

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

## **ПРАКТИКУМ**

по выполнению лабораторной работы  
по дисциплине

**«Современные химические и минеральные добавки  
для бетонов и строительных смесей»**

## **Оценка влияния химических и минеральных добавок на основные свойства бетонов**

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 «Современные химические и минеральные добавки для бетонов и строительных 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 Аналитический обзор .....	<b>5</b>
2 Материалы для приготовления бетонных смесей .....	<b>6</b>
3 Методика исследований .....	<b>9</b>
4 Оценка влияния химических и минеральных добавок на основные свойства бетонных смесей и бетонов .....	<b>11</b>
Выводы по работе .....	<b>14</b>
Ссылочные нормативные документы .....	<b>15</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мировой экономики характеризуется переходом к шестому технологическому укладу. Для российской экономики этот переход затруднен вследствие того, что в стране лишь незначительное число отраслей формирует новый технологический уклад, низка доля технологий пятого уклада (он практически не освоен), а на долю устаревших технологий четвертого и третьего укладов приходится ~ 90 %.

Серьезное технологическое отставание отмечается и в промышленности строительных материалов. Основные производственные мощности отрасли введены в эксплуатацию с 1950 по 1988 гг. Позднее, вплоть до 2005 г., новых предприятий стройиндустрии почти не строили и не вводили в строй. Изменить сложившееся положение, перевести предприятия отрасли на современный уровень можно только в результате перехода на инновационный путь развития.

В настоящее время инновационная активность предприятий промышленности строительных материалов низкая. По итогам 2019 г. она составила лишь 9,8 %. Для данного вида экономической деятельности наиболее приоритетно освоение технологических инноваций:

- использование сырья новых видов,
- современного оборудования,
- нанотехнологий,
- ресурсо- и энергосберегающих технологий,
- снижение негативного влияния на окружающую среду,
- вовлечение отходов в производство и т.д.

Инновации такого вида базируются на результатах завершенных научно-исследовательских работ. Условием их коммерциализации являются доказанные реализуемость и экономическая целесообразность использования результатов исследований.

## 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

За последние тридцать лет в мировой практике строительного производства произошли революционные изменения, связанные с появлением добавок нового поколения – химических модификаторов бетона на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов. Эффективность таких добавок намного выше традиционных суперпластификаторов, поэтому их часто называют гиперпластификаторами. Для того, чтобы потенциал высокоэффективных пластификаторов был полностью раскрыт, в условиях реального производства необходимо регулировать все технологические процессы, начиная с этапа проектирования состава бетона.

Производители суперпластификаторов в виде жидкого продукта, отмечая в техническом описании наличие эфиров поликарбоксилатов, не указывают их содержание и электрический заряд. Поэтому производство бетонных смесей с такими добавками требует научного сопровождения – оценки эффективности их использования.

Все добавки (природные или искусственные химические продукты) классифицируются по механизму их действия и разделяются на четыре класса:

1-й – органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные к адсорбции на поверхности твердой фазы;

2-й – добавки, изменяющие растворимость минеральных вяжущих материалов и не вступающие с ними в химические реакции;

3-й – добавки, реагирующие с вяжущими с образованием трудно-растворимых или малодиссоциированных комплексных соединений;

4-й – добавки – готовые центры кристаллизации ("затравки").

**Цель работы** – исследовать влияние химических и минеральных добавок на основные свойства бетонных смесей и бетона.

## 2 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Для приготовления модифицированных бетонных смесей используются 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 $\rho_{цц}$ г/см <sup>3</sup>	
Насыпная плотность $\rho_{нцц}$ кг/м <sup>3</sup>	
Нормальная густота цементного теста $НГ_{цц}$ %	
Удельная поверхность $S_{удц}$ см <sup>2</sup> /г	
Сроки схватывания, час-мин: начало / конец	
Минеральная добавка, %	
Коэффициент эффективности при ТО $K_n$	

### Мелкий заполнитель:

– песок природный кварцевый карьера .....,

соответствующий требованиям ГОСТ 8736:

истинная плотность  $\rho_n = \dots\dots\dots$ ;

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

модуль крупности  $M_k = \dots\dots\dots$ ;

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

– песок керамзитовый:

– исходный материал .....

