



Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)

Разработка составов высокопрочного фибробетона для транспортного строительства

Нецвет А.А., магистр

Научный руководитель: д.т.н. Урханова Л.А.

Научный консультант: Бачарова А.С.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА



Применение панелей из сталефибробетона (Курская АЭС-2, Россия)

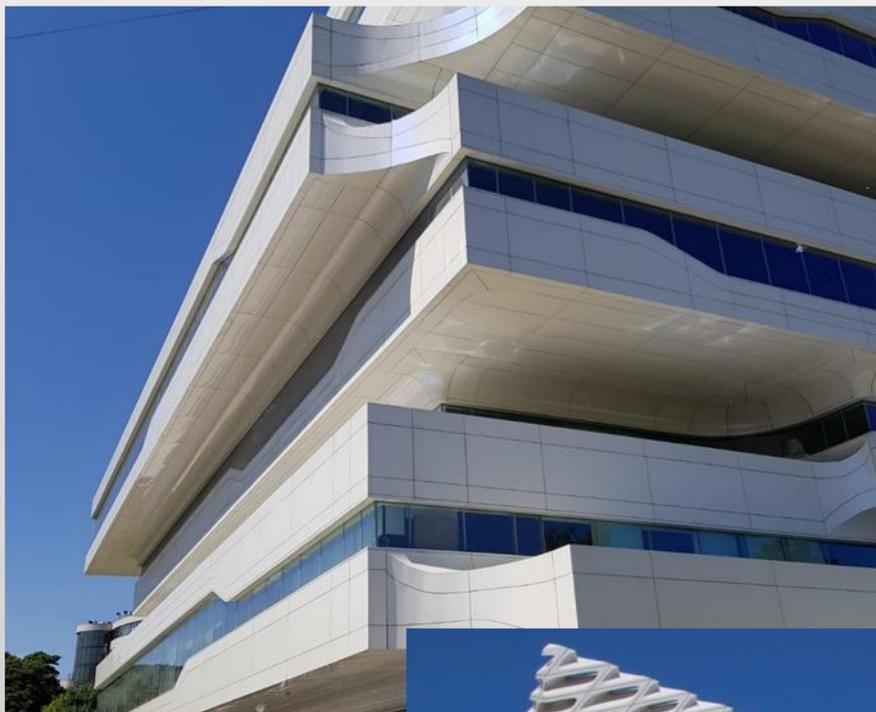


Применение несъемной опалубки из СПФБ для блоков АЭС (АЭС «Охома», Hitachi, Япония)

Промышленное строительство: АЭС во Франции, Японии и России

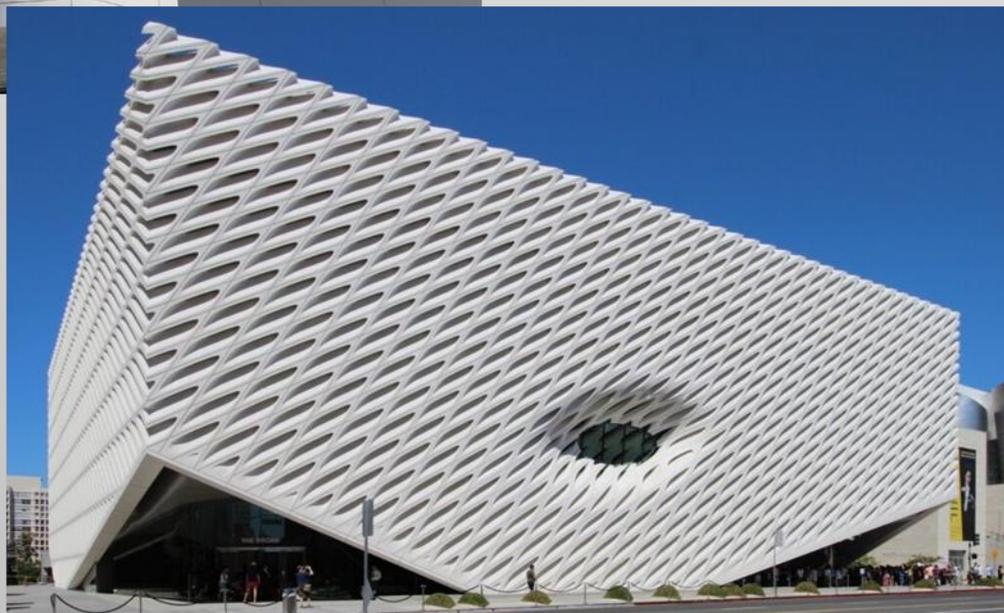
Технология изготовления несущих балок и несъемной опалубки

Существенное уменьшение срока строительства с увеличением показателя трещиностойкости и ударной вязкости



Проект с применением фибробетона в конструкции фасадной части (Dominion Tower, Москва)

Архитектурная выразительность здания Broad Museum, Лос-Андж.



