

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Тарасов Д.В.<sup>1</sup>, Тарасов Р.В.<sup>2</sup>, Макарова Л.В.<sup>2</sup>, Слепова И.Э.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026, Пенза, ул. Красная, 40)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: [mak.78\\_08@inbox.ru](mailto:mak.78_08@inbox.ru)

---

Предложена методика оценки точности и стабильности технологических процессов, основанная на проверке однородности двух независимых выборок (извлеченных из одной и той же генеральной совокупности), а именно сравнении их функций распределения. При реализации данного метода одна выборка принимается в качестве базовой, когда качество выпускаемой продукции соответствует требованиям нормативной и технической документации, а вторая выборка является исследуемой и необходима для последующего анализа качества процесса по какому-либо показателю. В качестве критерия, позволяющего проверить однородность двух независимых выборок, предлагается использовать критерий Вилкоксона. В рассматриваемом примере проведен анализ стабильности процесса производства бетона путем сравнения двух различных выборок, полученных в результате сбора и анализа статистической информации о качестве продукции. Предлагаемый метод позволяет получить достоверную информацию о качестве продукции и стабильности технологического процесса без использования контрольных карт и гистограмм.

---

Ключевые слова: контроль качества, строительная продукция, методы математической статистики

## IMPROVING QUALITY CONTROL CONSTRUCTION PRODUCTS

Tarasov D.V.<sup>1</sup>, Tarasov R.V.<sup>2</sup>, Makarova L.V.<sup>2</sup>, Slepova I.E.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Penza State University, Penza, Russia (440026, Penza, street Krasnova, 40)

<sup>2</sup>Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia, (440028, Penza, street Germana Titova, 28), e-mail: [mak.78\\_08@inbox.ru](mailto:mak.78_08@inbox.ru)

---

The method of estimation accuracy and stability of technological processes, based on the homogeneity of two independent samples (taken from the same general population), namely to compare their distribution functions. When implementing this method, one sample is taken as a base when the quality of products meets the requirements of normative and technical documentation, and the second sample is studied and the need for further analysis of the quality of the process by any indicator. As a criterion for verifying the homogeneity of two independent samples, it is proposed to use the Wilcoxon test. In this example, the analysis of the stability of the concrete production process by comparing two different samples, obtained by statistical collection and analysis of information about the product quality. The proposed method makes it possible to obtain reliable information about product quality and stability of the process, without the use of control charts and histograms.

---

Keywords: quality control, construction products, the methods of mathematical statistics

В современных условиях конкурентной борьбы производитель должен обеспечивать высокое качество продукции при доступной цене. Достижение этих целей невозможно без создания оптимальных производственных условий, направленных на совершенствование технологических процессов и системы контроля на предприятии [3]. Система контроля на предприятиях строительной индустрии, как правило, включает в себя три составляющие: входной контроль, операционный контроль и приемочный контроль. Совершенствование данных методов контроля позволяет значительно сократить издержки производства при постоянном повышении качества продукции [2,4]. Особый интерес в данных условиях вызыва-

ет анализ точности и стабильности технологических процессов, который сегодня не мыслим без использования статистических методов.

Статистические методы хорошо зарекомендовали себя как инструменты качества и применяются в случаях, когда по результатам ограниченного числа наблюдений требуется установить причины улучшения или ухудшения точности и стабильности технологических процессов или работы технологического оборудования. Под точностью технологического процесса понимают свойство технологического процесса, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров производимой продукции. Под стабильностью технологического процесса понимают свойство технологического процесса, обуславливающее постоянство распределений вероятностей для его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне [5]. В свою очередь обеспечение стабильности и точности производственного процесса оказывает влияние на качество готовой продукции [4].

Системы управления предприятием или процессами в области качества требуют применения статистических методов:

- методов анализа оценки качества продукции;
- методов регулирования технологических процессов;
- методов приемочного контроля качества и т.д.

Применение данных методов позволяет:

- выявлять случайные и систематические показатели, способные привести к появлению дефектов;
- проверять соблюдения требований ГОСТов, СНИПов и нормативных документов;
- выявлять потенциальные резервы производства;
- определить технические нормы и допуски выпускаемой продукции;
- правильно осуществить выбор технологического оборудования и план проведения испытаний.

