



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов и  
строительной керамики»

**Методические указания**  
для выполнения практической работы  
по теме

**«Внедрение статистического  
регулирования  
технологического процесса по  
количественному признаку.  
Построение контрольных  
карт»  
Часть I**

Автор  
Серебряная И.А.

Ростов-на-Дону, 2017



## Аннотация

Методические указания к практической работе по теме: «Внедрение статистического регулирования технологического процесса по количественному признаку. Часть I» содержат методики по предварительному статистическому исследованию состояния технологического процесса с целью перевода его на статистическое регулирование. Предназначены для обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 27.04.02 «Управление качеством», 08.04.01 «Строительство».

## Автор

К.Т.Н., доцент  
кафедры «ТВВБиСК»  
Серебряная И.А.





## Оглавление

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>2.       СТАТИСТИЧЕСКИЙ       АНАЛИЗ       ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА .....</b>	<b>11</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>19</b>

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Задача статистического регулирования технологического процесса состоит в том, чтобы на основании результатов периодического контроля выборок малого объема приходиться к заключению: «процесс налажен» или «процесс разлажен».

Выявление разладки технологического процесса основано на результатах периодического контроля малых выборок, осуществляемого по количественному или альтернативным признакам. Для каждого из этих способов контроля используют свои статистические методы регулирования.

*Контроль по количественному признаку* заключается в определении с требуемой точностью фактических значений контролируемого параметра у единиц продукции или выборки. Фактические значения контролируемого параметра необходимы для последующего вычисления статистических характеристик, по которым принимается решение о состоянии технологического процесса.

При *контроле по альтернативному признаку* не требуется знать фактическое значение контролируемого параметра – достаточно установить факт соответствия или несоответствия его установленным требованиям.

В данных МУ рассматриваются методы контроля по количественному признаку.

1.2 Внедрение статистического регулирования технологического процесса осуществляется в три этапа:

*1-й этап* – Предварительное исследование состояния технологического процесса.

*2-й этап* – Построение контрольной карты и выбор плана контроля.

*3-й этап* – Статистическое регулирование технологического процесса.

В данных методических указаниях предложены методы проведения 1-го этапа, заключающегося в предварительном исследовании состояния технологического процесса.

## 2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

2.1 Согласно ГОСТ 15895-77 (СТ СЭВ 547-77, СТ СЭВ 3404-81) [1] под статистическим анализом точности технологического процесса понимается оценивание статистическими методами значений показателей точности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени.

2.2 *Точность технологического процесса* – это его свойство, обуславливающее близость действительных и номинальных значений параметров производимой продукции. Чем ближе действительные параметры продукции к их номинальным значениям, тем выше точность технологического процесса.

Точность технологического процесса взаимосвязана со *стабильностью технологического процесса*. Это свойство, обуславливающее постоянство распределения вероятностей параметров процесса в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне, т.е. без дополнительных настроек и регулировок.

Установлено, что ни один технологический процесс не может быть абсолютно стабилен. С течением времени на него наряду со случайными погрешностями процесса изготовления продукции (вариация химического состава продукции, вибрация обрабатываемого оборудования, смена поставщика, ошибки обслуживающего персонала и проч.) начинают действовать и систематические погрешности (неправильная настройка технологического оборудования, затупление режущего инструмента, изменение температурно-влажностных параметров окружающей среды и т.д.).

2.3 Для определения точности и стабильности технологического процесса (ТСТП) или отдельных его операций образуют выборки. Правила отбора единиц продукции в выборку при различных способах представления продукции на контроль установлены ГОСТ 18321-73 (СТ СЭВ 1934-79) [2].

2.4 Согласно [3], ТСТП определяют следующими количественными характеристиками:

- $K_n$  – показатель уровня настройки;
- $K_{ц}$  – показатель смещения центра рассеивания;
- $K_{мс}$  – показатель межнастроечной стабильности.
- $K_n, K_{ц}, K_{мс}$  – характеризуют величины случайных и систематических погрешностей производства продукции безотносительно к фактору времени.
- $K_p$  – показатель рассеивания (коэффициент точности);

- $K_c$  – показатель стабильности рассеивания.
- $K_p, K_c$  – характеризуют технологический процесс с учетом фактора времени.

