размахов ( $R$  – карта),
- 5) карта доли дефектных единиц продукции ( $p$  – карта),
- 6) карта числа дефектных единиц продукции ( $p$  – карта),
- 7) карта числа дефектов ( $c$  – карта),

8) карта числа дефектов на единицу продукции ( $u$  – карта).

Первые четыре вида контрольных карт применяют при контроле по количественному признаку, последние – по альтернативному.

Логика работы с контрольными границами следующая:

- 1) если точка на контрольной карте лежит внутри контрольных границ, то считается, что все колебания точек объясняются чисто случайными факторами;
- 2) если же одна (или несколько) точка выходит за контрольные границы, то считается, что такие отклонения не могут произойти случайно, т.е. здесь имеет место воздействие неслучайного фактора. В этом случае есть необходимость в остановке и (или) корректировке технологического процесса.

С помощью приемочных контрольных карт по результатам измерений периодически берущихся выборок можно принимать решение об удовлетворительном или неудовлетворительном состоянии технологического процесса с учетом границ поля допуска.

При статистическом регулировании технологического процесса при контроле по количественному признаку обычно используют двойные контрольные карты, на одной из которых отмечают среднее значение (либо  $\bar{x}$ , либо  $\tilde{x}$ ), а на другой – характеристику рассеивания (либо  $s$ , либо  $R$ )

**Производные контрольные карты (двойные карты)** были разработаны Шухартом в 1926 году. Преимущества двойных карт заключаются в наглядности изображения протекания процесса, в простоте принятия решения, в достоверности вывода о величине рассеяния значений. По двойной карте можно непрерывно следить за составляющими общей дисперсии – рассеянием внутри мгновенных выборок (внутригрупповая дисперсия) и рассеянием между значениями  $\bar{x}$  различных выборок (межгрупповая дисперсия). Процесс лишь тогда полностью статистически управляем, когда об этом свидетельствуют обе карты ( $\bar{x} - s$ ;  $\bar{x} - R$ ).

С помощью таких контрольных карт обеспечивается стабильность работы станков, осуществляется сравнение нескольких методов изготовления, проверка стойкости различных инструментов, профессиональная экспертиза процесса, планирование финансовых расходов на контроль (например, устанавливают число мгновенных выборок, осуществляют выбор измерительных приборов и метода измерения и т.д.).

#### **Вычисление границ регулирования для $\bar{x}$ -карты**

Верхняя граница регулирования вычисляется по формуле

$$\bar{x} + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{x} + A\sigma = K_B, \quad (1)$$

где  $n$  – объем выборки;

$\bar{x} - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{x} - A\sigma = K_H$  – нижняя граница регулирования.

Значения коэффициентов  $A = \frac{3}{\sqrt{n}}$  для некоторых объемов выборки можно найти в табл. 1

Оценку математического ожидания генеральной совокупности получают, вычислив среднюю арифметическую  $\bar{x}$  по  $k$  значениям выборочных средних  $\bar{x}_i$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i. \quad (2)$$

В качестве меры колеблемости отдельных значений внутри выборки используют также размах  $R = x_{\max} - x_{\min}$ , который легко определяется для выборок небольшого объема. Среднее значение  $\bar{R}$  размахов вариации  $R$  из  $k$  выборок можно использовать в качестве оценки среднего квадратического отклонения генеральной совокупности так же, как и  $\bar{s}$ :

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i. \quad (3)$$

При достаточно большом  $k$  имеет место соотношение

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (4)$$

причем  $d_2$  опять является коэффициентом, зависящим от объема  $n$  выборок (табл. 2).

