




ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Кафедра «Технологический инжиниринг и экспертиза в стройиндустрии»

## **ПРАКТИКУМ**

по выполнению лабораторной работы  
по дисциплине  
**«Инновации в модификации реологических  
характеристик бетонных смесей»**

## **Реологические характеристики модифицированных бетонных смесей**

для обучающихся очной формы  
по направлению 08.04.01 «Строительство»  
профиль «Инновационные технологии бетонных смесей и бетонов»



Автор  
Касторных Л.И.

Ростов-на-Дону, 2021

## Аннотация

Практикум регламентирует правила выполнения и оформления лабораторной работы по дисциплине «Инновации в модификации реологических характеристик бетонных смесей», выполняемой обучающимися по направлению 08.04.01 «Строительство» профиль «Инновационные технологии бетонных смесей и бетонов».

Содержит методику, правила выполнения и оформления результатов испытаний, построения графических моделей модифицированных бетонных смесей в лабораторных условиях.

## Автор



доцент, канд. техн. наук,  
доцент кафедры «Технологический  
инжиниринг и экспертиза в  
стройиндустрии»  
Касторных Любовь Ивановна



## Оглавление

Введение .....	<b>4</b>
1 Общие сведения о реологических характеристиках бетонных смесей ...	<b>5</b>
2 Материалы для приготовления бетонных смесей .....	<b>6</b>
3 Методика исследований .....	<b>10</b>
4 Реологические характеристики модифицированных бетонных смесей ...	<b>13</b>
Выводы по работе .....	<b>16</b>
Ссылочные нормативные документы .....	<b>17</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Модифицирование бетонных смесей химическими и минеральными добавками, как один из приемов направленного структурообразования, давно и успешно применяется в технологии монолитного и сборного строительства при производстве железобетонных конструкций с высокими требованиями по долговечности. В этой научной области бетоноведения несомненный интерес для практического использования представляют добавки полифункционального действия, позволяющие одновременно регулировать свойства бетонных смесей и затвердевшего бетона.

Например, на строительных объектах Московского региона в последние годы в бетонных смесях наиболее широко применяются модифицирующие добавки компании «Полипласт», благодаря которым обеспечивается удобоуплотняемость смеси в густоармированных конструкциях, регулируется режим остывания бетона и гарантируется высокая трещиностойкость железобетонных конструкций. Одной из таких добавок является модификатор Линамикс ПК, относящийся по потребительским свойствам к группе суперводоредуцирующих и добавок, регулирующих сохраняемость подвижности бетонной смеси. Эта добавка полифункционального действия, изготавливаемая на основе смеси полиоксиэтиленовых производных поликарбоновых кислот и полиэтиленгликоля, обладает высоким реологическим потенциалом при формировании свойств бетонных смесей.

Как отмечают многие исследователи в ряде работ при использовании добавки Линамикс ПК достигаются высокий пластифицирующий эффект и связность бетонных смесей при длительной сохраняемости первоначальных свойств. При оптимальной дозировке эффективность Линамикс ПК проявляется не только в бетонных смесях на цементном вяжущем, но и на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем.

## 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Инновационные строительные материалы – самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) – требуют научного подхода при проектировании состава и обоснованного использования сырьевых компонентов. Для самоуплотняющихся бетонных смесей рациональный расход всех компонентов необходимо определять в результате оптимизации гранулометрического состава минеральной части, а пластифицирующую добавку выбирать индивидуально для цемента конкретного вида, учитывая её совместимость со всеми составляющими смеси. Только высокоэффективные модифицирующие добавки, благодаря инновационным разработкам в области строительной химии, могут обеспечить бетонным смесям требуемую растекаемость при условии сохранения их связности и нерасслаиваемости.

Для самоуплотняющихся бетонов весьма характерна проблема совместимости добавок и цементов. Многочисленные работы под руководством Г.В. Несветаева и А.В. Ушерова-Маршака посвящены изучению реологической совместимости систем «цемент-добавка». В этих работах исследовалось влияние дозировок суперпластификаторов на текучесть цементных суспензий. В случае использования суперпластификаторов в качестве водоредуцирующих добавок для повышения прочности бетона предлагается оценивать их прочностную совместимость с цементами. Для оперативной и достоверной количественной оценки совместимости суперпластификаторов и цементов в условиях производственной лаборатории предлагаются технологические критерии. В Петербургском государственном университете путей сообщения разработана методика определения совместимости цемента с добавками поверхностно-активных веществ по кинетике предельного напряжения сдвига и оценке относительной активности цемента в возрасте 12 часов.