Существует несколько «классических» задач.

1. *Выявить соответствие показателей качества выпускаемой продукции и эталонного изделия.* Данная задача сводится к анализу математических ожиданий, и заключается в проверке нулевой гипотезы:  $H_0 : M(X) = a$ , где  $X$  – случайная величина, значения которой определяют результат испытаний (наблюдения);  
 $a$  – значение эталонного изделия.

2. Выявить отличие рассеивания показателя качества выпускаемой продукции от эталонного изделия. Данная задача сводится к сравнению дисперсий и заключается в проверке нулевой гипотезы:  $H_0 : D(X) = \sigma^2$ .

В данной работе для анализа стабильности технологического процесса предлагается проверить однородность двух независимых выборок, а именно осуществить сравнение их функций распределения и проверку нулевой гипотезы:  $H_0 : F_1(x) = F_2(y)$ .

### Постановка задачи

В заводских лабораториях, отделах качества предприятий, как правило, для оценки стабильности технологического процесса прибегают к построению гистограмм для исследуемой случайной величины, составлению контрольных карт за отчетный период (например, неделя или месяц) и последующему их анализу.

Предлагаемая методика может быть сведена к проверке однородности двух независимых выборок (извлеченных из одной и той же генеральной совокупности), а именно к сравнению их функций распределения.

Одну выборку в данном случае можно считать базовой, когда качество выпускаемой продукции соответствовало всем техническим и нормативным требованиям (причем числовые характеристики данной выборки могут быть определены), а вторая выборка является исследуемой и призвана выявить улучшение (ухудшение, стабильность) технологического процесса по некоторому показателю.

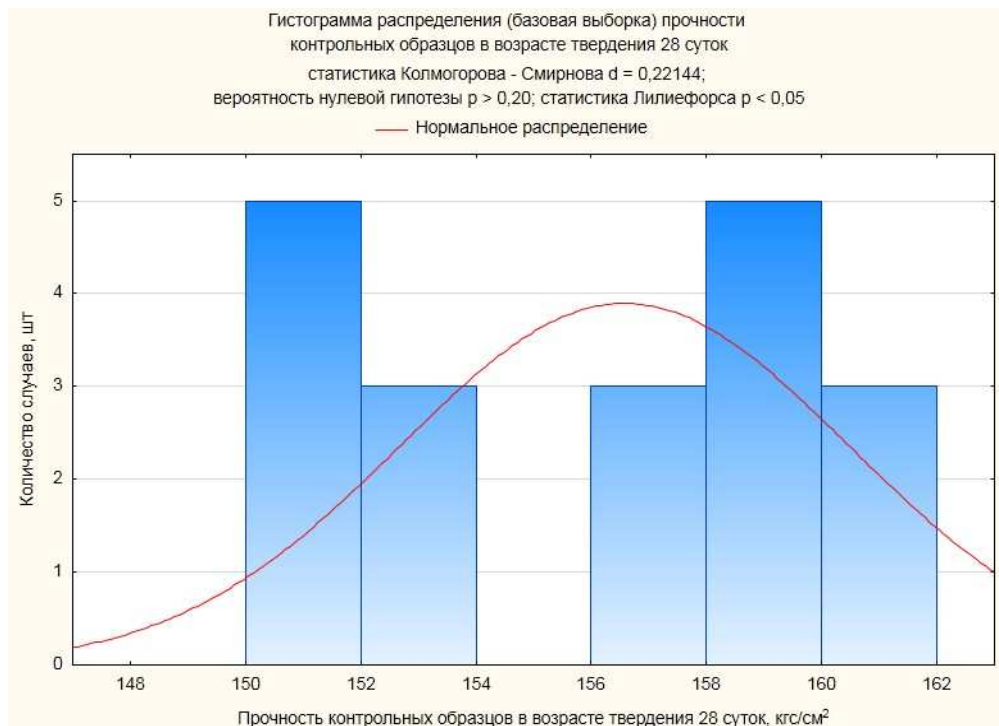
Рассмотрим пример реализации предлагаемой методики по оценке стабильности технологического процесса производства бетона М150. Анализ проводился на основе данных прочности при сжатии ( $R_{сж}$ , кгс / см<sup>2</sup>) контрольных образцов в возрасте твердения 28 суток (таблица).