.....,

истинная плотность  $\rho_k = \dots\dots\dots$ ;

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

модуль крупности  $M_k = \dots\dots\dots$ ;

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

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							

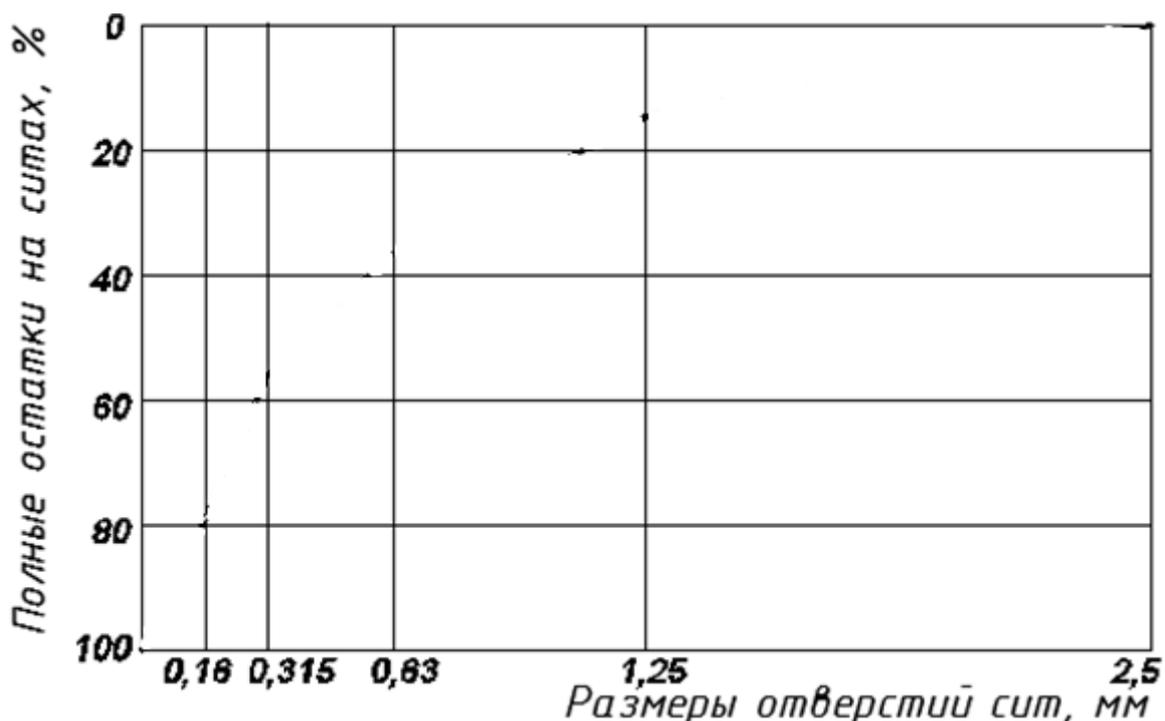


Рисунок 1 – Кривая просеивания мелких заполнителей

### 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:

– **суперпластификатор** .....  
 производства компании .....

Добавка представляет собой .....

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

– **модификатор вязкости** .....  
 производства компании .....

Добавка представляет собой .....

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

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

### 3 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Растекаемость модифицированных бетонных смесей определена по диаметру расплыва 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. 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.