Такое разнообразие подходов к оценке совместимости цементов с суперпластификаторами подтверждает существование проблемы и требует разработки единой методики, доступной как для научно-исследовательских, так и для строительных лабораторий.

Для исследования самоуплотняющихся смесей важную роль играют реологические характеристики: пластическая вязкость, коэффициент внутреннего трения, предельное напряжения сдвига. Эти показатели, отражающие поведение структурированных упруго-пластических тел, традиционно изучаются исследователями научных лабораторий, а в производственных условиях практически не используются, так как в российских нормативах отсутствует методика их определения.

**Цель работы** – определение реологических характеристик – условной вязкости и предельных напряжений сдвига (предела текучести) самоуплотняющихся бетонных смесей – для оптимизации дозировок модифицирующих добавок.

## 2 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В исследованиях использованы следующие материалы.

**Вяжущее** – цемент общестроительный, изготавливаемый на основе портландцементного клинкера, соответствующий требованиям ГОСТ 31108.

Минералогический состав цемента приводится в таблице 1, а основные характеристики вяжущего – в таблице 2.

Таблица 1 – Минералогический состав цемента

Класс	Минералогический состав, %						
	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	$SO_3$	$MgO$	$R_2O$

Таблица 2 – Основные характеристики цемента

Показатели, единица измерения	Завод- изготовитель
Класс	
Прочность на сжатие в возрасте 28 сут., МПа	
Истинная плотность $\rho_{цт}$ г/см <sup>3</sup>	
Насыпная плотность $\rho_{нцт}$ кг/м <sup>3</sup>	
Нормальная густота цементного теста $НГ_{цт}$ %	
Удельная поверхность $S_{удт}$ см <sup>2</sup> /г	
Сроки схватывания, час-мин: начало / конец	
Минеральная добавка, %	
Коэффициент эффективности при тепловой обработке $K_{т}$	

### Мелкий заполнитель:

– песок природный кварцевый карьера .....,

соответствующий требованиям ГОСТ 8736:

истинная плотность  $\rho_n = \dots$ ;

насыпная плотность  $\rho_{нп} = \dots$ ;

модуль крупности  $M_k = \dots$ ;

пустотность  $V_{пп} = (1 - \rho_{нп}/\rho_n) \cdot 100 = \dots$

– песок керамзитовый:

– исходный материал .....

.....,

истинная плотность  $\rho_k = \dots$ ;

насыпная плотность  $\rho_{нк} = \dots$ ;

модуль крупности  $M_k = \dots$ ;

пустотность  $V_{пк} = (1 - \rho_{нк}/\rho_k) \cdot 100 = \dots$

Песок керамзитовый соответствует требованиям ГОСТ 32496.

Зерновой состав мелких заполнителей представлен в таблице 3, а кривая просеивания на рисунке 1.

Таблица 3 – Зерновой состав мелких заполнителей

Наименование заполнителя	Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах						Проход через сито с сеткой № 016, % по массе
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Песок природный кварцевый	Частный							
	Полный							
Песок керамзитовый	Частный							
	Полный							



Рисунок 1 – Кривая просеивания мелких заполнителей

### Крупные заполнители:

– **щебень** из ..... дробильно-сортировочного завода  
 ....., соответствующий требованиям ГОСТ 8267:

прочность – .....

истинная плотность  $\rho_{щ}$  = .....

насыпная плотность  $\rho_{нщ}$  = .....

наибольшая крупность **НК** = .....

пустотность  $V_{пщ} = (1 - \rho_{нщ}/\rho_{щ}) \cdot 100 = \dots\dots\dots$ ;

содержание игольчатых и лещадных зерен – .....



**Минеральный наполнитель** – .....

Оптимальная дозировка наполнителя составляет 10 – 15 % массы цемента. Химический состав наполнителя приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики минерального наполнителя

Наименование	Химический состав, %									
	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + FeO$	$CaO$	$CaO_{св}$	$MgO$	$SO_3$	$K_2O$	$Na_2O$	п.п.п.
Зола-уноса	50,4	18,5	9,8	4,7	-	1,2	1,1	3,6	3,4	7,35

**Добавки:**

– **модификатор вязкости** .....

производства компании .....

Добавка представляет собой .....

Оптимальная дозировка добавки – ..... % массы вяжущего.

– **суперпластификатор** .....

производства компании .....

Добавка представляет собой .....

Оптимальная дозировка добавки – ..... % массы вяжущего.