2.5 Показатель  $K_n$  – рассчитывают по первой мгновенной выборке после настройки технологического процесса (или отдельной его операции):

$$K_n = (X_n - X_0)/\delta, \quad (1)$$

где  $X_n$  – заданный центр настройки (середина поля допуска);  
 $X_0$  – среднее арифметическое первой мгновенной выборки;  
 $\delta$  – поле допуска, определяемое по формуле:

$$\delta = T_v - T_n, \quad (2)$$

где  $T_v, T_n$  – соответственно, наибольшее и наименьшее допустимые значение контролируемого параметра.

Показатель  $K_n$  характеризует точность настройки оборудования в начальный после настройки период хода технологического процесса. При  $K_n$  близком к нулю настройка считается точной.

2.6 Показатель  $K_{ц}$  рассчитывают по мгновенной выборке перед новой настройкой:

$$K_{ц} = (X_n - X_0)/\delta, \quad (3)$$

где  $X_n$  – среднее арифметическое значение последней мгновенной выборки до новой настройки.

Показатель  $K_{ц}$  характеризует относительную величину систематической погрешности. При значениях показателя со знаком (-) центр смещается к нижним границам допуска, со знаком (+) – к верхним границам. Чем ближе  $K_{ц}$  к нулю, тем точнее технологический процесс.

Следует помнить, что при смещении центра настройки в сторону верхней или нижней границы поля допуска для параметров, имеющих двухстороннее ограничение (например, размер детали), показатель рассеивания характеризует не фактическую степень соответствия изучаемого признака качества заданным технологическим требованиям, а только вероятность достижения этой степени соответствия после правильной настройки технологического процесса.

2.7 Показатель  $K_{мс}$ :

$$K_{MC} = S_n/S_1, \quad (4)$$

где  $S_n$  и  $S_1$  - оценки средних квадратических отклонений соответственно в последней и первой выборках.

Показатель  $K_{MC}$  характеризует изменение рассеивания значений контролируемого параметра за промежуточный период. Чем ближе  $K_{MC}$  к 1, тем устойчивее технологический процесс.

2.8 Показатель  $K_p$ :

$$K_p = \omega/\delta, \quad (5)$$

где  $\omega$  – поле рассеивания контролируемого параметра соответствующей выборки, которое может быть вычислено по формуле:

$$\omega = LS, \quad (6)$$

где  $L$  – коэффициент, зависящий от закона распределения значений параметров. Для нормального закона, если используется правило "3-х  $\sigma$ -м",  $L = 6$  [4];

$S$  – среднее квадратическое отклонение значений параметров в выборке.

При распределении, подчиняющемся нормальному закону:

$$K_p = 6S/\delta, \quad (7)$$

Чем меньше значение  $K_p$ , тем точнее технологический процесс. Согласно [5], если:

$K_p \leq 0,75$  – технологический процесс удовлетворительный, но чрезмерно точный, что связано с экономически неоправданными затратами на настройку процесса;

$K_p = 0,76-0,98$  – процесс точный, но требует внимательного наблюдения;

$K_p > 0,98$  – процесс неудовлетворительный, необходимо увеличить точность процесса или расширить поле допуска. (Рис. 1)