С помощью оценки  $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$  границы регулирования для  $\bar{x}$ -карты вычисляются следующим образом:

$$\frac{3\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} = A_2 \bar{R}, \quad (5)$$

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}},$$

$$K_{B,H} = \bar{x} \pm A_2 \bar{R}.$$

Таблица 1

## Коэффициенты для определения границ регулирования для х-карты

n	b <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	A	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	0,853	0,5642	1,128	2,121	3,760	1,180	0	1,843	0	3,226	0	3,687	0	3,269
3	0,888	0,7236	1,693	1,732	2,394	1,023	0	1,859	0	2,569	0	4,357	0	2,574
4	0,880	0,7979	2,059	1,500	1,880	0,729	0	1,809	0	2,267	0	4,699	0	2,282
5	0,864	0,8407	2,326	1,342	1,596	0,577	0	1,575	0	2,090	0	4,918	0	2,114
6	0,848	0,8686	2,534	1,225	1,410	0,483	0,026	1,711	10,030	1,970	0	5,078	0	2,004
7	0,833	0,8882	2,704	1,134	1,277	0,419	0,104	1,672	0,117	1,883	0,205	5,203	0,076	1,924
8	0,820	0,9027	2,847	1,061	1,175	0,373	0,167	1,638	0,185	1,851	0,387	5,307	0,136	1,964
9	0,808	0,9139	2,970	1,000	1,094	0,337	0,219	1,609	0,239	1,761	0,546	5,394	0,184	1,816
10	0,797	0,9227	3,078	0,949	1,028	0,308	0,261	1,584	0,283	1,717	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,787	0,9300	3,173	0,905	0,973	0,285	0,299	1,561	0,322	1,678	0,812	5,534	0,256	1,744
12	0,778	0,9359	3,258	0,866	0,925	0,266	0,331	1,541	0,353	1,647	0,924	5,592	0,284	1,716
13	0,770	0,9410	3,336	0,832	0,884	0,249	0,360	1,522	0,382	1,618	1,026	5,646	0,308	1,692
14	0,762	0,9453	3,407	0,802	0,848	0,235	0,384	1,506	0,407	1,593	1,121	5,693	0,329	1,671
15	0,755	0,9490	3,472	0,775	0,816	0,223	0,406	1,492	0,428	1,572	1,207	5,737	0,348	1,652
16	0,749	0,9523	3,532	0,750	0,788	0,212	0,428	1,477	0,449	1,551	1,285	5,779	0,364	1,636
17	0,743	0,9551	3,588	0,728	0,762	0,203	0,445	1,465	0,466	1,534	1,359	5,817	0,379	1,621
18	0,738	0,9576	3,640	0,707	0,738	0,194	0,461	1,455	0,481	1,519	1,426	5,854	0,392	1,608
19	0,733	0,9599	3,689	0,688	0,717	0,187	0,476	1,444	0,496	1,504	1,490	5,888	0,404	1,596
20	0,729	0,9619	3,735	0,671	0,697	0,180	0,491	1,433	0,510	1,490	1,548	5,922	0,414	1,586

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты для определения границ регулирования для  $x$ - $R$ -карты

$N$ (объем выборки)	$x$ - $R$ -карта			
	$d_2$	$A_2$	$D_3$	$D_4$
2	0,954	2,232	0	3,865
3	1,588	1,264	0	2,745
4	1,978	0,828	0	2,375
5	2,257	0,712	0	2,179
6	2,472	0,562	0	2,055
7	2,645	0,519	0,078	1,967
8	2,791	0,442	0,139	1,901
9	2,961	0,419	0,187	1,850
10	3,024	0,368	0,227	1,809

**Контрольные карты среднего квадратического отклонения и вариации**

$s$ -карта и  $R$ -карта строятся так же, как и  $\bar{x}$ -карта. Наносят на карту среднее значение  $\bar{s}$  или  $\bar{R}$  и проводят параллельно средней линии верхнюю и нижнюю границы регулирования с требуемой доверительной вероятностью.