Гражданское строительство:
возможность создавать интересные архитектурные образы и уникальные конструкторские решения

Фундаменты и перекрытия зданий.

Перфорированные тонкие фасадные элементы, консольные участки уменьшенной толщины, сейсмозащитные оболочки.

Облегченность монолитных элементов с повышением истираемости и износостойкости



Пешеходный мост с плитой из фибробетона, Канада



Коробчатое сечение пролетного строения из СПФБ, Япония

Устройство велопешеходных мостов в Канаде, Франции, Японии и Юго-Восточной Азии

Конструкция балок, пространственных ферм, плит и свай

Также использование в качестве облегченного варианта дорожного покрытия и защитного слоя

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ФИБРОБЕТОНА

Показатели	Сверхпрочный фибробетон (СПФБ)	Бетон/Тяжелый бетон
Плотность (кг/м ³)	2500-2700	1800-2500
Прочность на сжатие, R _b (МПа)	130-250	60
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	От 10	< 8
Прочность бетона на осевое растяжение, Мпа	6-12	< 4
Остаточная прочность после трещинообразования, МПа	8-15	-
Модуль упругости, МПа	>50	39,5
Водонепроницаемость, W	>20	20
Водопоглощение по массе, %	До 1,6	1-2,5
Морозостойкость, цикл	F ₂ 1000	F ₂ 200-500
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	>2	1,2-1,52
Необходимость в уплотнении	-	+
Долговечность	Более 250 лет	50 - 100



НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ▶ **«Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций» (Москва, НИИЖБ, 1987)**
- ▶ **СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции».**
- ▶ **СП 297.1325800.2017 «КОНСТРУКЦИИ ФИБРОБЕТОННЫЕ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФИБРОЙ. Правила проектирования»**
- ▶ **ГОСТ Р 59535-2021 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия».**
- ▶ **1.2.418-1.397.24 ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Фибробетон сверхпрочный со стальной фиброй для мостовых конструкций. Технические условия» (вид документа изменен с ПНСТ)**
- ▶ **ГОСТ Р 72000-2025 "Дороги автомобильные общего пользования. Фибробетон сверхпрочный со стальной фиброй для мостовых конструкций. Технические условия"**

Внутренние:

- ▶ **СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013 КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ИЗ ФИБРОБЕТОНА**
- ▶ **СТО 23.64.10-00281298-002-2022 ЦЕМЕНТУМ (ранее – Holcim) Сверхпрочный фибробетон для конструкций мостов и других сооружений. Производство, контроль качества и применение. Технические условия**

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- Изменение размеров применяемых конструкций за счет уменьшения сечения;
- В швах омоноличивания и переходных (околошовных) зонах;
- Поверхностный слой усиления в плите проезжей части;
- Усиление существующих конструкций – накладная плита железобетонных и сталежелезобетонных пролетных строений;
- Усиление приопорных участков балок воспринимающих значительные поперечные нагрузки;
- В качестве ремонтных составов на участках бетонных конструкций, с глубиной разрушения слоя более 40 мм;

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

- На торцевых участках балок Ж/Б балок, подферменниках и облицовке опор;
- В опорах мостовых сооружений, имеющих значительные разрушения защитного слоя бетона и требующих ремонта, в качестве несъемной опалубки;
- В элементах мостовых конструкций, обеспечивающих водонепроницаемость, водоотвод, снего- и льдоочистку, защиту от загрязнений, истираемость, ударную, химическую и физическую стойкость.