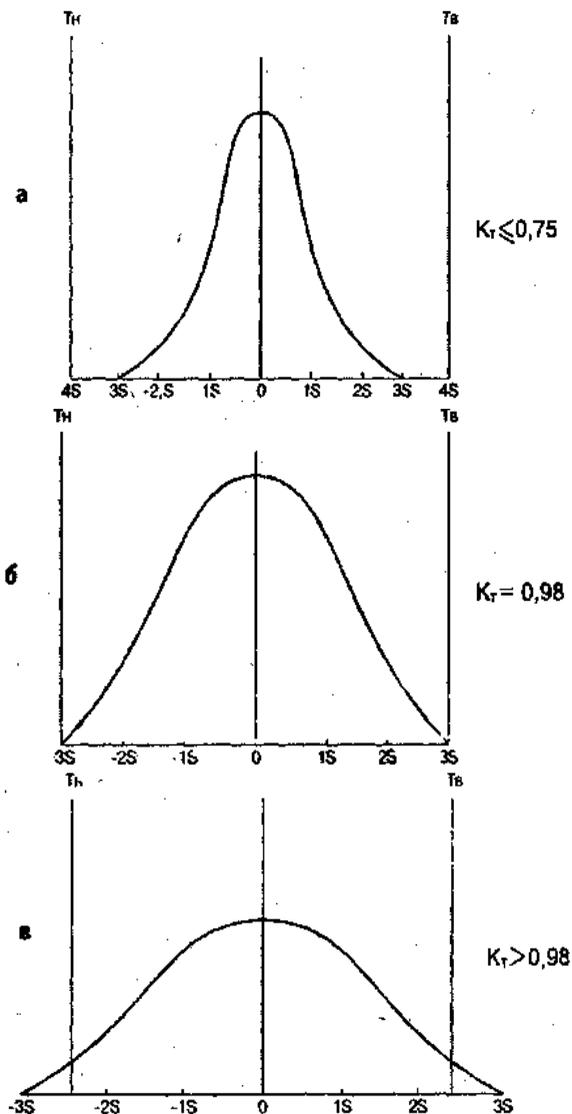


Рисунок 1 Коэффициент точности технологических процессов:

- а – точность стабильна, поскольку имеется запас точности;
- б – точность стабильна, но целиком заполнено поле допуска. Имеется опасение, что появятся дефектные изделия.
- в – по обе стороны допуска появляются дефектные изделия. Процесс нестабилен. Необходима его корректировка.

2.9 Показатель  $K_c$  рассчитывают по выборкам, взятым в разные периоды времени  $t$ :

$$K_c = K_p(t_2) / (K_p(t_1)), \quad (8)$$

где  $K_p(t_2)$  – показатель рассеивания, рассчитанный для периода  $t_2$ ;

$K_p(t_1)$  – тоже для периода  $t_1$ .

Он характеризует изменение рассеивания с течением времени. Если  $K_c$  близок к 1, то процесс стабилен.

2.10 Кроме рассмотренных показателей точность технологического процесса может быть охарактеризована показателями точности выполнения заданной функции или заданного состояния (выборочное среднее, выборочное среднеквадратическое отклонение, размах или коэффициент вариации). К наиболее распространенным методам статистического анализа точности технологического процесса можно отнести так же: сравнение средних и дисперсий, оценка коэффициента корреляции, регрессионный анализ, дисперсионный анализ.

2.11 *Метод сравнения средних* применяют в случаях, когда необходимо установить соответствие изготовленного изделия эталонному образцу или когда надо определить, например, влияние станка на размер обрабатываемого изделия сравнением нескольких изделий, обработанных на различных станках. А также других подобных случаях, когда требуется сравнить значения одноименных показателей качества у двух или более групп изделий.

Этот метод позволяет обнаружить наличие систематических ошибок, приводящих к смещению во времени центра рассеивания, и оценить достоверность показателя  $K_c$ .

*Метод сравнения дисперсий* применяют, когда требуется оценить изменчивость показателей качества (их рассеивание) в зависимости от способа обработки, от оборудования или от других факторов.

Этот метод позволяет обнаружить наличие систематических погрешностей, приводящих к изменению во времени среднего квадратического отклонения оценить достоверность  $K_c$ .

*Коэффициент корреляции* оценивают в случаях, когда надо проверить степень зависимости одного показателя качества от другого или в других подобных случаях.

*Регрессионный анализ* используется, когда требуется оценить показатель качества по результатам наблюдений над другими

показателями. Обычно предполагается, что из предшествующих опытов или по накопленным статистическим данным известны соответствующие коэффициенты корреляции или регрессии (линейной, квадратичной). Его применяют так же в случае, когда по результатам наблюдений над показателем качества или другими показателями требуется оценить вид зависимости (линейная или нелинейная регрессии).