**Вода** – водопроводная чистая без вредных примесей, соответствующая требованиям ГОСТ 23732.

### 3 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Растекаемость смесей определена по диаметру расплыва конуса бетонной смеси по методике европейских норм EN 12350.5-2000 и СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 (рисунок 2).

Реологическая характеристика бетонной смеси – условная вязкость  $T_{500}$  установлена одновременно с определением диаметра расплыва, как время растекания смеси до достижения диаметра 500 мм.

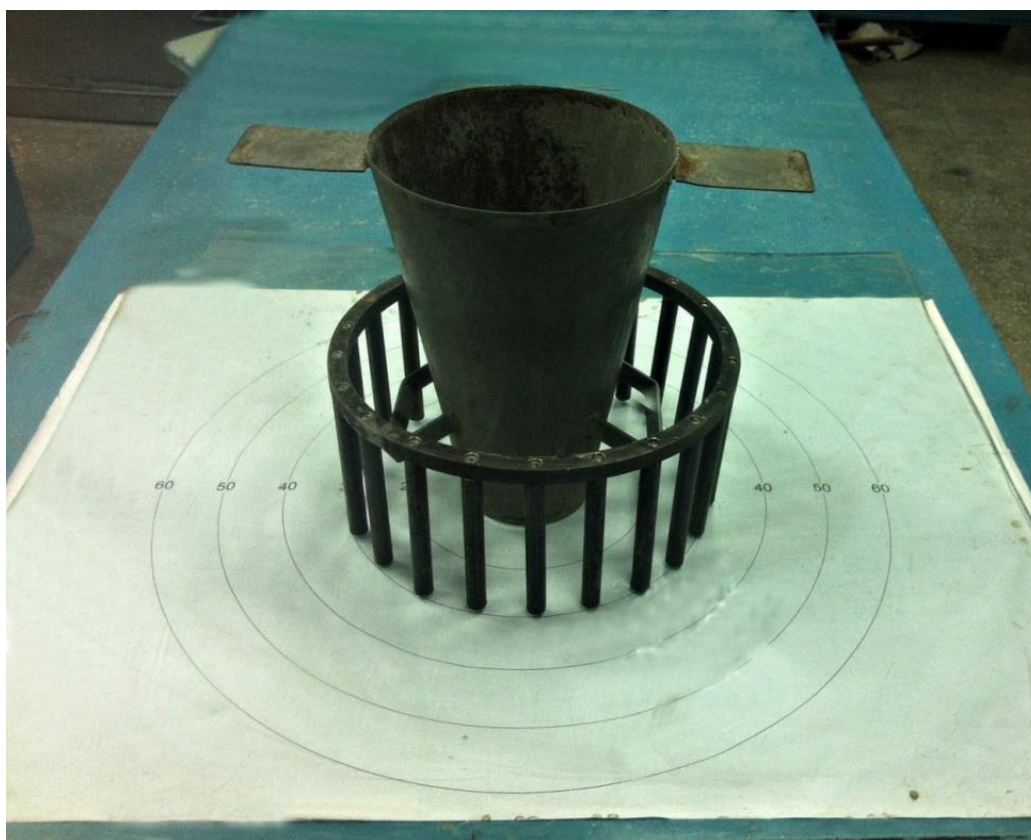


Рисунок 2 – Прибор для определения растекаемости и условной вязкости бетонной смеси

Для установления способности смеси преодолевать препятствия (арматурные стержни в железобетонных конструкциях) использовано блокировочное кольцо диаметром 300 мм с закрепленными гладкими металлическими стержнями длиной 125 мм и диаметром 14 мм (рисунок 3).

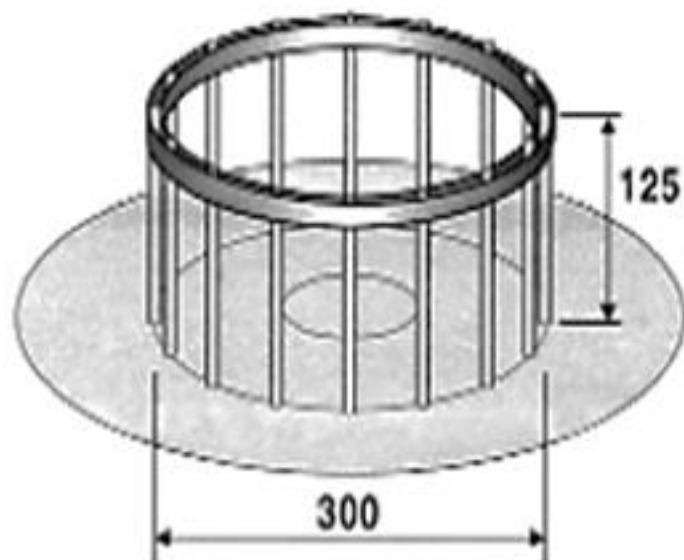


Рисунок 3 – Блокировочное кольцо для определения способности смеси преодолевать препятствия

Предельное напряжение сдвига смеси определено на приборе, состоящем из полого цилиндра (диаметром 100 мм, высотой 200 мм) с насадкой и стеклянного основания с разметкой окружностей (рисунок 4).