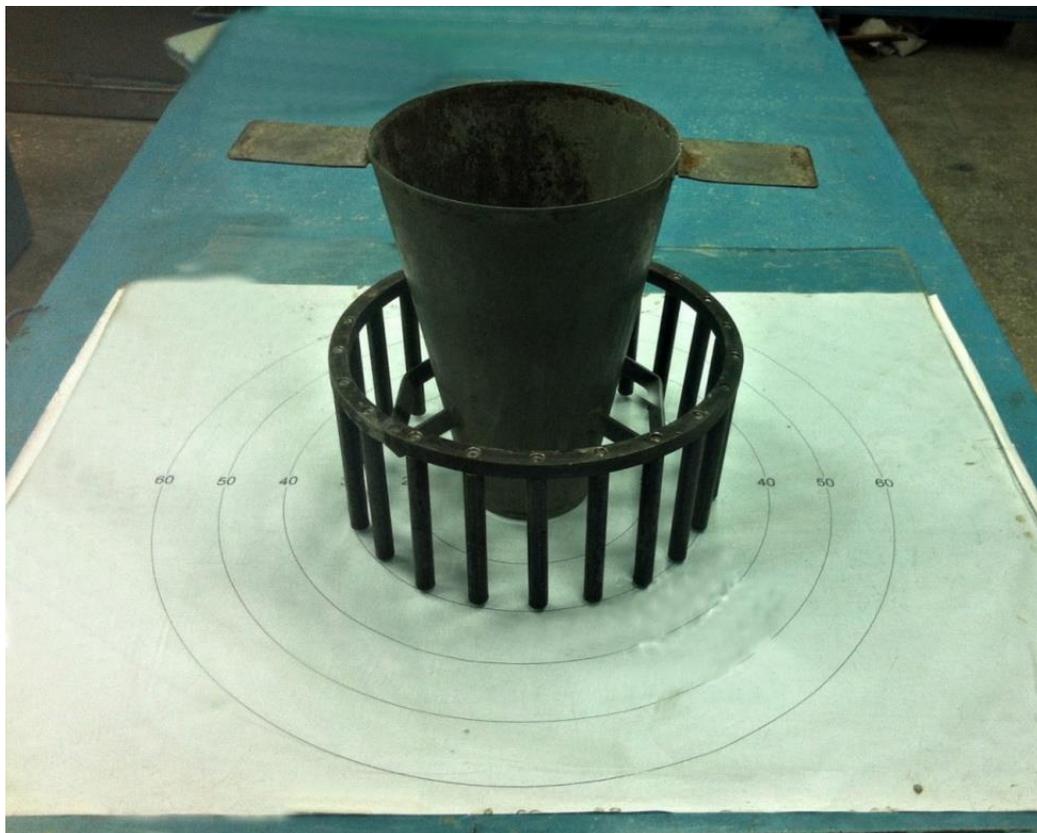


Рисунок 2 – Прибор для определения растекаемости и условной вязкости бетонной смеси

Распływ конуса бетонной смеси определяется измерением диаметра расплывшейся лепешки  $d_1$  и  $d_2$  рулеткой (металлической линейкой) в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Распływ бетонной смеси  $D_p$ , см, вычисляется с округлением до 1,0 см, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 3,0 см (при большем расхождении результатов определение повторяют):

$$D_p = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

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 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ

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 $D_p$ , см	Условная вязкость $T_{500}$ , с	В/(Ц+Н)	П/(П+Щ)	Объем цементного теста, л	Средняя плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>
	Цемент Ц	Наполнитель Н	Вода В	Песок П	Щебень Щ	Добавка Д						
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

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.

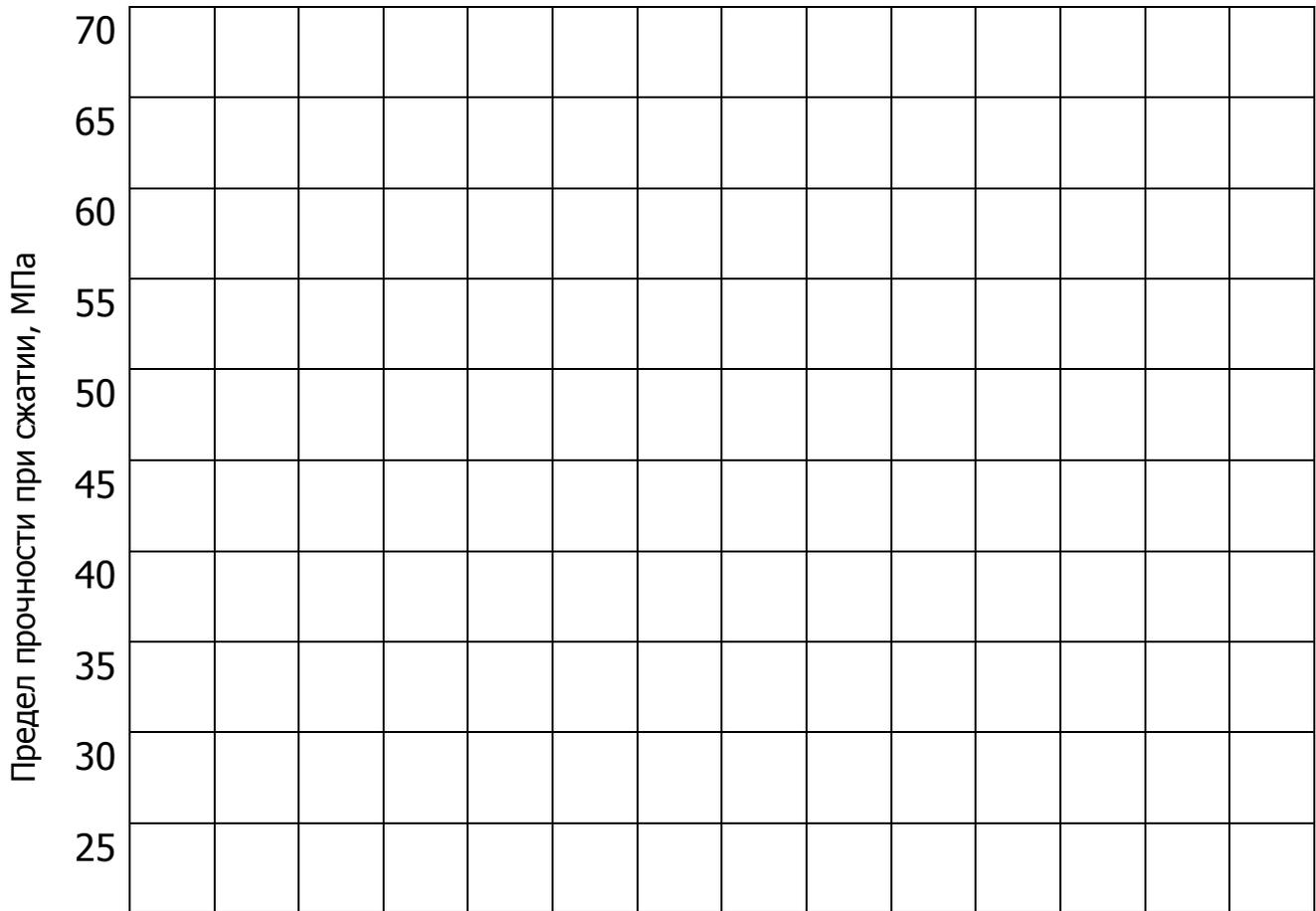
Результаты испытаний контрольных образцов-кубов бетона исследованных составов приведены в таблице 6.



Таблица 7 - Сводная ведомость результатов испытания бетонов

Состав	Расход материалов на замес, кг					Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup>	D <sub>p</sub> , см	T <sub>500</sub> , с	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Вязк B	$\frac{II}{II+III}$	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа	
	Ц	Н	В	П	Ш				Д	Ц	Н	В	П				Ш	Д
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		

Оптимальная дозировка добавок для модифицированных бетонных смесей установлена на основании экспериментальных данных и представлена в графической форме (рисунок 3).



Состав бетона

Рисунок 5 – Влияние модифицирующих добавок на прочность бетона

### 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.