Карнизные блоки
путепровода в
составе 8 участка
трассы
М12, («ЦЕМЕНТУМ»)



Блок барьерного
ограждения «Нью-
Джерси», («ЦЕМЕНТУМ»)



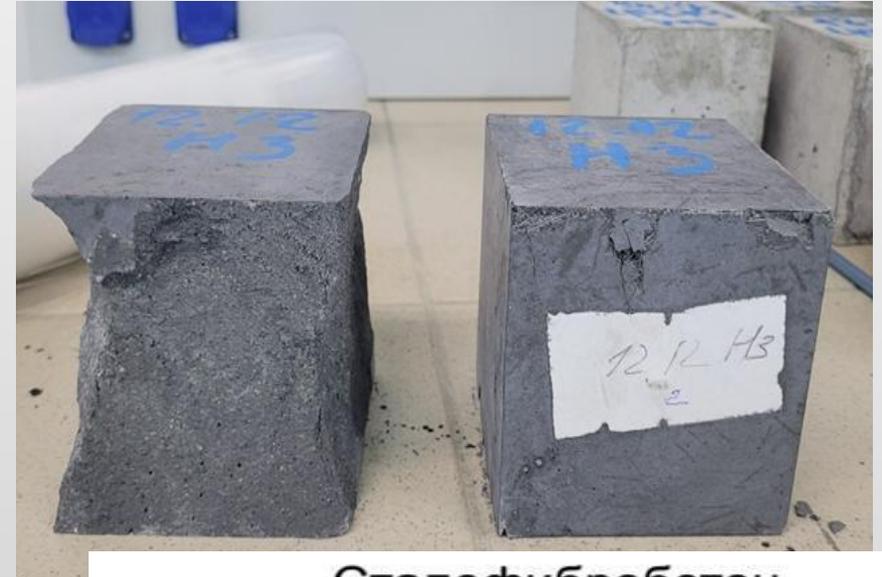
Участок
деформационного шва на
эстакаде ТТК



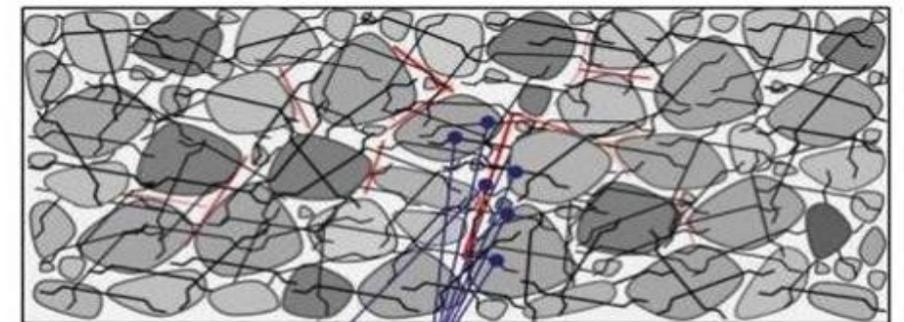
ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ФИБРОБЕТОНА

Высокий расход цемента – 650-700 кг/м³ соответствует высокой прочности полученного материала – 130-150 МПа при которой получают низкий удельный расход цемента на единицу прочности – 4-4,5 кг/МПа.

- Оптимально подобранное количество фибры (<2% по объему) не должно снизить текучесть смеси в рамках класса удобоукладываемости.
- Использование объемного армирования в значительной степени повышает модуль упругости материалы и меняет характер разрушения образцов



Сталефибробетон



1.Появление микротрещины
2.Перекрытие микротрещины фибрами

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФИБРОБЕТОНА

Порошково-активированный бетон (РПБ)



Цемент
(ЦЕМ 0 52,5)

Полифракционный песок (до 0,63)

Кварцевая мука

Микрокремнезем

Пластификатор

Добавки

МАТРИЦА

1. Вода
2. Фибра



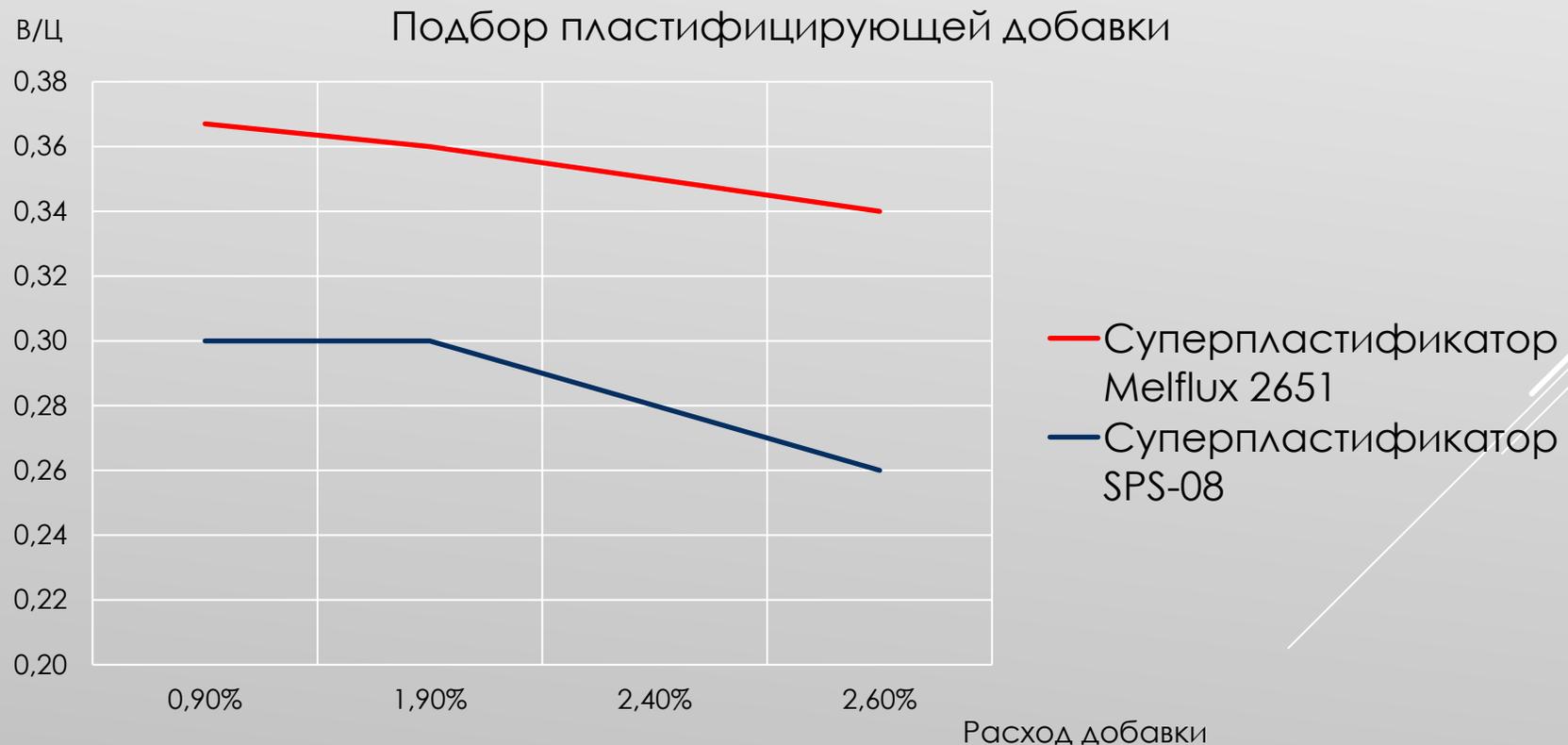
ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

- ▶ Портландцемент ЦЕМ I 42.5Н ; ЦЕМ 0 52.5Н (ОАО «Щуровский Цемент», Московская область, г. Коломна)
- ▶ Микрокремнезем (МК-85) - ультрадисперсный материал, из сферических частиц диоксид кремния в аморфной форме (размер зерен около 5 мкм). Массовая доля SiO₂,% - не менее 85% (ПАО «НЛМК» - Новолипецкий металлургический комбинат, г. Липецк).
- ▶ Песок– кварцевые пески фракции 0,3-0,6мм фракционированный. (ООО «СпецКварц»)
- ▶ Кварцевая мука (маршалит) – перемолотый тонкодисперсный кварцевый порошок с размером зёрен менее 0,1 мм ([«SilverBond R300 EW»](#) - Раменский ГОК)
- ▶ Фибра из низкоуглеродистой нержавеющей стали диаметром 0,3 мм и длиной 10-15 мм.
- ▶ **ДОБАВКИ:**
- ▶ Гиперпластификатор – ПАВ на основе поликарбоксилатной группы в формате сухого порошка белого цвета. Дозировка составляет от 0,9-2,5% по массе цемента.
- ▶ Пеногаситель - порошок пеногаситель на основе смеси полигликолей и специальных добавок на неорганическом носителе. Дозировка составляет от 0,1-0,5% по массе цемента.

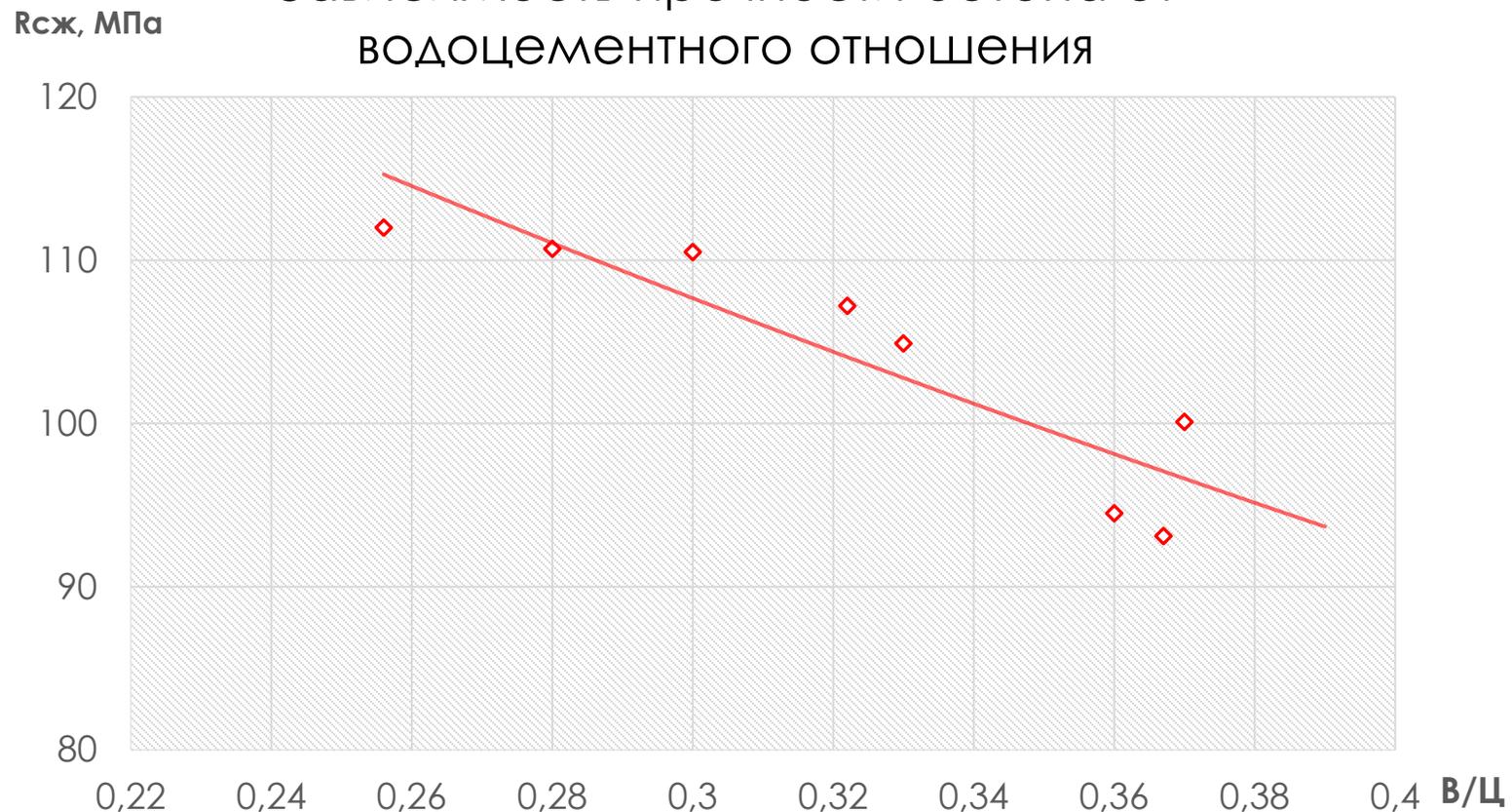
ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ФИБРОБЕТОНА

Особенности реакционно-порошкового бетона с добавлением фибры:

- изменение реологических свойств бетона за счет создания трехуровневой матрицы;
- повышение вязкости и самоуплотняемости;
- сочетание добавок микрокремнезема (МК-85) и суперпластификатора позволяет повысить скорость гидратации цемента при одновременном снижении В/Ц-отношения.



Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения



Для сохранения подвижности смеси требовалось сохранение высокого показателя водоцементного отношения. При этом прочностные показатели давали значительное снижение. Выбор оптимального количества пластифицирующей добавки (2%) нужной эффективности позволил уменьшить показатель В/Ц с увеличением прочности бетонной смеси.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Разработка состава и подготовка образцов для испытаний проводилась на базе лаборатории ООО «Цементум».

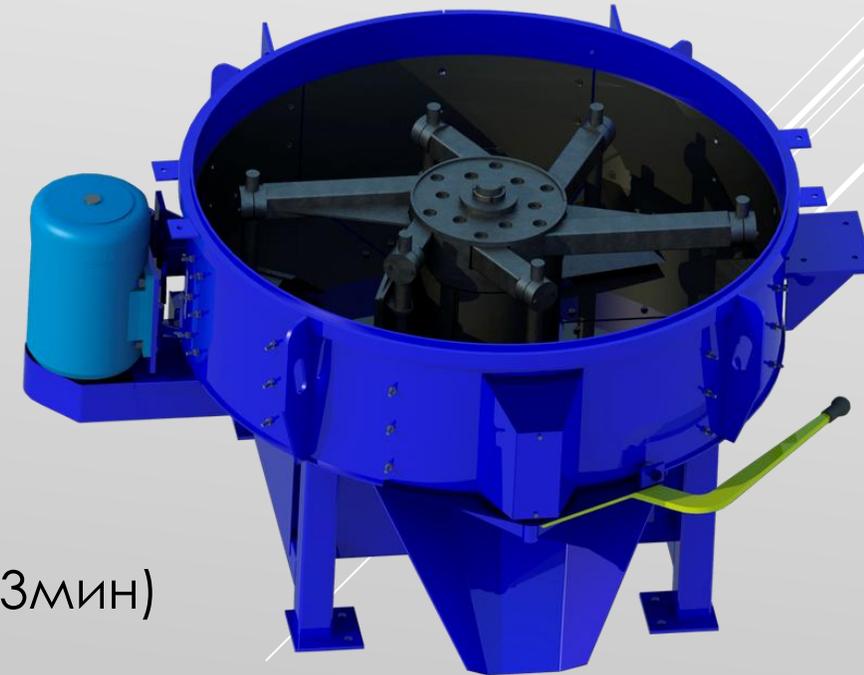
При подборе оптимального состава варьировалось количество цемента, суперпластификатора (его конфигурация) и В/Ц-отношение

- Предел прочности при сжатии образцов-кубов (ГОСТ 10180) – на 7 и 28 сутки соответственно: 105,2 и 136,8 МПа;
- Водонепроницаемость образцов (ГОСТ 12730.5)- W20;
- Морозостойкость (ГОСТ 10060) – F₂1000.



ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

- ▶ КРИТЕРИИ: последовательность соединения компонентов, временной интервал перемешивания и объединение сухих компонентов с жидкой фазой.
- ▶ В качестве оборудования в лабораторных условиях используется планетарный смеситель (тестосмеситель Hobard), на производстве необходимо также применять смеситель с планетарным вращением лопастей или лопастной смеситель – такая технологии предотвращает комкование фибры - «образование ежей».
- ▶ Последовательность введения компонентов:
 - Дозирование и перемешивание сухих компонентов, включая пластифицирующие добавки
 - Постепенное добавление воды (в течение 1 мин)
 - Формирование кластеров компонентов и их разрушение, формирование однородного подвижного цементного теста (до 15 мин)
 - Добавление фибры и перемешивание всех компонентов (3 мин)



A close-up photograph showing a cross-section of a damaged concrete structure. The concrete is dark and fragmented, with numerous thin, sharp rebar protrusions extending from the surface. A wooden beam is visible on the right side, partially embedded in the concrete. The background is a bright, overexposed sky.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!