Рисунок 4 – Прибор для определения предельного напряжения сдвига бетонной смеси

Расчет предельных напряжений сдвига бетонных смесей  $\tau_0$ , Па, выполнен по условию:

$$\tau_0 = \frac{hd^2}{kD^2}\rho, \quad (1)$$

где  $h, d$  – высота и диаметр цилиндра, м;

$\rho$  – средняя плотность бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – константа прибора ( $k = 2$ );

$D$  – диаметр расплыва бетонной смеси, м.

Среднюю плотность бетонной смеси  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют:

$$\rho = \frac{m-m_1}{V}, \quad (2)$$

где  $m$  – масса мерного сосуда с бетонной смесью, кг;

$m_1$  – масса мерного сосуда без смеси, кг;

$V$  – объем мерного сосуда, м<sup>3</sup>.

После приготовления и определения фактической плотности бетонных смесей  $\rho_{см}^{\phi}$  рассчитан фактический расход материалов, кг/м<sup>3</sup>:

$$Ц = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} Ц', \quad (3)$$

$$Н = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} Н', \quad (4)$$

$$В = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} В', \quad (5)$$

$$Щ = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} Щ', \quad (6)$$

$$П = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} П', \quad (7)$$

$$Д = \frac{\rho_{см}^{\phi}}{Ц' + Н' + В' + П' + Щ' + Д'} Д', \quad (8)$$

где  $Ц, Н, В, Щ, П, Д$  – расходы цемента, наполнителя, воды, щебня, песка и добавки на 1 м<sup>3</sup> смеси;

$Ц', Н', В', Щ', П', Д'$  – расходы цемента, наполнителя, воды, щебня, песка и добавки на лабораторный замес, кг.

## 4 РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Для оценки влияния минеральных и химических добавок на реологические и физико-механические свойства СУБ приготовлены смеси с различной дозировкой модификаторов. Показатели конструктивности и реологические характеристики модифицированных бетонных смесей приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели конструктивности и реологические характеристики модифицированных бетонных смесей

Состав	Расход материалов на 1м <sup>3</sup> , кг						Диаметр расплыва, см	Условная вязкость T <sub>500</sub> , с	Предельное напряжение сдвига, Па	Водоцементное отношение В/Ц	Объем цементного теста, л	Средняя плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>
	Цемент	Наполнитель	Вода	Песок	Щебень	Добавка						
1СУБ												
2СУБ												
3СУБ												
4СУБ												
5СУБ												
6СУБ												
7СУБ												
8СУБ												

Из бетонной смеси каждого состава с различной дозировкой добавок изготовлены контрольные образцы-кубы с размерами ребра 100,0 мм. Контроль прочности образцов выполнен в возрасте 28 суток.

Результаты испытаний контрольных образцов-кубов бетона исследованных составов приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний контрольных образцов-кубов бетона на прочность при сжатии

