



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московский государственный строительный университет»  
129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел./факс. (495) 781-80-07



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
ФГБОУ ВПО «МГСУ»  
/Лейбман М.Е./  
2014г.

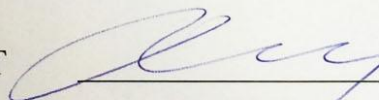
## ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

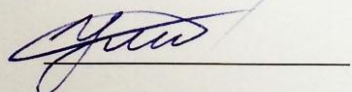
«Определение эффективности применения полимерной фибры в составах бетонов»

Шифр № Р.312-14  
Арх. № 5279 / Р.312-14

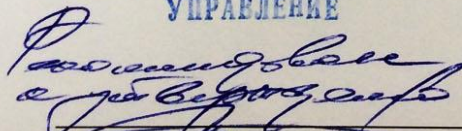
Научный руководитель НИИ СМиТ

 /Пустовгар А.П./

Руководитель работ  
Зав. НИЛ СКРиБ НИИ СМиТ  
Московский государственный  
строительный университет

 /Нефедов С.В./

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
УПРАВЛЕНИЕ



МОСКВА, 2014

Подготовка к заключению договоров на разработку проектной документации и выполнение инженерных изысканий от имени ФГБОУ ВПО «МГСУ» осуществляется только Научно-техническим управлением

Тел. (495) 739-03-14, факс (499) 183-53-10, e-mail: [ntuinfo@mgsu.ru](mailto:ntuinfo@mgsu.ru)

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

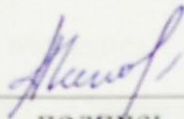
Заведующий лабораторией ТВВиБ, канд.техн.наук

  
\_\_\_\_\_

В.Г. Соловьев

подпись, дата


Младший научный сотрудник НИИ «СМиТ»

  
\_\_\_\_\_

А.В. Есенов

подпись, дата

Младший научный сотрудник НИИ «СМиТ»

  
\_\_\_\_\_

В.В. Медведев

подпись, дата



## РЕФЕРАТ

Отчет: 28 страниц, 3 формулы, 9 таблиц, 7 рисунков, 10 нормативно-технических источников.

Ключевые слова: ПОЛИМЕРНАЯ ФИБРА, ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН, ПОДВИЖНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ

Объектом исследования являлись образцы полимерной фибры, предоставленные компанией ООО «Специальные бетонные изделия» (далее «Заказчиком»).

Цель исследования – Определить эффективность применения предоставленных образцов полимерной фибры в составах бетонов.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	5
1.1 Материалы для проведения исследований .....	5
1.1.1 Фибра.....	5
1.1.2 Цемент .....	6
1.1.3 Мелкий заполнитель .....	6
1.1.4 Крупный заполнитель .....	7
1.1.5 Добавка для бетона.....	9
1.2 Методы испытаний .....	10
1.2.1 Методы испытаний бетонной смеси.....	10
1.2.2 Методы определения физико-механических свойств бетона .....	12
2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	17
2.1 Исследование влияния полимерной фибры на свойства бетонных смесей .....	17
2.2 Исследование влияния полимерной фибры на прочностные свойства бетона .....	19
2.3 Исследование влияния полимерной фибры на истираемость поверхности бетона .....	23
2.4 Исследование влияния полимерной фибры на усадку бетона в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток .....	24
2.3 Анализ полученных результатов .....	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	31
ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	35



## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящей работе были проведены исследования влияния полимерных волокон (фибры) Fibrofor High Grade 190, Concrіx 35, Concrіx 50 на свойства бетонной смеси и тяжелого бетона контрольного состава классов по прочности при сжатии В30, по прочности на растяжение при изгибе  $B_{тб}$  4,0, марки по удобоукладываемости П5.

В ходе исследований установлено влияние исследуемых видов фибры при различных дозировках на:

- плотность, подвижность и сохраняемость свойств бетонной смеси контрольного состава;
- плотность, прочность при сжатии и прочность на растяжение при изгибе в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток контрольного состава тяжелого бетона
- истираемость и усадку в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток контрольного состава тяжелого бетона

По результатам проведенных исследований определена эффективность применения полимерной фибры в составе тяжелого бетона.

## **1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **1.1 Материалы для проведения исследований**

#### **1.1.1 Фибра**

Компанией ООО «Специальные бетонные изделия» для проведения исследования были переданы три образца полимерных волокон (фибры) маркированные:

- Concrіx 35
- Concrіx 50
- Fibrofor High Grade 190

### 1.1.2 Цемент

При проведении исследований в качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н по ГОСТ 31108 [1] производства ОАО «Холсим (Рус) СМ».

Перед проведением исследований были проведены испытания по определению основных характеристик данного цемента, результаты которых приведены в таблице 1.1. Испытания цемента проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 30744 [2].

Таблица 1.1 - Основные характеристики цемента ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н

№ п.п.	Свойства портландцемента	Ед. измерения	Значение	Требование по ГОСТ 31108 [1]
1	Нормальная плотность	%	26,1	не нормируется
2	Остаток на сите №008	%	8,6	не нормируется
3	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток	МПа	50,8	$\geq 42,5$
4	Начало схватывания	мин	120	$\geq 60$
5	Истинная плотность	кг/м <sup>3</sup>	3100	не нормируется

На основании полученных результатов установлено, что применяемый в исследовании цемент (ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н по ГОСТ 31108 производства ОАО «Холсим (Рус) СМ») по своим основным характеристикам, соответствует требованиям ГОСТ 31108, и может быть использован для изготовления тяжелого бетона.

### 1.1.3 Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя для приготовления бетонной смеси использовался природный песок для строительных работ - поставщик ОАО «Хромцовский карьер (паспорт качества №249 от 12.09.2013 г.).

Перед проведением исследований были проведены испытания по определению основных физико-механических характеристик песка, результаты которых приведены в таблицах 1.2 и 1.3. Испытания песка проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 8735 [3].