Вычисление средней линии и границ регулирования  $s$ -карты производят следующим образом:

а) если значение  $\sigma$  генеральной совокупности известно, то среднее значение  $\bar{s}$  для  $s$ -карты равно  $\bar{s} = c_2\sigma$ ; в этом случае границы регулирования определяются как

$$K_{в,н} = \bar{s} \pm 3\sigma_s = c_2\sigma \pm \frac{3}{\sqrt{2n}}\sigma = \left( c_2 \pm \frac{3}{\sqrt{2n}} \right) \sigma \quad (6)$$

или

$$K_{в} = \left( c_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}} \right) \sigma = B_2\sigma, \quad K_{н} = \left( c_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} \right) \sigma = B_1\sigma; \quad (7)$$

б) если значение  $\sigma$  генеральной совокупности неизвестно, то сначала нужно вычислить с помощью коэффициента  $c_2$  и среднего значения  $\bar{s}$  оценку  $\sigma$ ; тогда границы регулирования

$$K_{в,н} = \bar{s} \pm 3\sigma_s = \bar{s} \pm \frac{3}{\sqrt{2n}}\sigma = \bar{s} \pm \frac{3}{c_2\sqrt{2n}}\bar{s} = \left( 1 \pm \frac{3}{c_2\sqrt{2n}} \right) \bar{s} \quad (8)$$

или

$$K_{в} = \left( 1 + \frac{3}{c_2\sqrt{2n}} \right) \bar{s} = B_4\bar{s}, \quad K_{н} = \left( 1 - \frac{3}{c_2\sqrt{2n}} \right) \bar{s} = B_3\bar{s}. \quad (9)$$

Значения коэффициентов  $B_1, B_2, B_3, B_4$  см. в табл. 1.

Они зависят от объема выборок  $n$  и действительны в случае нормального распределения генеральной совокупности.

Определение границ регулирования  $R$ -карт производится следующим образом:

а) если известно значение  $\sigma$  генеральной совокупности, то среднее значение  $\bar{R}$ -карты вычисляется как  $\bar{R} = d_2\sigma$ , а границы регулирования

$$K_{в,н} = \bar{R} \pm 3\sigma_R = d_2\sigma \pm 3b_2\sigma = (d_2 \pm 3b_2)\sigma \quad (10)$$

или

$$K_{в} = (d_2 + 3b_2)\sigma = D_2\sigma, \quad K_{н} = (d_2 - 3b_2)\sigma = D_1\sigma; \quad (11)$$

б) если значение  $\sigma$  генеральной совокупности неизвестно, то его оценку вычисляют по  $\bar{R}$  с помощью коэффициентов  $b_2$  и  $d_2$ ; тогда границы регулирования:

$$K_{в,н} = \bar{R} \pm 3\sigma_R = \bar{R} \pm 3b_2\sigma = \bar{R} \pm 3\frac{b_2}{d_2}\bar{R} = \left(1 \pm 3\frac{b_2}{d_2}\right)\bar{R} \quad (12)$$

или

$$K_{в} = \left(1 + 3\frac{b_2}{d_2}\right)\bar{R} = D_4\bar{R}, \quad K_{н} = \left(1 - 3\frac{b_2}{d_2}\right)\bar{R} = D_3\bar{R}. \quad (13)$$

Значения коэффициентов  $D_1, D_2, D_3, D_4$  приведены в табл. 1 и 2.

Они зависят, как и  $b_2$  и  $d_2$ , от объема выборки  $n$  и действительны, если генеральная совокупность имеет нормальное распределение или хотя бы приближается к нему.

Использование в практике работ подобных карт, дальнейшая их корректировка (например, по итогам года или квартала), постоянный анализ содержащейся в ней информации позволят своевременно реагировать на возникновение разладок в технологическом процессе, прогнозировать качество изделий, а также повысят ответственность и заинтересованность технического персонала предприятия.

Расчет границ контрольных карт по проведению статистического регулирования по альтернативному признаку проводится в соответствии с табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Формулы для определения границ регулирования

Статистика	Формулы контрольных границ для КК			
	Первого типа		Второго типа	
	Центральная линия	Контрольные границы	Центральная линия	Контрольные границы
$p$	$\bar{p}$	$\bar{p} \pm (3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}/n)$	$p_o$	$p \pm (3\sqrt{p_o(1-p_o)}/n)$
$np$	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm (3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}/n)$	$np_o$	$np_o \pm (3\sqrt{np_o(1-p_o)}/n)$
$c$	$\bar{c}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	$c_o$	$c_o \pm 3\sqrt{c_o}$
$u$	$\bar{u}$	$\bar{u} \pm (3\sqrt{\bar{u}}/n)$	$u_o$	$u_o \pm (3\sqrt{u_o}/n)$

Примечание. Если рассчитанная нижняя контрольная граница имеет значение ниже нуля, нижнюю границу не строят.



***p*-карта.** Существенным фактором при оценке расходов, связанных с изготовлением единицы продукции, является установление доли *p* отходов материала или дефектных единиц, обычно выражаемой в процентах, или числа дефектов на 100 единиц продукции, которое по мере надобности далее подразделяется на группы дефектов. При ведении контрольных карт для вычисления *p* используют следующие три формы:

$$1) \bar{p} = \frac{\text{Количество отходов в } k \text{ партиях, состоящих из одинаковых изделий}}{\text{Общее количество материала, необходимого для изготовления } k \text{ партий, состоящих из одинаковых изделий}} \cdot 100 = \text{Количество отходов, \%}$$

$$2) \bar{p} = \frac{\text{Количество дефектных единиц продукции в } k \text{ партиях, состоящих из одинаковых изделий}}{\text{Общее количество проверенных единиц продукции в } k \text{ партиях, состоящих из одинаковых изделий}} \cdot 100 = \text{Процент дефектных изделий}$$

$$3) \bar{p} = \frac{\text{Число дефектов в } k \text{ партиях, состоящих из одинаковых изделий}}{\text{Общее количество проверенных единиц продукции в } k \text{ партиях, состоящих из одинаковых изделий, причем } k \text{ должно быть больше } 10}} \cdot 100 = \text{Количество дефектов на } 100 \text{ изделий}$$

Результаты, получаемые по третьей форме (по сравнению со второй формой) вычисления  $\bar{p}$ , дают изготовителю больше информации, так как при подсчете количества дефектов на 100 изделий каждое контролируемое изделие проверяется по всем потенциальным дефектам. Последующий анализ этих дефектов помогает вскрыть слабые места в производстве. На *p*-карте отмечают в виде точек числа, ординатами точек является доля брака *p* (или *p* в %), а абсциссами – текущие номера контролируемых партий. После этого вычисляют среднюю линию *p* и границы регулирования  $K_v$  и  $K_n$ .

Преимущество *p*-карты состоит в том, что одновременно можно контролировать несколько признаков. Особенно удобна *p*-карта при приемочном контроле сборных изделий, когда перед отправкой к потребителю поштучно, изделие за изделием, тщательно проверяют: их функционирование, наличие всех компонент, товарный вид. В таких случаях производят сплошной контроль с разделением дефектов на группы.

***np*-карта.** Количество дефектов или дефектных изделий в партии обозначают через *np*. При ведении *np*-карт эти числа служат ординатами. Лучше всего сопоставляются *p*- и *np*-карты, когда *p* выражается в процентах, а *np* – в дефектах на 100 единиц продукции.

**Пример построения контрольных карт по альтернативному признаку.** *p*-карта и *np*-карта – выборки одинакового объема (рис. 1 и 2). В табл. 4 указаны число дефектных изделий и доля брака в выборках из 15

последовательно взятых партий стеновых панелей. Речь идет о таких дефектах поверхности, как нарушение толщины защитного слоя, околы и т.п. Партии имеют одинаковые объемы. Объем выборки постоянный ( $n = 400$ ). Доля брака  $p$  была получена делением дефектных изделий в выборке  $np$  на ее объем  $n$ . Из рис. 1 и 2 видно, что обе карты, за исключением карт с вертикальными шкалами, идентичны.

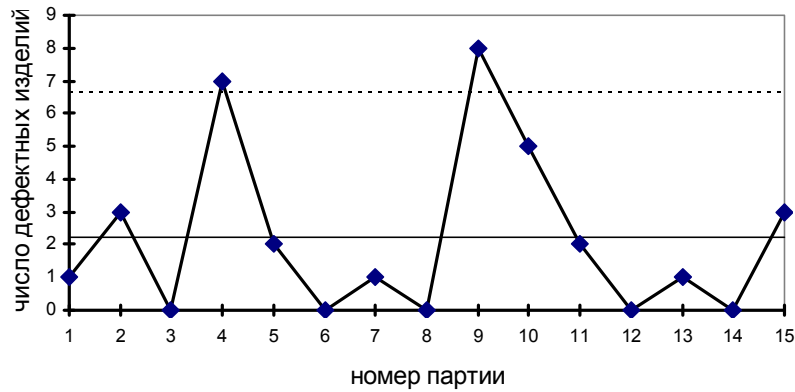


Рис. 1.  $np$ -карта (выборки одинакового объема)

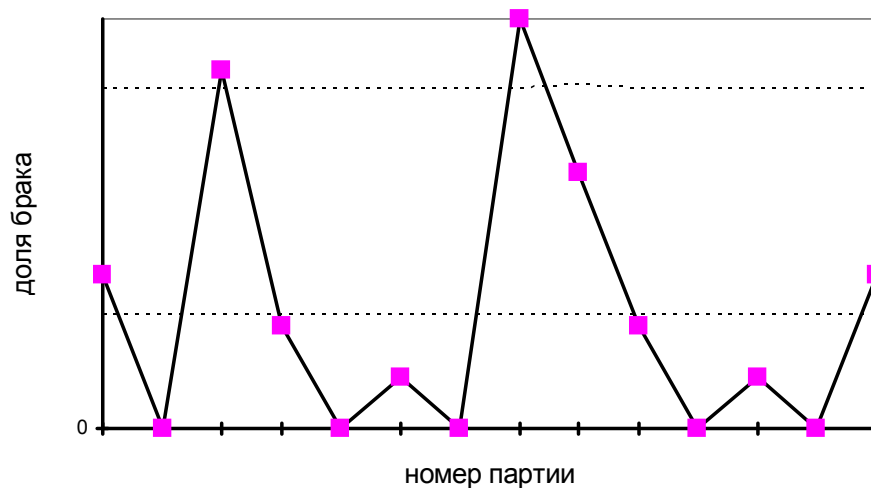


Рис.2.  $p$ -карта (выборки одинакового объема)

Т а б л и ц а 4

Номер партии	Объем выборки $n$	Число дефектных изделий $np$	Доля брака $p$	Номер партии	Объем выборки $n$	Число дефектных изделий $np$	Доля брака $p$
1	400	1	0,0025	9	400	8	0,0200
2	400	3	0,0075	10	400	5	0,0125
3	400	0	0,0				
4	400	7	0,0175	11	400	2	0,0050
5	400	2	0,0050	12	400	0	0,0
6	400	0	0,0	13	400	1	0,0025
7	400	1	0,0025	14	400	0	0,0
8	400	0	0,0	15	400	3	0,0075
				Сумма	6000	33	0,0825

### 1) *p*-карта

Центральные линии

$$\bar{p} = \frac{33}{6000} = 0,0055$$

или

$$\bar{p} = \frac{0,0825}{15} = 0,0055.$$

Границы регулирования при  $n = 400$ :

$$\bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,0055 \pm 3\sqrt{\frac{0,0055 \cdot 0,9945}{400}} = 0,0055 \pm 0,0111 = \begin{cases} 0,0166 \\ 0,0000 \end{cases}$$

### 2) *np*-карта

Центральные линии при  $n = 400$ :

$$n\bar{p} = \frac{33}{15} = 2,2.$$

Границы регулирования при  $n = 400$ :

$$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}} = 2,2 \pm 4,4 = \begin{cases} 0,0166 \\ 0,0 \end{cases}$$

## Задание для самостоятельной работы студентов

### Вопросы для самостоятельной работы студентов

1. Как оценить стабильность технологического процесса производства?
2. Как определить наличие особых причин вариации?
3. Какие виды контрольных карт существуют?
4. Для чего служат двойные контрольные карты Шухарта?

### Тесты для проверки знаний

#### 1. Что не относится к целям ведения контрольных карт?

- 1) повышение производительности труда;
- 2) выявление мер по обеспечению качества процесса;
- 3) изучение возможностей процесса;
- 4) обеспечение заданного уровня дефектности продукции;
- 5) внедрение инновационных процессов.

#### 2. В каком случае следует немедленно вмешаться в процесс с целью его корректировки?

- 1) результат контроля параметра лежит между предупредительной и контрольной границами;
- 2) результат контроля параметра лежит за пределами контрольной

границы или границы регулирования;

3) результат контроля параметра лежит внутри предупредительных границ.

**3. Какие из контрольных карт относятся к картам разброса (рассеивания):**

- 1) карты;
- 2) - карты;
- 3) S - карты;
- 4) R - карты.

**4. Какие из контрольных карт не относятся к картам по качественному признаку?**

- 1) пр-карта;
- 2) р-карта;
- 3) и-карта;
- 4) с-карта;
- 5) все относятся.

**5. По соотношению строятся контрольные границы для следующих типов контрольных карт:**

- 1) карт для управления процессом по уровню настройки;
- 2) карт для управления процессом по технологическому рассеиванию;

**6. Способность производственного процесса означает:**

а) Что его параметры лежат в поле допуска, установленного потребителем

б) Что его параметры лежат в поле допуска, установленного заказчиком

в) Что его параметры лежат в поле допуска, согласованного с заказчиком и потребителем

г) Что его параметры лежат в поле допуска, значительно меньшем, чем это согласованно с заказчиком и потребителем

**7. Контрольные карты регулирования процесса по качественному признаку определяют:**

а) Способность процесса

б) Возможные моменты выхода параметров производимых изделий из поля допуска

в) Возможные моменты превышения числа бракованных изделий в партии (или на единицу продукции) над допустимым

**8. К контрольным картам регулирования процесса по количественному признаку относятся:**

а) р-карты и пр-карты

б) X-карты, X-R-карты, X-S-карты или средние значения и их разброс для сгруппированных данных (Xс-карты, Xс-R-карты, Xс-S-карты)

в) и-карты и с-карты

**9. Стабильный процесс – это:**

- 1) процесс, имеющий постоянный средний уровень;
- 2) процесс, имеющий постоянный уровень рассеивания;
- 3) процесс, каждый показатель качества которого, находится в состоянии статистической управляемости;
- 4) процесс, имеющий постоянную долю несоответствующих единиц продукции.

**10. Статистическое управление процессами – это:**

- 1) поддержка среднего уровня процесса;
- 2) обеспечение заданного уровня рассеивания;
- 3) обеспечение среднего допустимого уровня дефектности продукции;
- 4) обеспечение среднего допустимого уровня дефектности продукции с наименьшими затратами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие / А.М. Данилов, А.А. Данилов. – Пенза: ПГАСИ, 1996.
2. ГОСТ Р 50779.71-99. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества AQL [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
3. ГОСТ Р 50779.72-99. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 2. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе предельного уровня качества AQL [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
4. ГОСТ Р 50779.51-95. Статистические методы. Непрерывный приемочный контроль по альтернативному признаку [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1995.
5. ГОСТ Р 50779.41-96. Статистические методы. Контрольные карты для среднего арифметического с предупреждающими границами [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
6. ГОСТ Р 50779.40-96. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
7. ГОСТ Р 50779.11-2000. Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
8. ГОСТ Р 50.1.018-98. Обеспечение стабильности технологических процессов в системах качества по моделям стандартов ИСО серии 9000 [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1998.
9. ГОСТ Р 18242-72. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1972.
10. ГОСТ Р 50779.21-96. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
11. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – 6-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 1998.
12. Коуден, Д. Статистические методы контроля качества [Текст]: пер. с англ. / Д. Коуден; под ред. Б.Р. Левина. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1961.



Учебное издание

Логанина Валентина Ивановна  
Макарова Людмила Викторовна  
Карпова Ольга Викторовна  
Чапаев Евгений Иванович

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ

Методические указания  
по выполнению самостоятельных работ

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

Редактор            М.А. Сухова  
Верстка             Н.А. Сазонова

---

Подписано в печать 6.12.13. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 1,4. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 80 экз.  
Заказ №284.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.