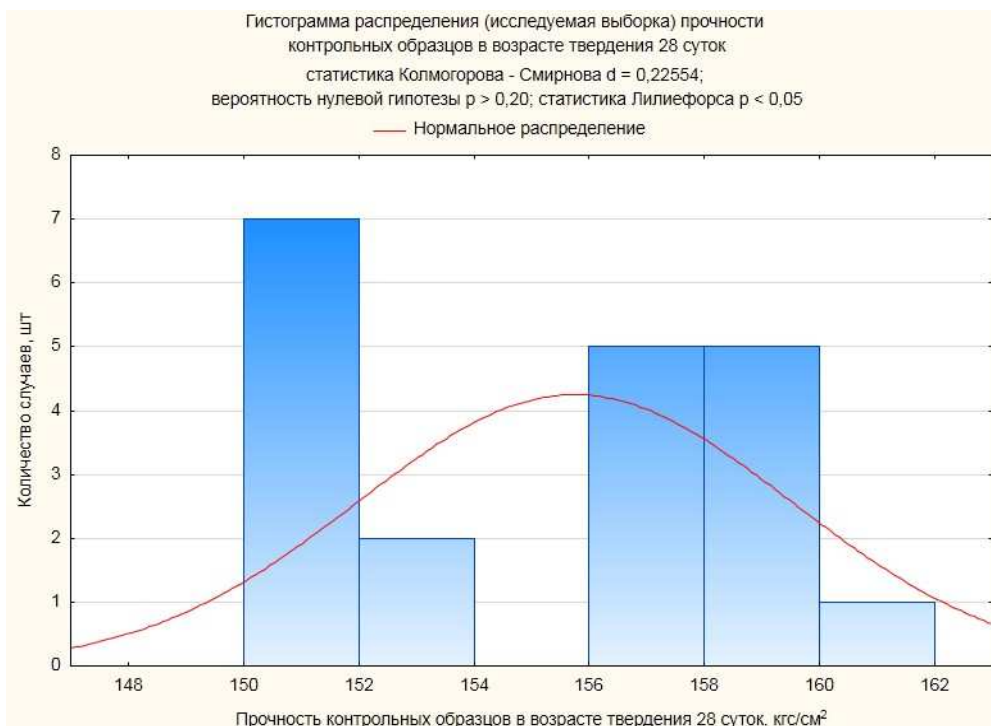
Независимые выборки из общей генеральной совокупности

Порядковый номер	Базовая выборка (случайная величина $X$ )	Исследуемая выборка (случайная величина $Y$ )
1	151	160
2	161	152
3	160	152
4	158	161
5	154	158
6	151	159
7	160	158

8	151	160
9	158	153
10	152	160
11	161	151
12	152	157
13	158	158
14	160	154
15	160	151
16	154	159
17	154	151
18	159	152
19	161	158
20		151
Объем выборки	$n_1 = 19$	$n_2 = 20$

В среде Statistica 10 для наглядности результатов испытаний были построены гистограммы распределений базовой и исследуемой выборок с наложенными на них плотностями нормального распределения и получены значения статистик (чем меньше величины статистики Колмогорова–Смирнова, тем ближе распределение случайной величины к нормальному).





Гистограммы распределений базовой и исследуемой выборки

В качестве критерия для проверки однородности двух независимых выборок  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_m$  воспользуемся критерием Вилкоксона, несомненным достоинством которого является возможность применения к случайным величинам с неизвестным законом распределения (обязательно лишь требование непрерывности случайных величин).

Данный критерий при заданном уровне значимости  $\alpha = 2Q$  состоит в проверке нулевой гипотезы  $H_0 : F_1(x) = F_2(x)$  об однородности двух независимых выборок объемов  $n_1$  и  $n_2$  ( $n_1 \leq n_2$ ) при конкурирующей гипотезе  $H_1 : F_1(x) \neq F_2(x)$ . Ход проверки нулевой гипотезы несколько изменяется в зависимости от объема выборки и условно делится на два случая [1, с. 343–346]:

- 1) объем обеих выборок не превосходит 25;
- 2) объем хотя бы одной из выборок превосходит 25.

В рассматриваемом примере объем обеих выборок не превосходит 25.

### Проверка критерия Вилкоксона

На *первом этапе* проверки критерия необходимо расположить варианты обеих выборок (таблица) в возрастающем порядке, т.е. в виде одного вариационного ряда:

**151, 151, 151**, 151, 151, 151, 151, **152, 152**, 152, 152, 152, 153,  
**154, 154, 154**, 154, 157, **158, 158, 158**, 158, 158, 158, 158, **159**, 159,  
 159, **160, 160, 160, 160**, 160, 160, 160, **161, 161, 161**, 161  
 (здесь жирным выделены варианты первой выборки),

и найти в этом ряду наблюдаемое значение критерия  $W_{\text{набл}}$  – сумму порядковых номеров вариант первой выборки:

$$W_{\text{набл}} = 1 + 2 + 3 + 8 + 9 + 14 + 15 + 16 + 19 + 20 + \\ + 21 + 26 + 29 + 30 + 31 + 32 + 36 + 37 + 38 = 387,$$

*Вторым этапом* является определение верхней и нижней критических точек при заданном уровне значимости  $\alpha$  (например,  $\alpha = 0,05$ ):

1) нижняя критическая точка  $w_{\text{нижн.кр}}(Q; n; m)$  находится по таблицам критических точек критерия Вилкоксона [1, с. 471]:

$$Q = \alpha / 2 = 0,05 / 2 = 0,025,$$

$$w_{\text{нижн.кр}}(Q; n_1; n_2) = w_{\text{нижн.кр}}(0,025; 19; 20) = 309;$$

2) верхняя критическая точка  $w_{\text{верх.кр}}$  определяется по формуле:

$$w_{\text{верх.кр}} = (n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - w_{\text{нижн.кр}} = (19 + 20 + 1) \cdot 19 - 309 = 451.$$

Если  $W_{\text{набл}} < w_{\text{нижн.кр}}$  или  $W_{\text{набл}} > w_{\text{верх.кр}}$  – нулевую гипотезу отвергают. Если  $w_{\text{нижн.кр}} < W_{\text{набл}} < w_{\text{верх.кр}}$  – нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу.

Из проведенных выше вычислений видно, что

$$w_{\text{нижн.кр}} = 309 < W_{\text{набл}} = 387 < w_{\text{верх.кр}} = 451,$$

и нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу.

Следовательно, эталонная и исследуемая выборки имеют одинаковые функции распределения, и технологический процесс производства бетона М150 стабилен.

### **Выводы**

Предлагаемая методика не требует построения гистограмм и контрольных карт и дает возможность быстро провести анализ точности и стабильности технологических процессов при обеспечении высокой достоверности результатов. Однако следует учитывать тот факт, что если по результатам анализа процесс окажется нестабильным, то требуется исследуемую выборку изучать более детально с целью выявления причин нестабильности процесса и ухудшения качества продукции.

### **Список литературы**

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Изд. 11-е – М. : Высш. шк., 2005. – 479 с.

2. Козицына А.В. Инструменты качества как эффективный способ повышения уровня качества продукции [Текст] / А.В. Козицына, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов // Современные научные исследования и инновации. – Апрель 2014. — № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33360> (дата обращения: 09.04.2014).
3. Логанина В.И. Разработка системы менеджмента качества на предприятиях [Текст]: учебное пособие / В.И. Логанина, О.В. Карпова, Р.В. Тарасов. — М: КДУ, 2008. —148 с.
4. Макарова Л.В. Методический подход к обеспечению стабильности и качества технологических процессов [Текст] / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, Д.В. Тарасов, О.Ф. Петрина // Научно-теоретический журнал Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — № 1. — 2015. — С. 120–124.
5. Орлов А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с. – URL: <http://www.aup.ru/books/m155/>

**Рецензенты:**

Логанина В.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Управление качеством и ТСП», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза;  
Данилов А.М., д.т.н., профессор кафедры математики и математического моделирования, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.