*Дисперсионный анализ*, когда требуется оценить влияние тех или иных факторов на исследуемый показатель качества.

### 3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

3.1 На стадии предварительного анализа состояния технологического процесса необходимо оценить параметры  $\mu$  (математическое ожидание) и  $\sigma$  (среднее квадратическое отклонение). Для этого надо отобрать на контроль определенное количество единиц продукции. Чем большее число единиц продукции будет проконтролировано, тем более точной будет оценка параметров. Продукцию на контроль следует отбирать при нормальном ходе производства, т.е. при надлежащем качестве сырья и при отлаженном оборудовании.

3.2 Для строительных материалов, *не имеющих ГОСТ на статистический контроль качества*, контроль проводят по выборке объемом не менее  $N=100$  единиц продукции (после наладки оборудования). При этом целесообразно отбирать единицу продукции не подряд, а, например, каждую вторую, пятую, десятую, и т.п. Т.е. так, чтобы охватить, возможно, больший интервал работы оборудования, что позволит более правильно оценить состояние технологического процесса.

3.3 У отобранных единиц продукции контролируют заданный параметр  $X$ . Если таких параметров несколько, то отбирают наиболее важные из них и затем всю процедуру исследования проводят отдельно по каждому из этих параметров.

3.4 Результаты контроля заносят в специальную форму 1. Отмечают их сериями по  $n$  единиц, где  $n$  – объем серии, установленный для статистического регулирования исследуемого технологического процесса (по временному признаку). Объем серии устанавливают в количестве не менее 3-х и не более 10 единиц продукции. Результаты контроля, представляющие собой фактические значения контролируемого параметра  $X$ , являются необходимой исходной информацией.

Объем этой информации определяется значением  $N$ :

$$N = nk, \quad (9)$$

где  $k$  – количество серий одинакового объема.

3.5 По результатам контроля каждой выборки вычисляют статистические характеристики:  $\bar{X}$ ,  $S^2$ ,  $S$ ,  $V$ , являющиеся соответственно оценками параметров генеральной совокупности  $\mu$ ,  $\sigma^2$ ,  $\sigma$  и  $v$ .

3.6 Оценка  $\mu$  – выборочная средняя  $\bar{X}$ , представляет среднее арифметическое N значений  $X_i$ :

$$\bar{X} = 1/k \sum_{i=1}^k \bar{X}_i, \text{ где } \bar{X}_i = 1/n \sum_{i=1}^n X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

3.7 Оценка генерального среднего квадратического отклонения  $\sigma$  – выборочное среднее квадратическое отклонение S, может быть вычислено по формулам (11) или (12):

- *Первый метод* более точен.

$$S = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X})^2}, \quad (11)$$

где k – объем выборки;

$\bar{X}_i$  – среднее арифметическое серии;

$\bar{X}$  – среднее арифметическое выборки.

- *Второй метод* менее точен, но прост для вычислений.

$$S = \frac{\bar{R}}{d_2}, \text{ где } \bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (12)$$

где  $R_i$  – размах в серии:  $R_i = X_{i \max} - X_{i \min}$ ;

d – поправочный коэффициент на количество значений в серии.

Коэффициент d	Объем серии, n								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1,13	1,69	2,06	2,33	2,83	2,7	2,85	2,97	3,08

3.8 Оценка генерального  $v$  – это коэффициент вариации V всей выборки. Его вычисляют с целью сравнения с известными значениями  $v$  в данной области строительных материалов. Если же такие данные отсутствуют, то рассчитанный по выборке V сравнивают сV, рассчитанными ранее для данного производства.

$$V = \frac{S}{X} \quad (13)$$

3.9 Кроме п. 3.8 о точности процесса можно судить также по величине, рассчитанной по формуле (7).

Если рассчитанные значения коэффициент  $K_p$  не совпадают с нормативом, т.е.  $> 0,98$  [4], то данный технологический процесс по точности признается не удовлетворительным. Тогда следует попытаться каким – то образом улучшить его, а затем вновь определить  $K_p$ .

3.10 *Статистический контроль прочности бетона* производится в соответствии с ГОСТ 18105-86.

Согласно ГОСТ 18105 на действующих заводах необходимо провести предварительную стат. обработку и анализ имеющихся результатов определения прочности бетона для продукции массового выпуска, при которой можно набрать не менее 15-20 результатов испытаний в течении одного календарного месяца. Для этого:

- из лабораторных журналов результаты испытания контрольных образцов разделяют по отдельным технологическим линиям и условным партиям;
- для каждой группы результатов рассчитывают статистические характеристики (средние прочности и коэффициент вариации);
- для каждой технологической линии на заводах сборного ЖБ производится отдельная выписка результатов контроля передаточной и отпускной прочности, а также прочности бетона в проектном возрасте;
- на бетонных заводах выписываются результаты контроля прочности в проектном возрасте отдельно по секциям и маркам бетона.

*Производство каждой технологической линии (секции)* разбивают на условные партии бетона, для которых вычисляют стат. характеристики. Объем условных партий назначают в зависимости от существовавших на предприятии норм отбора проб так, чтобы прочность каждой условной партии характеризовалась результатами испытания не менее двух серий контрольных образцов одного возраста:

- а) на заводах сборного ЖБ условная партия – сменная, двухсменная или суточная продукция технологической линии;

б) на заводах товарного бетона условная партия – продукция бетоносмесительной секции не менее чем за неделю.

Вычисление  $\bar{X}$  и  $\bar{S}$  производят по формулам (10), (11).

Расчет межпартионного коэффициента вариации  $V$ , являющегося оценкой генерального  $v$  следует проводить по формуле:

$$V_{\setminus} = \frac{\sum_{i=1}^k V_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (14)$$

где  $V_i$  — коэффициенты вариации прочности бетона в каждой  $i$ -й из  $k$  проконтролированных в течение анализируемого периода партий;

$n_i$  — число единичных значений показателя в каждой  $i$ -й из  $k$  партий;

$\sum_{i=1}^n n_i$  — общее число единичных значений показателя за анализируемый период.

Среднестатистический коэффициент вариации для предприятий сборного ЖБ, КПД и товарного бетона принят 13,5%.

3.11 Если в результате статистической проверки данный технологический процесс по точности признается неудовлетворительным, то следует ввести необходимые коррективы. После чего все расчеты повторяют заново для подтверждения установления стабильности процесса.

Если принято решение перевести данный техпроцесс на статистическое регулирование, не улучшая его, то необходимо учитывать среднюю долю дефектной продукции, рассчитываемую по формуле (15).

3.12 Вероятная доля дефектной продукции  $P$ .

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{T_{\text{в}} - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{T_{\text{н}} - \mu}{\sigma}\right), \quad (15)$$

где  $T_{\text{в}}$ ,  $T_{\text{н}}$  – верхняя и нижняя границы поля допуска;

$\mu$  – среднее значение контролируемого параметра  $X$ ;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра;

$\Phi(X)$  – функция нормального распределения (приложение 1 [5]).

Доля дефектной продукции будет тем больше, чем больше будет  $\sigma$  (рис. 2) и чем больше будет отклонение  $\mu$  от  $\mu_0$  (среднее значение контролируемого параметра при налаженном состоянии технологического процесса или середина поля допуска) рис. 3 . И наоборот, доля дефектной продукции будет тем меньше, чем шире поле допуска.

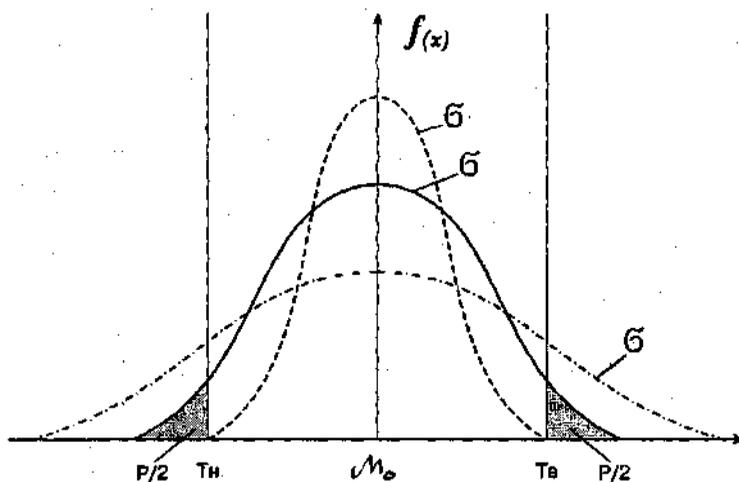


Рисунок 2 Кривая плотности нормального распределения  $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ .

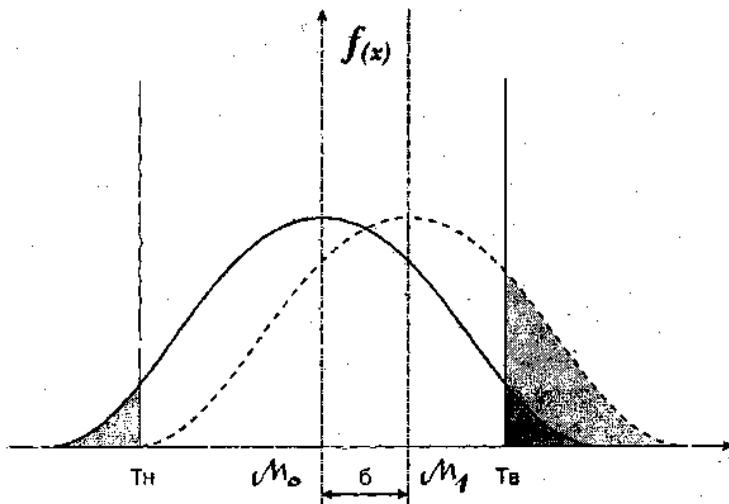


Рисунок 3 Изменение доли дефектной продукции при разладке процесса



Форма 1

Предприятие "****"		Статистическая обработка результатов анализа технологического процесса (контроль по количественному признаку)						
Цех "****"		Оборудование – ***	Контролируемая операция – ***			Контролируемый параметр – *** ВГ *** НГ ***		
Объем контроля N=100		Объем серии n=5	Средство контроля – ***			Точность контроля – ***		
Дата (время)	№ серии	Результаты контроля – (указать контролируемый параметр)					$\bar{X}_i$	$R_i$
		1			4	5		
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
	7							
	8							
	9							
	10							
	11							
	12							
	13							
	14							
	15							
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							
$\bar{X} =$		$V =$						
$S =$		$K_T =$						
$\Sigma$								



Форма 2

Выписка исходных данных из лабораторного журнала за один месяц

№ условной партии $m$	Дата	Смена	Прочность в серии, $R_i$ , МПа	Средняя прочность партии, $R_m$ , МПа	Размах прочности партии, $W_m$ , МПа	Коеф., кол. контр. образцов, $d$	Средне-квадратич. отклонение в партии, $S_i$ , МПа	Коеф. вариации в партии, $V_i$ , %
1		1 2 3						



## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15895-77\* (СТ СЭВ 547-77, СТ СЭВ 3404-81). Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения. Введен 01.01.78. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 68 с.
2. ГОСТ 18321-73\* (СТ СЭВ 1934-79). Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции. Введен 01.01.74. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 10 с.
3. Абрамов Д.С., Лерман В.Д. Производственный контроль качества железобетонных изделий. – Л.: Стройиздат, 1978. – 160 с.
4. Гиссин В.И. Управление качеством продукции. Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 256 с.
5. ГОСТ 18105-86. Бетоны. Правила контроля прочности. Введен 01.01.87. – М.: Изд-во стандартов, 1988