Таблица 1.2 - Гранулометрический состав песка

Наименование остатка	Остатки, % массе, на ситах					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный	10,1	18,3	33,6	29,3	7,3	1,4
Полный	10,1	28,3	61,9	91,3	98,6	-

Таблица 1.3 - Физико-механические свойства песка

№	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Требование по ГОСТ 8736 [4] для крупных песков II класса	Исследуемый природный песок
1	Истинная плотность	кг/м <sup>3</sup>	2000...2800	2660
2	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	1600
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	%	не более 3	1,4
4	Содержание глины в комках	%	не более 0,5	0
5	Водопотребность	%	-	6,8
6	Модуль крупности	-	-	2,9
7	Содержание зерен свыше 5 мм	%	не более 15	1,8
8	Содержание зерен свыше 10 мм	%	не более 5	0,7

На основании полученных результатов установлено, что природный песок (поставщик ОАО «Хромцовский карьер») относится к крупным пескам II класса и по своим физико-механическим характеристикам, установленным в ходе лабораторных испытаний, удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736 [4]. Гранулометрический состав песка удовлетворяет требованиям ГОСТ 26633[5], предъявляемым к мелкому заполнителю для производства тяжелых бетонов.

#### 1.1.4 Крупный заполнитель

В качестве крупного заполнителя для приготовления бетонной смеси применяли щебень фракции 5-20 мм - поставщик ОАО «Святогор», Северо-Западный карьер. Согласно сертификату качества №1195 от 03.09.2013г. данный щебень из плотных горных пород для строительных работ смеси фракций 5-20 мм с содержанием пылевидных и глинистых частиц 0,9%, марки

по дробимости 1400, насыпной плотности 1604 кг/м<sup>3</sup> и содержанием зерен слабых пород 1,7%.

Перед проведением исследований в лаборатории НИИ СМиТ были проведены испытания по определению основных физико-механических характеристик щебня, результаты которых приведены в таблицах 1.4 и 1.5. Испытания щебня проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0 [6].

Таблица 1.4 - Зерновой состав щебня

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	2,5	5	12,5	20	25
Полные остатки на ситах, % по массе (требование по ГОСТ 8267[7] для щебня фракции 5-20 мм)	От 95 до 100	От 90 до 100	От 30 до 60	До 10	До 0,5
Полные остатки на ситах, % по массе, исследуемого щебня	97,5	91,6	51,3	0,6	0



Таблица 1.5 - Физико-механические свойства щебня

№	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Требование по ГОСТ 26633[5] для крупного заполнителя	Исследуемый природный щебень
1	Истинная плотность зерен	г/см <sup>3</sup>	-	3,08
2	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	1600
3	Содержание пылевидных и глинистых частиц	%	не более 1	0,9
4	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы (группа щебня)	%	не более 35	7,9
5	Марка щебня по дробимости	-	-	1400
6	Содержание зерен слабых пород	%	не более 10	1,3

На основании полученных результатов установлено, что щебень (поставщик ОАО «Святогор», Северо-Западный карьер) по своим физико-механическим характеристикам, установленным в ходе лабораторных испытаний, удовлетворяет требованиям ГОСТ 26633[5]. Гранулометрический состав щебня удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267[7], предъявляемым к крупному заполнителю для производства тяжелых бетонов.

### 1.1.5 Добавка для бетона

Для приготовления бетонных смесей использовалась комплексная химическая добавка «Феррокрит Ультра», производства ООО «КОМПОНЕНТ», г.Владимир. По классификации производителя «Феррокрит Ультра» - полиметиленафталинсульфонаты различной молекулярной массы с органическими и неорганическими соединениями - высокоэффективный ускоритель твердения с суперпластифицирующим эффектом, характеризующийся ранней расплубочной прочностью и высоким набором прочности бетона.

По документу о качестве №406 от 14.08.2013г., добавка в объеме 5 литров была приготовлена из сухого вещества в форме водного раствора плотностью 1,214 г/см<sup>3</sup>, с массовой долей воды 65,1%.

## 1.2 Методы испытаний

### 1.2.1 Методы испытаний бетонной смеси

При проведении данного исследования осуществлялся контроль свойств дисперсно-армированных бетонных смесей в соответствие с требованиями ГОСТ 10181 [8].

**Удобоукладываемость** дисперсно-армированных бетонных смесей оценивалась по показателю осадки нормального конуса (высота 300 мм, нижний диаметр 200 мм, верхний диаметр 100 мм).

Конус устанавливали на гладкий лист и заполняли его фибробетонной бетонной смесью марок П1, П2 или П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты. Каждый слой на его высоту уплотняли штыкованием металлическим стержнем 25 раз.

Бетонную смесь марок П4 и П5 в конус заполняли в один прием и штыковали 10 раз.

После чего, конус плавно снимали с отформованной фибробетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливали рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, составляло 5 - 7 с.

Осадку конуса бетонной смеси определяли, укладывая гладкий стержень на верх формы и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до верха бетонной смеси с погрешностью 0,5 см.

В случае, если после снятия формы конуса фибробетонная смесь разваливалась, измерение не выполняли, и испытание повторяли на новой пробе.

Осадку конуса фибробетонной смеси вычисляли с округлением до 1,0 см, как среднеарифметическое результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем:

- на 1 см при  $OK \leq 9$  см;
- 2 см -  $OK = 10...15$  см;
- 3 см -  $OK \geq 16$  см.



При большем расхождении результатов испытание проводили повторно на новой пробе.

**Среднюю плотность** дисперсно-армированных бетонных смеси  $\rho_{см}$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляли по формуле:

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (1.1)$$

где  $m$  - масса мерного сосуда с бетонной смесью (стандартная форма для бетонного образца куба, со стороной 100 мм), г;

$m_1$  - масса мерного сосуда без смеси, г;

$V$  - вместимость мерного сосуда, см<sup>3</sup>.

Дисперсно-армированную бетонную смесь помещали в форму и уплотняли в соответствии с ГОСТ 10181 [8] в зависимости от удобоукладываемости. Среднюю плотность бетонной смеси определяли дважды для каждой пробы смеси и вычисляли с округлением до 10 кг/м<sup>3</sup>, как среднеарифметическое значение результатов двух определений из одной пробы, отличающихся между собой не более чем на 5 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание проводили повторно на новой пробе.

**Сохраняемость свойств (удобоукладываемости) во времени** определяли на основании методики приведенной в ГОСТ 30459-2008 [9] «п.8.4 Испытание добавок, регулирующих сохраняемость подвижности».

За показатель сохраняемости подвижности принимали время (в минутах), в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряла подвижность в пределах рекомендованных ГОСТ 30459[9] и приведенных на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 - Критерий сохраняемости подвижности

Первое определение подвижности смесей проводили непосредственно после окончания их перемешивания, последующие - через каждые 10 мин в зависимости от эффекта действия добавки. Каждое определение подвижности смесей проводили на новой пробе. Каждую новую пробу смеси перед испытанием перемешивали в течение одной минуты. Остальные пробы до испытания хранили накрытыми влажной тканью.

### 1.2.2 Методы определения физико-механических свойств бетона

**Предел прочности при сжатии** испытываемых образцов определялся по ГОСТ 10180 [10] на кубах с длиной ребра 100 мм. При испытании на сжатие образцы-кубы устанавливались одной из выданных граней на нижнюю опорную плиту пресса (или испытательной машины) центрально относительно его продольной оси. Нагружение образцов производили непрерывно со скоростью 0,6 МПа/с, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку ( $F$ ). В случае разрушения образца по одной из дефектных схем (приведенных в приложении 7, ГОСТ 10180 [10]), полученное значение при определении средней



прочности серии не учитывалось.

Прочность бетона при сжатии вычислялась с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R = \alpha \frac{F}{A}; \quad (1.2)$$

где  $F$  - разрушающая нагрузка, Н;

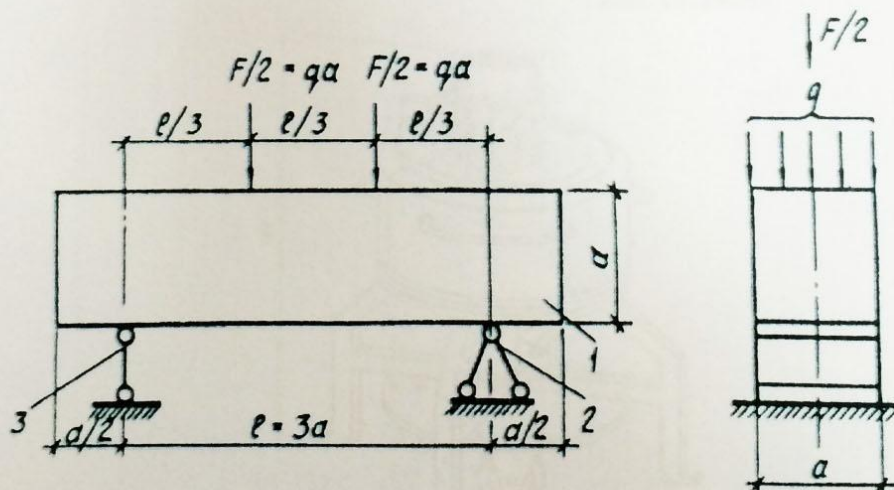
$A$  - площадь рабочего сечения образца, мм<sup>2</sup>;

$\alpha$  - масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы (для образцов кубов с ребром 100мм  $\alpha=0,95$ ).

Прочность бетона в серии из трех образцов определялась как среднее арифметическое значение по двум наибольшим по прочности образцам.

**Предел прочности на растяжение при изгибе** определялся по ГОСТ 10180 [10] на призмах размером 100×100×400мм.

Образцы-призмы устанавливали в испытательное устройство (схема испытания приведена на рисунке 1.2) и нагружали до разрушения со скоростью 0,05 МПа/с.



1- призма из тяжелого бетона размером 100×100×400мм,

2 - шарнирно неподвижная опора; 3- шарнирно подвижная опора

Рисунок 1.2 - Схема испытания образцов предела прочности на растяжение при изгибе.

Если образец разрушался не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца была наклонена к вертикальной плоскости более, чем на 15°, то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывался.

Прочность бетона на растяжение при изгибе вычислялась с точностью до 0,01 МПа по формуле:

$$R_t = \delta \frac{Fl}{ab^2}, \quad (1.3)$$

где  $F$  - разрушающая нагрузка, Н;

$a$ ,  $b$ ,  $l$  - соответственно ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами, мм;

$\delta$  - масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы (для призм размером 100×100×400 мм  $\delta=0,92$ ).

**Истираемость поверхности бетона** определялась по EN13892-4

EN 13892-4:2002 (E)

Dimensions in millimetres

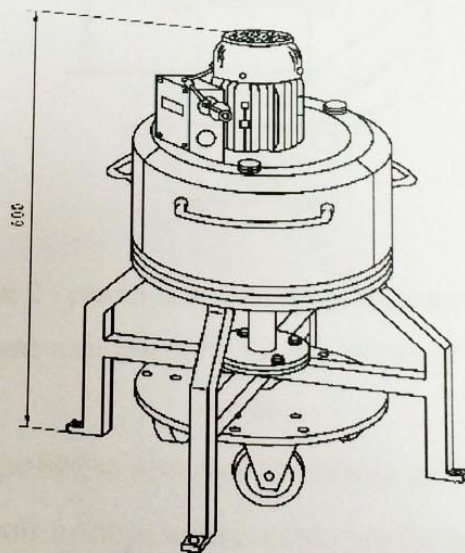


Рисунок 1.3 - ВСА тестер

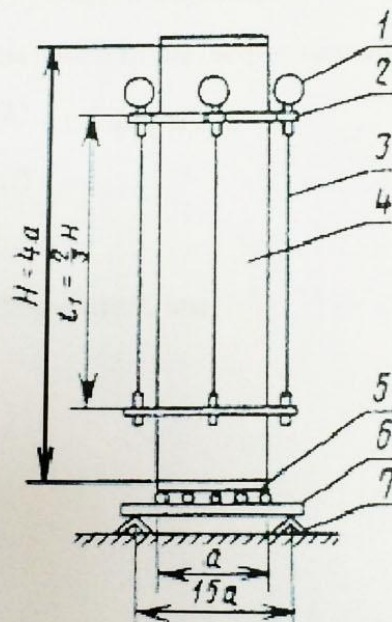


На образец бетона размерами 500x500x50 мм устанавливали прибор для истирания - ВСА тестер (рисунок XX). С помощью стоек прибора образец закрепляется по 4 (четырем) сторонам для предотвращения смещения во время испытания. Образец подвергался истиранию  $2850 \pm 10$  оборотов.

По окончании испытания определялась средняя глубина истирания в миллиметрах по 8 точкам.

Усадка бетона в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток определялась по ГОСТ 24544-81. Образцы для измерения усадки имели размеры 70x70x280.

Устройство, схема которого приведена на рисунке 1.4, предназначено для измерения деформаций усадки образцов с сечением размерами более 40x40 мм



1 - индикатор часового типа; 2 - рамка для крепления индикаторов; 3 - качающаяся штанга;  
4 - образец; 5 - металлические пластинки по торцам образца; 6 - плоская сварная сетка; 7 -  
опора.

Рисунок 1.4 - Схема устройства для определения деформаций усадки образцов с размерами поперечного сечения более 40x40 мм

На боковых поверхностях образцов размечали базу измерения продольных деформаций, устанавливали крепежные приспособления и измерительные приборы в соответствии с требованиями ГОСТ 24452-80. Через 4 ч после распалубливания образцов было произведено первое измерение деформации усадки. Отсчеты показаний производились на 3, 7, 14 и 28 суток. Испытания для определения деформаций усадки проводились при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха  $(60 \pm 5)\%$ .

По результатам испытаний вычисляли средние значения абсолютных деформаций  $\Delta l_1(t)$  в мм для каждого образца как среднее арифметическое приращений (по отношению к начальному отсчету) показаний приборов по четырем граням соответствующего образца.

По средним абсолютным значениям деформаций вычислены относительные величины деформаций  $\varepsilon_1(t)$  - по формуле

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\Delta l_1(t)}{l_1}, \quad (1.4)$$

где  $l_1$  - база измерения деформаций, мм.



## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Исследование влияния полимерной фибры на свойства бетонных смесей

В качестве контрольного состава бетона был принят тяжелый бетон классов по прочности при сжатии В30, по прочности на растяжение при изгибе  $B_{тб}$  4,0, марки по удобоукладываемости П5. Расход материалов для изготовления контрольного состава бетона приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Контрольный состав бетона

№ п/п	Наименование материала	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг
1	Портландцемент	360
2	Щебень	1200
3	Песок	790
4	Вода	190
5	Добавка «Феррокрит Ультра»	2,52

В ходе проведения испытаний в контрольный состав бетонной смеси вводились различные виды фибры - Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, Fibrofor High Grade 190 в количестве от 1 кг/м<sup>3</sup>, после чего определялась удобоукладываемость фибробетонных смесей и время сохранения их первоначальной подвижности.

Результаты испытаний по определению свойств фибробетонных смесей приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний свойств фибробетонных смесей

№	Определяемый параметр	Контрольный (без волокон)	Вид и содержание фибры в бетоне						Fibrofor High Grade 190 1 кг/м <sup>3</sup>
			Concrіx 35			Concrіx 50			
			3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	
1	Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2550	2510	2540	2530	2540	2560	2550	2510
2	Осадка конуса, см	23	9	5	3	8	6	5	17
3	Сохраняемость во времени, мин	20	20	20	20	20	20	20	20

На основании проведенных испытаний установлено, что:

1. Плотность бетонных смесей при добавлении полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> - изменяется незначительно (в пределах 1,6 %) по сравнению с контрольным составом, плотность которого составляет 2550 кг/м<sup>3</sup>.
2. Время сохранения первоначальной подвижности, определенное в соответствии с ГОСТ 30459-2008, фибробетонных смесей с полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> - составляет 20 минут и не изменяется по сравнению с контрольным составом.
3. Введение полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению подвижности фибробетонной смеси с 23 до 9, 5 и 3 см соответственно.
4. Введение полимерной фибры Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению подвижности фибробетонной смеси с 23 до 8, 6 и 5 см соответственно.
5. Введение полимерной фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению подвижности фибробетонной смеси с 23 до 17 см.



## 2.2 Исследование влияния полимерной фибры на прочностные свойства бетона

Для определения физико-механических характеристик бетонов с полимерной фиброй различного вида и дозировки изготавливалось следующее количество образцов:

- 12 кубов размером  $100 \times 100 \times 100$  мм для определения плотности и предела прочности при сжатии в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток;

- 12 призм размером  $100 \times 100 \times 400$  мм для определения предела прочности на растяжение при изгибе в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток.

В качестве армирующих компонента вводилась фибра Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также объемная полимерная фибра Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты испытаний по определению плотности, пределов прочности при сжатии и растяжении при изгибе приведены в таблице 2.3.

Для определения эффекта от введения различных видов фибры при ее различном содержании, результаты испытаний в таблице 2.4 представлены в виде *относительных значений* (т.е. изменения характеристики по сравнению с контрольным неармированным составом) в процентах.

Таблица 2.3 – Результаты определения физико-механических свойств фибробетонов в различном возрасте

№	Определяемый параметр	Возраст образцов, сут	Контрольный (без волокон)	Вид и содержание фибры в бетоне																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
				Concrix 35					Concrix 50					Fibrofor High Grade 190 1 кг/м <sup>3</sup>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	7	8	3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	9	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000



Таблица 2.4 – Сравнительные значения физико-механических свойств фибробетонов по сравнению с контрольным составом в различном возрасте

№	Расчетная характеристика	Возраст образцов, сут	Вид и содержание фибры в бетоне									
			Concrix 35					Concrix 50			Fibrofor High Grade 190	
			3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	3 кг/м <sup>3</sup>	4,5 кг/м <sup>3</sup>	6 кг/м <sup>3</sup>	1 кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1		7	-0,4	0,8	0,0	1,6	1,6	2,4	1,2			
2		14	0,0	2,8	2,0	2,0	0,0	1,6	0,8			
3		21	0,0	0,0	1,2	1,2	0,0	0,8	0,4			
4		28	-1,2	-1,2	-0,8	0,4	-0,8	0,8	0,0			
5		7	3,3	11,5	12,1	15,1	20,3	24,9	8,9			
6		14	5,4	8,6	9,5	15,2	18,6	19,5	7,7			
7		21	3,8	5,9	7,7	10,5	13,8	16,9	6,1			
8		28	0,5	4,4	6,5	7,7	9,8	11,9	5,3			
9		7	10,3	15,6	24,3	13,1	20,6	27,7	11,8			
10		14	9,5	13,6	22,7	16,0	17,4	21,5	9,8			
11		21	1,8	0,4	3,8	1,0	3,2	2,2	4,0			
12		28	-0,5	-7,7	-11,1	-4,1	-5,2	-9,4	-6,2			
	Изменение средней плотности фибробетона, %											
	Изменение предела прочности при сжатии фибробетона, %											
	Изменение предела прочности на растяжение при изгибе фибробетона, %											

На основании полученных данных установлено следующее:

1. Плотность фибробетонов с содержанием полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток - изменяется незначительно (в пределах от -1,2 до +2,8%) по сравнению с контрольным составом.
2. Предел прочности при сжатии фибробетона с содержанием полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 3,3, 11,5 и 12,1 %, 14 суток – на 5,4, 8,6 и 9,5 %, 21 суток – 3,8, 5,9 и 7,7%, 28 суток – на 0,5, 4,4 и 6,5 % соответственно.
3. Предел прочности при сжатии фибробетона с содержанием полимерной фибры Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 15,1, 20,3 и 24,9 %, 14 суток – на 15,2, 18,6 и 19,5 %, 21 суток – 10,5, 13,8 и 16,9%, 28 суток – на 7,7, 9,8 и 11,9 % соответственно.
4. Предел прочности при сжатии фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 8,9 %, 14 суток – на 7,7 %, 21 суток – 6,1 %, 28 суток – на 5,3 %.
5. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 10,3, 15,6 и 24,3 %, 14 суток – на 9,5, 13,6 и 22,7 %, 21 суток – 1,8, 0,4 и 3,8 % соответственно.
6. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фибры Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 13,1, 20,6 и 27,7 %, 14 суток – на 16,0, 17,4 и 21,5 %, 21 суток – 1,0, 3,2 и 2,2 % соответственно.
7. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием



полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> уменьшается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 28 суток на – 0,5, 7,7 и 11,1 % соответственно.

8. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фибры Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> уменьшается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 28 суток на – 4,1, 5,2 и 9,4 % соответственно.

9. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 11,8 %, 14 суток – на 9,8 %, 21 суток – на 4,0 %.

10. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> уменьшается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 28 суток на 6,2 %.

### 2.3 Исследование влияния полимерной фибры на истираемость поверхности бетона

Определение истираемости бетона с полимерной фиброй различного вида и дозировки производилось для составов тяжелого бетона класса В20, представленных в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исследуемые составы бетона

№	Компоненты	Контрольный, кг/м <sup>3</sup>	Concrіx 50, кг/м <sup>3</sup>	Fibrofor High Grade, кг/м <sup>3</sup>
1	Цемент	300	300	300
2	Кварцевый песок Мк=2,3	880	880	880
3	Щебень фр 5-20	1090	1090	1090
4	Фибра	0	4,5	1
5	Вода	230	230	230

В качестве армирующих компонентов вводилась фибра Concrіx 50 в количестве 4,5 кг/м<sup>3</sup>, а также объемная полимерная фибра Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup>. Результаты испытаний по истираемости приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты испытаний по истираемости

№	Показатель	Ед. изм.	Контрольный	Concrіx 50	Fibrofor High Grede
1	Истираемость	мм	1,8	1,3	1,2
		% от контр.	100	72	67

#### 2.4 Исследование влияния полимерной фибры на усадку бетона в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток

Для определения влияния полимерной фибры на усадку бетона использовались составы, представленные в таблице 2.5. Результаты испытаний представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты испытаний бетона на усадку в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток

Усадка бетона мм/м	Контрольный	Concrіx 50	Fibrofor High Grede
3 сутки	0,170	0,079	0,058
7 суток	0,177	0,099	0,100
14 суток	0,195	0,117	0,113
28 суток	0,241	0,134	0,147



### 3. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании проведенных исследований установлено, что при введении в состав тяжелых бетонов полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, Fibrofor High Grade 190 в количестве от 1 кг/м<sup>3</sup> наблюдается увеличение прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток. Графическое изображение данных результатов для фибры типов Concrіx 35 и Concrіx 50 приведено на рисунках 2.1, 2.2.

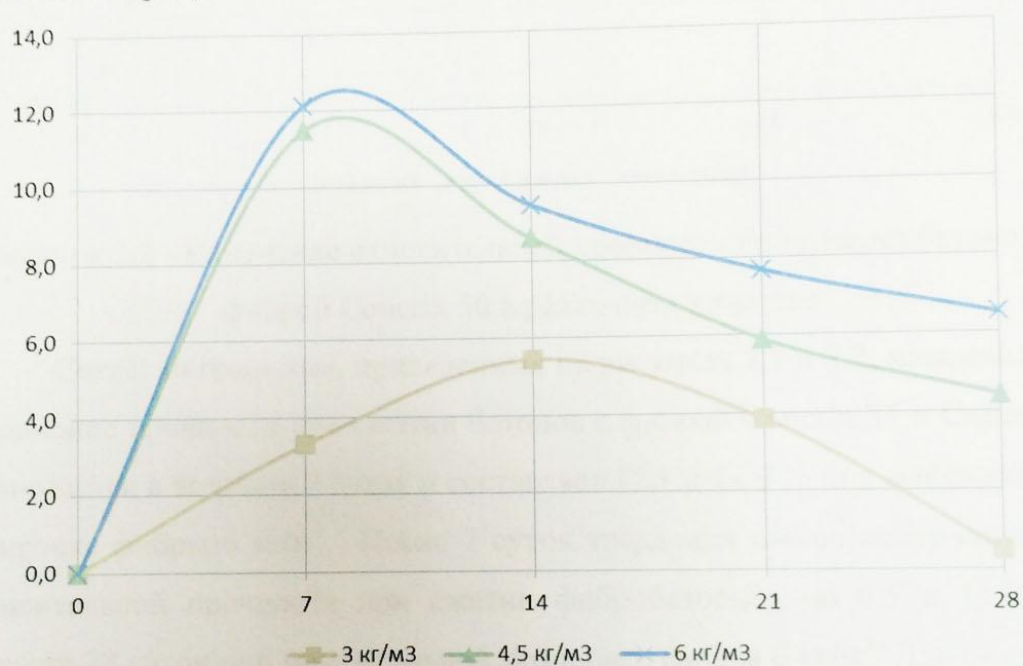


Рисунок 2.1 - Изменение относительной прочности при сжатии бетонов с фиброй Concrіx 35 в различном возрасте

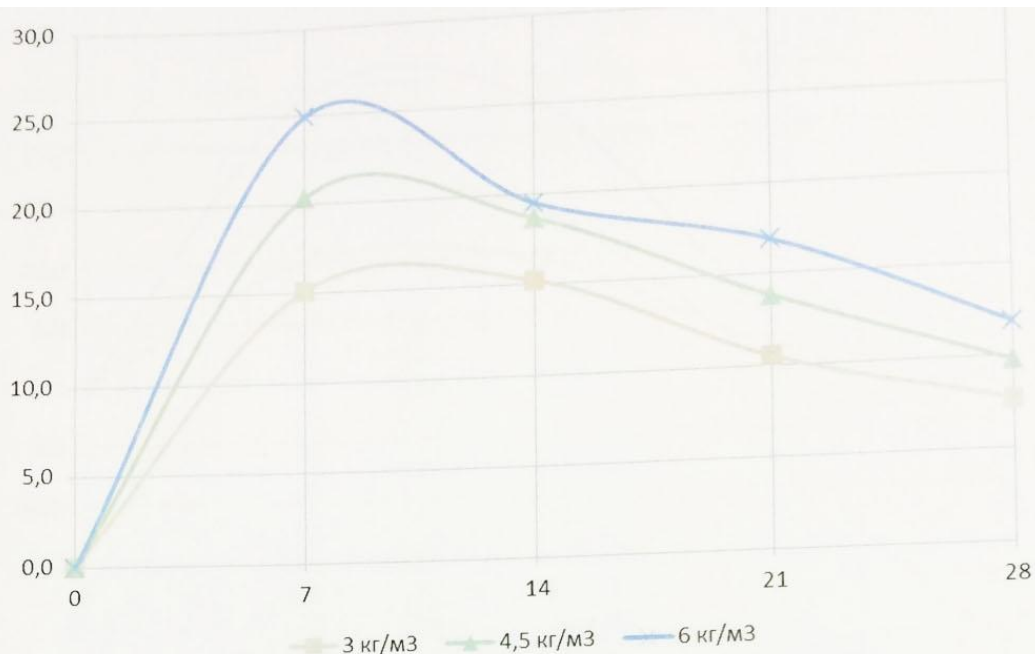


Рисунок 2.2 - Изменение относительной прочности при сжатии бетонов с фиброй Concrіx 50 в разном возрасте

Согласно графикам, приведенных на рисунках 2.1 и 2.2, максимальное увеличение прочности при сжатии бетонов с фиброй Concrіx 35 и Concrіx 50 наблюдается в возрасте 7 суток и составляет 12,1 и 24,9 % при максимальной дозировке фибры 6 кг/м<sup>3</sup>. После 7 суток твердения наблюдается снижение относительной прочности при сжатии фибробетооноов до 6,5 и 11,9 % в возрасте 28 суток при максимальной дозировке фибры 6 кг/м<sup>3</sup>. Для бетонов с содержанием фибры 3 и 4,5 кг/м<sup>3</sup> наблюдается аналогичная динамика изменения относительной прочности при сжатии с меньшими значениями.

На рисунках 2.3 и 2.4 приведены графики изменения относительной прочности на растяжение при изгибе бетонов с фиброй Concrіx 35 и Concrіx 50 при различных дозировках.

Характер графиков, приведенный для относительной прочности на растяжение при изгибе аналогичен зависимостям, установленным для изменения относительной прочности при сжатии в различные сроки твердения.



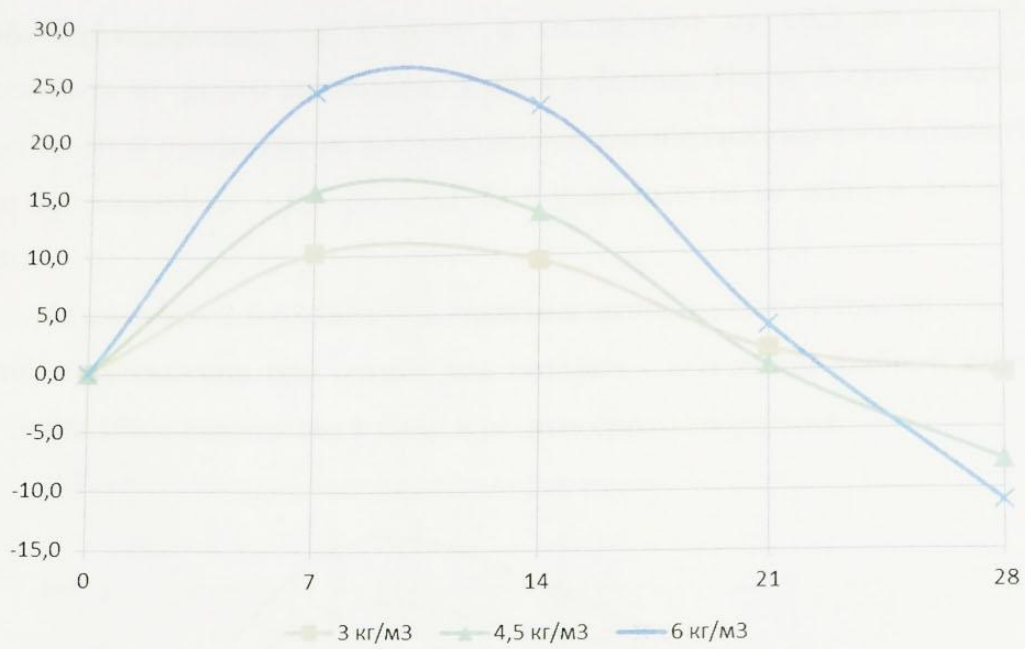


Рисунок 2.3 - Изменение относительной прочности на растяжение при изгибе бетонов с фиброй Concrіx 35 в различном возрасте

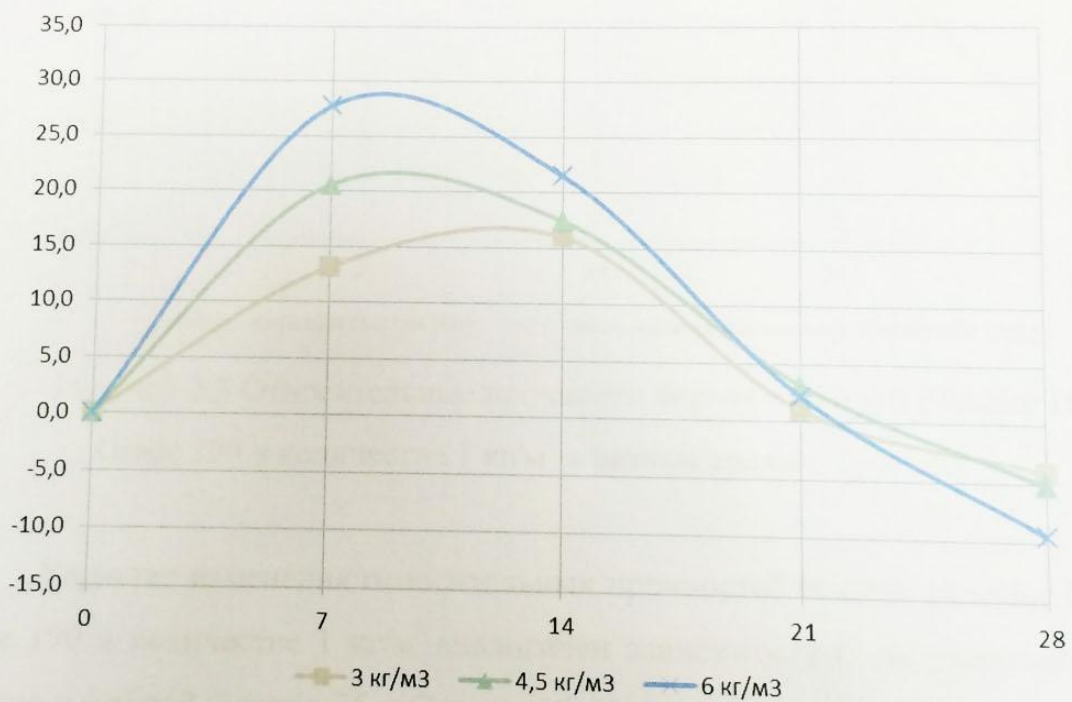


Рисунок 2.4 - Изменение относительной прочности на растяжение при изгибе бетонов с фиброй Concrіx 35 в различном возрасте

Максимальные значения относительной прочности на растяжение при

изгибе зафиксированы на 7 сутки и составляют от 10,3 до 27,7 % в зависимости от вида и количества фибры в бетоне. После 7 суток значения относительной прочности на растяжение при изгибе снижаются и в возрасте 28 суток составляют от -0,5 до -11,1 % в зависимости от вида и дозировки фибры.

На рисунке 2.5 приведены значения относительных прочностей при сжатии и растяжении при изгибе для бетонов с объемной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  в разные сроки твердения.

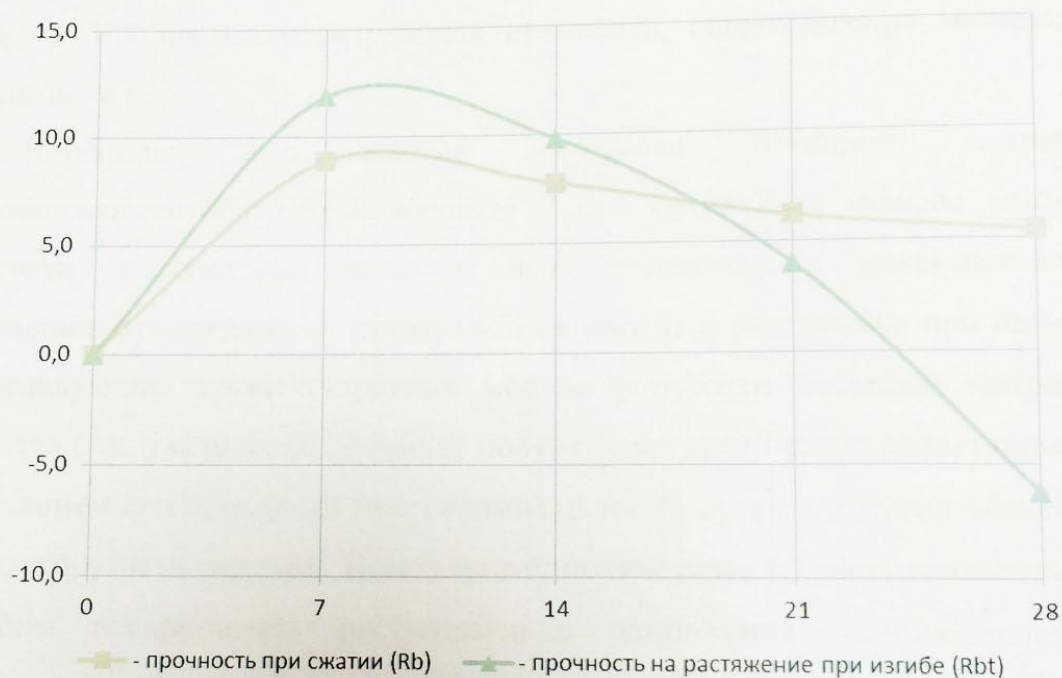


Рисунок 2.5 Относительные прочности бетона с фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  в разные сроки твердения

Характер изменения относительных прочностей бетона Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  аналогичен зависимостям, полученным для бетонов с фиброй Concrіx 35 и Concrіx 50. При этом значения относительной прочности при сжатии в различные сроки твердения изменяются в пределах — от 5,3 до 8,9 %, а относительной прочности на растяжение при изгибе от 11,8 до -6,2 %.

Неравномерность эффекта от введения полимерной фибры в



зависимости от сроков твердения (увеличение относительных прочностей фибробетонов на 7 сутки до 27,7 % с последующим понижением до - 11,1...11,9%) обусловлено свойствами бетонной матрицы, а именно – модулем упругости.

Эффективность влияния различных видов волокон на свойства бетона зависит от соотношения модулей упругости армирующих волокон ( $E_B$ ) и бетона ( $E_C$ ). При отношении ( $E_B/E_C$ ) > 1 возможно получение фибробетонов с повышенной прочностью на растяжение, трещиностойкостью и т.п. При ( $E_B/E_C$ ) < 1 - повышаются ударная прочность, сопротивление материала истиранию и пр.

Очевидно, что модуль упругости бетонной матрицы (неармированного бетона) в возрасте 7...14 суток был меньше модуля упругости применяемых волокон, что и привело к максимальному увеличению относительных прочностей на сжатие и растяжение при изгибе. В последующие сроки твердения модуль упругости бетонной матрицы возрастал (т.к. увеличение значений модуля упругости бетона сопоставимо с увеличением его прочности при сжатии), и на 28 суток превысил значение модуля упругости волокон. В результате, полимерные волокна оказались не способны воспринимать растягивающие напряжения, возникающие в процессе испытания образцов. Вследствие чего, на 28 суток твердения эффект от введения различных видов полимерных волокон оказался либо незначительным – прочность на сжатие увеличилась на 0,5...11,9 %, либо отрицательным – прочность на растяжение при изгибе уменьшилась на 0,5...11,1 %.

На основании результатов проведенных испытаний, установлено, что значимый положительный эффект от введения полимерной фибры Concrіx 35, Concrіx 50 и Fibrofor High Grade 190 на прочность при сжатии и прочность растяжении при изгибе тяжелых бетонов, возникает при средней прочности при сжатии бетонной матрицы от 35 МПа и менее.



Рисунок 2.6 – Относительные деформации усадки бетона в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток

По данным таблицы 2.6 при введении полимерной фибры наблюдается улучшение стойкости к истиранию. Положительный эффект введения полимерной фибры Concrіx 50 в дозировке 4,5 кг/м<sup>3</sup> составляет 28% от контрольного состава, а Fibrofor High Grade 190 в дозировке 1 кг/м<sup>3</sup> – 33% от контрольного состава. При этом по данным рисунка 2.6 наблюдается эффект снижения усадочных деформаций.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных экспериментальных исследований по определению влияния полимерной фибры Concrіx 35, Concrіx 50 и Fibrofor High Grade 190 на свойства бетонных смесей и бетонов установлено:

1. Плотность бетонных смесей при добавлении полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> - изменяется незначительно (в пределах 1,6 %) по сравнению с контрольным составом бетонной смеси средняя плотность которого равна 2550 кг/м<sup>3</sup>.

2. Время сохранения первоначальной подвижности, определенное в соответствии с ГОСТ 30459-2008, фибробетонных смесей с полимерной фиброй Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> - составляет 20 минут и не изменяется по сравнению с контрольным составом.

3. Введение полимерной фибры Concrіx 35 в бетонную смесь в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению марки по подвижности с П5 (осадка конуса 23 см) до П2...П1 (осадка конуса 9, 5 и 3 см соответственно).

4. Введение полимерной фибры Concrіx 50 в бетонную смесь в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению марки по подвижности с П5 (осадка конуса 23 см) до П2 (осадка конуса 8, 6 и 5 см соответственно).

5. Введение полимерной фибры Fibrofor High Grade 190 в бетонную смесь в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению марки по подвижности с П5 (осадка конуса 23 см) до П4 (осадка конуса 17 см).

6. Плотность бетонов с содержанием полимерной фибры Concrіx 35 и Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток - изменяется незначительно (в пределах от -1,2 до +2,8%) по сравнению с контрольным составом тяжелого бетона имеющего плотность 2530 кг/м<sup>3</sup>.

7. При введении полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> в контрольный состав тяжелого бетона (со средней прочностью при сжатии в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток – 30,5, 34,9, 39,1 и 43,0 МПа соответственно) предел прочности при сжатии увеличивается в возрасте:

- 7 суток на 3,3, 11,5 и 12,1 %;
- 14 суток на 5,4, 8,6 и 9,5 %;
- 21 суток на 3,8, 5,9 и 7,7%,
- 28 суток на 0,5, 4,4 и 6,5 % соответственно.

8. При введении полимерной фибры Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> в контрольный состав тяжелого бетона предел прочности при сжатии повышается в возрасте:

- 7 суток на 15,1, 20,3 и 24,9 %;
- 14 суток на 15,2, 18,6 и 19,5 %;
- 21 суток на 10,5, 13,8 и 16,9%,
- 28 суток на 7,7, 9,8 и 11,9 % соответственно.

9. При введении полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> в контрольный состав тяжелого бетона (со средней прочностью на растяжение при изгибе в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток – 3,21, 4,19, 5,02 и 5,61 МПа соответственно) предел прочности на растяжение при изгибе в возрасте:

- 7 суток повышается на 10,3, 15,6 и 24,3 %;
- 14 суток повышается на 9,5, 13,6 и 22,7 %;
- 21 суток повышается на 1,8, 0,4 и 3,8 %,
- 28 суток снижается на 0,5, 7,7 и 11,1 % соответственно.

10. При введении полимерной фибры Concrіx 35 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup> в контрольный состав тяжелого бетона (со средней прочностью на растяжение при изгибе в возрасте 7, 14, 21 и 28 суток – 3,21, 4,19, 5,02 и 5,61 МПа соответственно) предел прочности на растяжение при изгибе в возрасте:

- 7 суток повышается на 13,1, 20,6 и 27,7 %;
- 14 суток повышается на 16,0, 17,4 и 21,5 %;
- 21 суток повышается на 1,0, 3,2 и 2,2 %,



- 28 суток снижается на 4,1, 5,2 и 9,4 % соответственно.

11. Предел прочности при сжатии фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 8,9 %, 14 суток – на 7,7 %, 21 суток – 6,1 %, 28 суток – на 5,3 %.

12. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  увеличивается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 7 суток на 11,8 %, 14 суток – на 9,8 %, 21 суток – на 4,0 %.

13. Предел прочности на растяжение при изгибе фибробетона с содержанием полимерной фиброй Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1 \text{ кг/м}^3$  уменьшается по сравнению с контрольным неармированным составом в возрасте 28 суток на 6,2 %.

14. Установлено, что введение полимерной фибры Concrіx 50, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в составы тяжелых бетонов приводит к повышению стойкости к истиранию в среднем на 30%.

15. При введении полимерной фибры Concrіx 50 в количестве  $4,5 \text{ кг/м}^3$  в контрольный состав тяжелого бетона усадочные деформации по сравнению с контрольным образцом при твердении в возрасте:

- 3 суток уменьшаются на 53,5 %;
- 7 суток уменьшаются на 44,1 %;
- 14 суток уменьшаются на 40,0 %;
- 28 суток уменьшаются на 44,4 %.

16. При введении полимерной фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве  $1,0 \text{ кг/м}^3$  в контрольный состав тяжелого бетона усадочные деформации по сравнению с контрольным образцом при твердении в возрасте:

- 3 суток уменьшаются на 65,9 %;
- 7 суток уменьшаются на 43,5 %;

- 14 суток уменьшаются на 42,1 %;
- 28 суток уменьшаются на 39,0 %.

17. На основании результатов проведенных испытаний, установлено, что введение полимерной фибры Concrіx 35, Concrіx 50 в количестве 3, 4,5 и 6 кг/м<sup>3</sup>, а также фибры Fibrofor High Grade 190 в количестве 1 кг/м<sup>3</sup> в составы тяжелых бетонов приводит к повышению (от 10 % и более) их прочности при сжатии и прочности на растяжении при изгибе, при средней прочности при сжатии бетонной матрицы ниже 35 МПа.



## ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия
2. ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка
3. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний
4. ГОСТ 8736-93\* Песок для строительных работ. Технические условия
5. ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
6. ГОСТ 8269.0-97 - Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний
7. ГОСТ 8267-93\*. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
8. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний.
9. ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности
10. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.