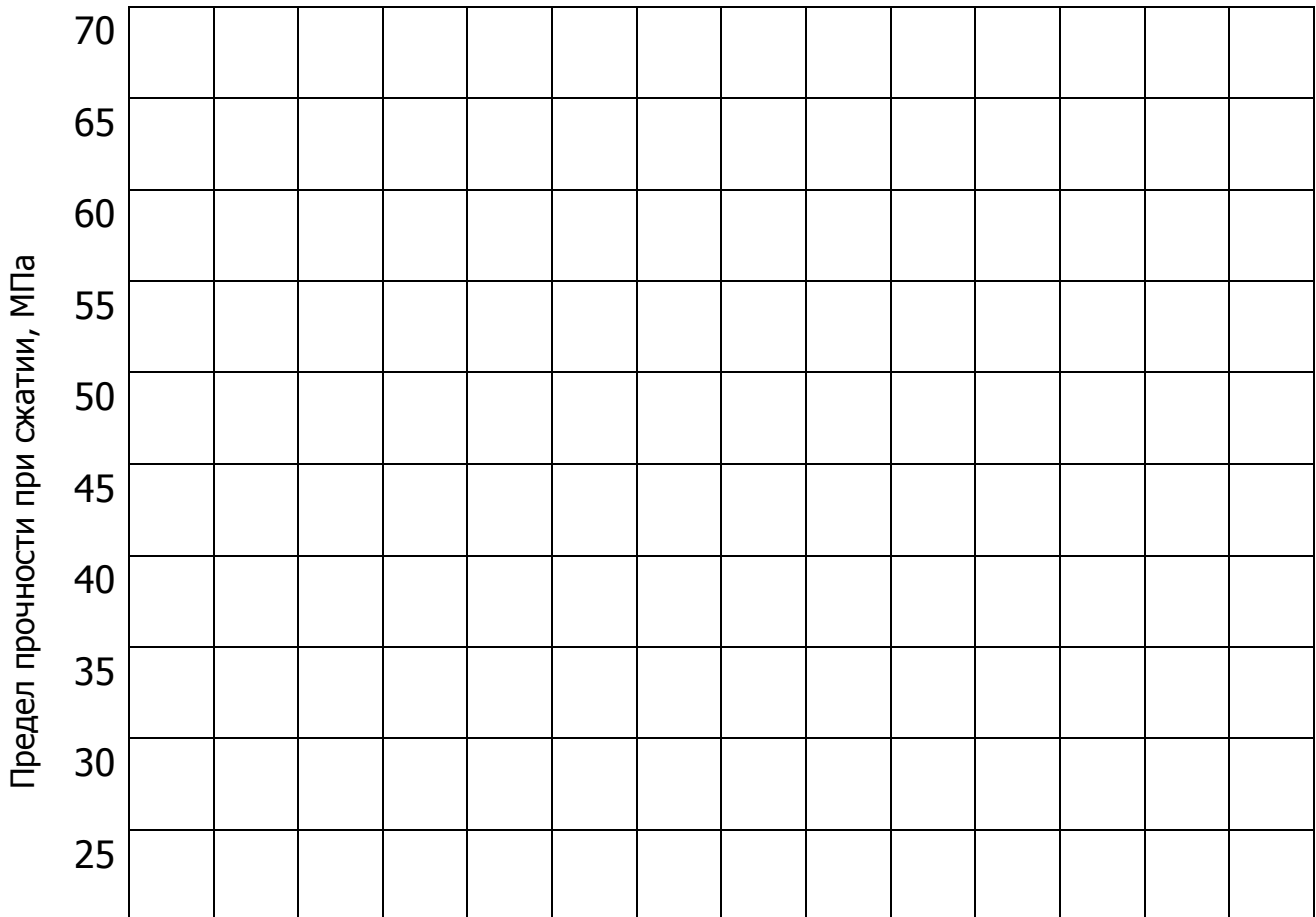
Дата испытания	Маркировка	Размеры, мм			Масса, кг	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	
		a	b	h		образца	средняя		образца с учетом маш. коэффициента	средний

Результаты проведенных испытаний и выполненных расчетов для бетонных смесей и затвердевших бетонов представлены в сводной ведомости (таблица 7).

Таблица 7 - Сводная ведомость результатов испытания СУБ

Состав	Расход материалов на замес, кг					Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	D <sub>p</sub> , см	T <sub>500</sub> , с	τ <sub>0</sub> , Па	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Вязк $\frac{Вязк}{В}$	$\frac{II}{(II+III)}$	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	
	Ц'	Н'	В'	П'	Щ'					Д'	Ц	Н	В	П				Щ	Д
1СУБ																			
2СУБ																			
3СУБ																			
4СУБ																			
5СУБ																			
6СУБ																			
7СУБ																			
8СУБ																			

Оптимальная дозировка добавок для модифицированных бетонных смесей установлена на основании экспериментальных данных и представлена в графической форме (рисунок 5).



Состав бетона

Рисунок 5 – Определение оптимальной дозировки модифицирующих добавок для самоуплотняющихся бетонов

### Выводы по работе

Выполненные исследования показывают, что для обеспечения требуемой растекаемости бетонной смеси и получения бетона требуемой прочности оптимальной дозировкой суперпластификатора ..... является: ....., а минеральной – .....



## Ссылочные нормативные документы

ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.

ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний.

ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия.

ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия.

ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия.

ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний.

ГОСТ 32496-2013 Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия.

ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.

ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности.

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011 Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля.