УДК 69:658.562.012.7

# ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

**Петухова Н.А., Гречишкина Я.А.**

*ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, e-mail: npetukhova58@mail.ru*

На сегодняшний день главной задачей предприятий является улучшение качества производимой ими продукции для повышения ее конкурентоспособности. Оценку прочности бетона на предприятиях, производящих бетонные и железобетонные изделия, проводят статистическими методами контроля с учетом однородности бетона по прочности. В статье авторами рассматривается возможность применения контрольных карт ($\bar{X} - s$ -карты) для анализа статистической управляемости процесса тепловлажностной обработки железобетонных изделий по температуре (на примере блоков бетонных для стен подвалов на предприятии г. Пензы). Данные по температуре получены в период изотермического прогрева изделий с апреля по сентябрь. В данной работе рассматриваются выборки за три месяца (апрель, июль, сентябрь), показавшие наиболее характерные структуры точек на контрольных картах. Авторами рассчитаны контрольные границы для параметра положения и изменчивости и построены контрольные карты. Для статистически управляемого процесса авторами рассчитаны основные показатели возможности процесса. Представлены индексы, отражающие изменчивость процесса по отношению к техническим требованиям. Также авторами рассчитана однородность бетона в каждом месяце. Для определения характеристик однородности бетона по прочности был рассчитан коэффициент вариации. По работе сделаны основные выводы.

**Ключевые слова: контроль, управление качеством, контрольные карты, статистическая управляемость, коэффициент вариации, однородность бетона**

# ESTIMATION OF THE STABILITY OF THE PROCESS OF PRODUCTION OF CONSTRUCTION PRODUCTS

**Petukhova N.A., Grechishkina Ya.A.**

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: npetukhova58@mail.ru*

To date, the main task of enterprises is to improve the quality of their products to improve its competitiveness. Estimation of strength of concrete in enterprises producing concrete and reinforced concrete products is carried out by statistical methods of control, taking into account the uniformity of concrete in strength. In the article the author considers the possibility of using control charts ($\bar{X} - s$ -cards) for analyzing the statistical controllability of the process of heat and moisture treatment of reinforced concrete products by temperature (on an example of blocks concrete for walls of cellars at the enterprise of Penza). Temperature data were obtained during the isothermal heating period from April to September. In this paper we consider samples for three months (April, July, September), which showed the most characteristic structures of points on the control charts. The author calculated control limits for the position and variability parameter, and constructed control charts. For the statistically controlled process, the author has calculated the main indicators of the process capability. Indices are presented that reflect the variability of the process in relation to technical requirements. The authors also calculated the uniformity of concrete in each month. To determine the characteristics of the uniformity of concrete for strength, the coefficient of variation was calculated. On the work made major findings.

**Keywords: control, quality management, control charts, statistical controllability, coefficient of variation, uniformity of concrete**

В настоящее время одной из главных задач предприятий является улучшение качества производимой ими продукции и предоставляемых услуг для повышения конкурентоспособности как продукции (услуг), так и предприятия в целом.

Оценку прочности бетона на предприятиях, производящих бетонные (железобетонные) изделия, проводят статистическими методами контроля с учетом характеристик однородности бетона по прочности, согласно государственному стандарту.

Качество готовой продукции во многом зависит от качества технологического процесса, следовательно, по качеству процесса можно судить о качестве конечного изделия. Оценку качества технологического процесса на практике, как правило, проводят по результатам выборочного контроля параметров производимой продукции [1, 2].

Твердение бетонных и железобетонных изделий может происходить в естественных условиях при нормальной температуре и влажности, а также в условиях тепловой обработки (искусственные условия твердения). Тепловлажностная обработка способствует быстрому набору прочности бетона и является обязательным процессом при заводском изготовлении железобетонных изделий.

Полный цикл тепловлажностной обработки (ТВО) изделий подразделяется на следующие периоды:

– период предварительного выдерживания;
– период подъема температуры;
– период изотермического прогрева;
– период охлаждения.

**Таблица 1**

Данные измерения температуры при тепловлажностной обработке

| Статистика | № подгруппы | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| апрель | | | | | | | | | | |
| $\overline{X}$ | 68,8 | 69,9 | 69,3 | 69,7 | 70,1 | 70,3 | 70,3 | 71,2 | 70,2 | 69,9 |
| $s$ | 1,82 | 1,52 | 1,06 | 1,16 | 1,91 | 2,50 | 2,21 | 2,66 | 1,87 | 1,85 |
| июль | | | | | | | | | | |
| $\overline{X}$ | 79,0 | 79,2 | 79,4 | 80,8 | 80,0 | 80,8 | 80,2 | 80,3 | 80,1 | 80,6 |
| $s$ | 1,76 | 1,55 | 1,65 | 1,14 | 0,94 | 1,81 | 0,79 | 0,95 | 1,10 | 0,70 |
| сентябрь | | | | | | | | | | |
| $\overline{X}$ | 78,7 | 78,2 | 78,6 | 77,8 | 76,5 | 75,8 | 77,0 | 75,6 | 76,4 | 75,7 |
| $s$ | 2,45 | 2,57 | 3,06 | 0,92 | 2,07 | 1,03 | 1,63 | 2,07 | 0,84 | 2,00 |

Режимы ТВО изделий направлены на достижение максимального ускорения твердения бетонной смеси при минимально возможных затратах энергии и цемента и при соблюдении требований к показателям качества и долговечности изделий.

Прочность бетона после ТВО определяется качеством сырья и режимом обработки. Однако приемка бетона путем сравнения его фактической прочности с требуемой без учета характеристик однородности бетона по прочности не допускается [3].

Чтобы своевременно выявить нарушения в ходе технологического процесса, необходимо регулярно отбирать образцы, осуществлять измерение их параметров и в зависимости от результатов измерений принимать решение либо продолжать процесс производства (если отклонений не найдено), либо (если найдены отклонения) прервать его и осуществить настройку технологических параметров [1].

Контрольные карты являются одним из главных инструментов статистического управления процессами, позволяют оценить внутреннюю изменчивость процесса [4–6].

Анализ статистической управляемости процесса тепловлажностной обработки по температуре с помощью контрольных карт Шухарта по количественному признаку, для которых не заданы значения параметра, рассмотрим при производстве блоков бетонных для стен подвалов (ООО «Строительные материалы», г. Пенза). Для установления наличия в серии наблюдений отклонений, превышающих ожидаемые вариации, используем контрольную карту первого типа, где применяют контрольные границы, вычисленные на основе данных выборки. В связи с тем, что блоки формуют и проводят ТВО на открытом полигоне, необходимо изучить влияние процесса ТВО на однородность прочности бетона.

Блоки изготавливают в период с апреля по сентябрь. Для исследования статистической управляемости процесса ТВО из производственного процесса были отобраны десять выборок из каждого месяца объемом 10 шт. и вычислены выборочные средние и стандартное отклонение подгрупп (табл. 1). В данной работе рассматриваются выборки за три месяца (апрель, июль, сентябрь), показавшие наиболее характерные структуры точек на контрольных картах.

Выборочные средние $\left(\overline{X}_j\right)$ и стандартные отклонения ($s_j$) вычислены для каждой подгруппы $j$ (табл. 1).

Так как μ и σ в данном случае неизвестны, $\overline{\overline{X}}$ и $\overline{s}$ вычислены на основе полного набора данных по формулам

$$\overline{\overline{X}} = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}\overline{X}_j, \qquad (1)$$

$$\overline{s} = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}s_j, \qquad (2)$$

где $k$ – количество подгрупп.

На первом этапе определяли состояние управляемости процесса по $s$-карте. Затем на основе значений $\overline{X}$ и $s$ строили $\overline{X}$ -карту [7].

Верхние ($U_{CL}$) и нижние ($L_{CL}$) контрольные границы рассчитывали по формулам [7]:

для $s$-карты

$$U_{CL} = B_4\overline{s}, \qquad (3)$$

$$L_{CL} = B_3\overline{s}, \qquad (4)$$

где $B_4$, $B_3$ – коэффициенты для нахождения контрольных границ, в зависимости от количества наблюдений в подгруппе $n$ (при $n = 10$, $B_4 = 1{,}716$, $B_3 = 0{,}284$).

для $\overline{X}$ -карты

$$U_{CL} = \overline{\overline{X}} + A_3\overline{s}\ , \qquad (5)$$

$$L_{CL} = \overline{\overline{X}} - A_3\overline{s}\ , \qquad (6)$$

где $A_3$ – коэффициент для нахождения контрольных границ, в зависимости от количества наблюдений в подгруппе $n$ (при $n = 10$, $A_3 = 0{,}975$).

На рис. 1–3 представлены контрольные карты ($\overline{X} - s$ -карта), построенные по данным за апрель, июль и сентябрь.

Анализ контрольных карт показывает, что процесс находится в статистически управляемом состоянии, т.е. стабилен по разбросу и по средним значениям. $\overline{X}$ -карта показывает, что степень настроенности процесса во времени не изменяется и остается постоянной. Видимые колебания средних значений $\overline{X}$ процесса обусловлены влиянием только случайных причин.

Однако, изучая $\overline{X}$ -карту, построенную по данным за апрель, можно отметить, что средние значения (шесть подряд точек) закономерно возрастают, а на $\overline{X}$ -карте (за июль) семь точек лежат выше центральной линии. Это говорит о том, что степень настроенности процесса подвержена действию переменного систематического фактора. Такие же признаки, связанные с расположением характерных структур точек относительно центральной линии, показывают построенные контрольные карты за другие месяцы. Появление таких структур указывает на действие особых причин. Необходимо разработать правила регулирования процесса для предупреждения возникновения брака продукции в дальнейшем.

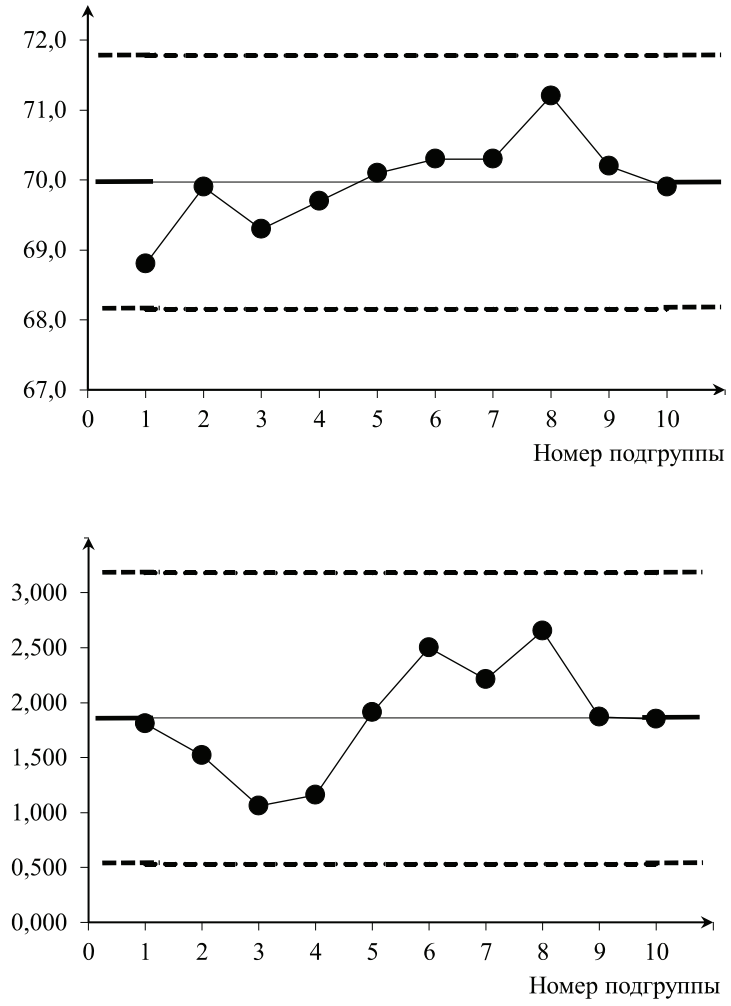


*Рис. 1. $\overline{X} - s$ -карта (апрель)*

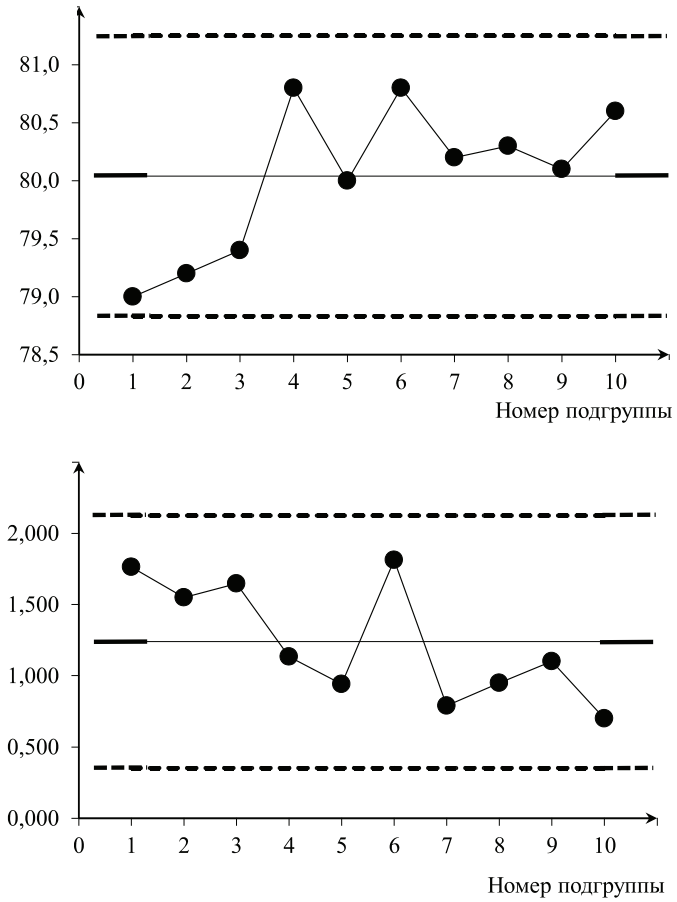


*Рис. 2.* $\bar{X} - s$ *-карта (июль)*

Процесс ТВО находится в состоянии статистической управляемости, т.е. его работа прогнозируема и его соответствие установленным требованиям может быть проверено. Так как в основе управления процессом лежит прогноз состояния этого процесса, необходимо рассчитать возможности. Воспроизводимость процесса определяется его общей изменчивостью, обусловленной только случайными причинами. Для определения воспроизводимости процесса используют индекс воспроизводимости $C_p$.

$$C_p = \frac{U - L}{\Delta}, \qquad (7)$$

где $U$ – верхняя граница поля допуска;
$L$ – нижняя граница поля допуска;
$\Delta$ – изменчивость процесса.

Изменчивость процесса определяется по формуле

$$\Delta = 6\sigma, \qquad (8)$$

где $\sigma$ – истинное стандартное отклонение совокупности.

$$\sigma = \frac{\sum s_i}{kC_4}, \qquad (9)$$

где $s_i$ – стандартное отклонение $i$-й подгруппы;
$k$ – количество подгрупп объема $n$;
$C_4$ – коэффициент, взят из таблицы для $n = 10$.

В табл. 2 представлен отчет о воспроизводимости процесса тепловлажностной обработки блоков бетонных для стен подвалов.

Поскольку $C_p < 1$, процесс является не воспроизводимым. Это означает, что изменчивость технологической системы не способствует выпуску бетонных блоков без брака. Поэтому перед тем, как приступить к следующей стадии, т.е. к переводу процесса на статистическое регулирование, целесообразно узнать, что будет дешевле: или величина издержек от брака продукции, или стоимость доводки технологической системы до необходимой степени точности.

Для определения характеристик однородности бетона по прочности, был рассчитан коэффициент вариации [3].

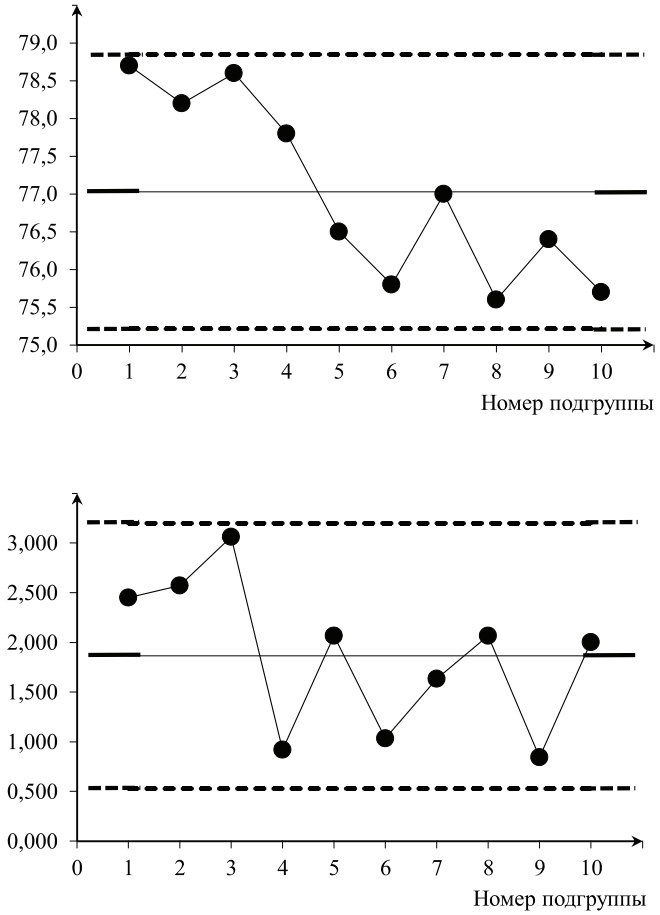


*Рис. 3.* $\bar{X} - s$ *-карта (сентябрь)*

**Таблица 2**

Отчет об индексах воспроизводимости процесса

| | апрель | июль | сентябрь |
|---|---|---|---|
| Индекс воспроизводимости процесса | $C_p = 0{,}524$ | $C_p = 0{,}785$ | $C_p = 0{,}521$ |
| Метод вычисления* | $M_{3.3}$ | | |
| Количество значений, используемых для вычисления | 100 | 100 | 100 |

Примечание. * – метод вычисления соответствует ГОСТ Р ИСО 22514-2-2015

Средний внутрисерийный коэффициент вариации прочности бетона $\bar{V}$, %, определяли по результатам испытания последовательных 10 серий образцов бетона. Для этого определяли размах $W_i$ и прочность бетона $R_i$ в каждой серии, а также средний размах $\bar{W}$, МПа, и среднюю прочность $\bar{R}_i$, МПа, по всем 10 сериям по формулам [3]:

$$W_i = R_{i,\max} - R_{i,\min}, \qquad (10)$$

где $R_{i,\max}$ и $R_{i,\min}$ – максимальное и минимальное значение прочности бетона в каждой серии образцов, МПа

$$\bar{V} = \frac{\bar{W}}{d\bar{R}_i}, \qquad (11)$$

где $d$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от числа образцов $n$ в каждой серии (для $n = 4$, $d = 2{,}06$).

Коэффициент вариации прочности бетона показал, что в первый месяц начала производства блоков коэффициент вариации приближается к 8%. Так, в апреле коэффициент вариации составил – 7,8%, в мае – 6,0%. В летние месяцы производства коэффициент вариации прочности бе-

тона показывает хорошие результаты и находится в пределах от 4 до 6%. С началом осени в сентябре этот показатель опять повышается и составляет 7,3%.

Коэффициент однородности подтверждает, что на процесс производства блоков для стен подвалов воздействуют особые дестабилизирующие факторы, которые можно разделить на внутренние, свойственные самому процессу, и внешние, обусловленные средой, в которой эти процессы функционируют. Эти факторы должны быть обнаружены, чтобы в дальнейшем их скомпенсировать.

**Список литературы**

1. Петухова Н.А., Садовникова М.А., Новиченкова Н.А. Управление качеством продукции при производстве ружья для подводной охоты // Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 5. URL: https://naukovedenie.ru/PDF/71TVN517.pdf (дата обращения: 30.03.2018).

2. Гречишкина Я.А. Определение уровня качества строительной продукции / Я.А. Гречишкина, Н.А. Петухова // Аллея Науки. – № 16. – 2017. URL: Alley-science.ru (дата обращения: 30.03.2018).

3. ГОСТ 10180-2012. Межгосударственный стандарт. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 30 с.

4. Васильев Ю.Э. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей / Ю.Э. Васильев, В.Г. Полянский, Е.Р. Соколова, Р.Б. Гарибов, А.В. Кочетков, Л.В. Янковский // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4.; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6606 (дата обращения: 10.04.2018).

5. Жегера К.В. Оценка конкурентоспособности строительного предприятия и продукции / К.В. Жегера, Н.Р. Кулиев // Концепт. – 2017. – Т. 39. – С. 821–825. URL: http://e-koncept.ru/2017/970491.htm (дата обращения: 10.04.2018).

6. Лукин В.Н. Оценка стабильности циклических процессов с использованием контрольных карт Шухарта / В.Н. Лукин, В.В. Ященко // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2013. – № 5. – С. 116–122.

7. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2016. – 42 с.