

УДК 666.972.16

Бадертдинов И.Р. – аспирант

E-mail: ilnar.badertdinov@gmail.com

Габидуллин М.Г. – доктор технических наук, профессор

E-mail: gabmah@mail.ru

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор

E-mail: halima@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Балтанов М.А. – заместитель директора

Евсеев Б.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: info@fibre.ru

Научно-производственное объединение «Магнитогорск Фибра-Строй»

Адрес организации: 455000, Россия, г. Магнитогорск, ул. 9 Мая, д. 5

Рахимов М.М. – генеральный директор

МУП «Казметрострой»

Адрес организации: 420202, Россия, г. Казань, ул. Коротченко, д. 4

Низембаев А.Ш. – директор

Хорев Н.М. – заместитель директора

E-mail: kazmetro@mi.ru

ЖБИ МУП «Казметрострой»

Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

Влияние одно- и двухуровневого армирования стальной и стеклянной фиброй на время начала трещинообразования бетона класса В45

Аннотация

Целью работы является определение времени начала трещинообразования бетона класса В45, армированного стальной и стеклянной фиброй. Приведены результаты исследований влияния содержания стальной и стеклянной фибры на время трещинообразования.

Установлено, что введение фибры дает значительное увеличение времени до начала трещинообразования в 5-8 раз и скачкообразное увеличение времени до полного разрушения фибробетона, соответственно в 15-20 раз. Исследования проводились совместно с лабораторией МУП «Казметрострой» (г. Казань) и НПО «Магнитогорск Фибра-Строй» (г. Челябинск).

Ключевые слова: фибробетон, сталефибробетон, стеклофибробетон, многоуровневое армирование, стальная фибра, стеклянная фибра.

Введение

Кафедрой строительных материалов в течение последних 15 лет проводятся исследования по разработке новых эффективных составов и технологических режимов получения высокопрочных (более 60 МПа), водонепроницаемых (более W10), морозостойких (более F300) и одновременно экономичных и эффективных бетонов нового поколения [1-5].

По заказу МУП «Казметрострой» (г. Казань) к началу 2000 года в результате длительных лабораторно-технологических и опытно-промышленных испытаний был спроектирован состав такого бетона, который запатентован [6] авторами данной статьи.

Кроме того, обоснован выбор исходных материалов для приготовления бетона, разработаны рекомендации по его приготовлению и технологическая карта производства железобетонных блоков обделки перегонных тоннелей. Отличительной особенностью этих блоков является небольшая толщина, равная 250 мм, которая впервые в РФ на тот период была реализована при сооружении Казанского метрополитена. Для их производства использовались высокоточные формы, изготовленные во Франции, а для скоростной сборки тоннеля применялись проходческие щиты, поставленные канадской

фирмой «Lovat». Большая скорость проходки (15-20 м/сутки) тоннеля требовала высокой производительности выпуска железобетонных блоков. Поэтому одним из важных технологических требований к их производству было обеспечение ранней распалубочной прочности (не менее 15 МПа) уже через 12-18 часов после формования, а также в возрасте 28 суток высоких физико-механических свойств, изложенных выше. Для достижения такой прочности бетона в ходе разработки и оптимизации его состава определялись предел прочности бетона в возрасте 12, 18, 24 часов, 3, 7, 14 и 28 суток, а также морозостойкость и водонепроницаемость.

За последние 10 лет на разработанном составе бетона смонтирована линия Казанского метро протяженностью более 12 км. Реальный экономический эффект, полученный заводом ЖБИ «Казметрострой» за 10 лет по причине экономии исходных материалов, в том числе цемента, пара, а также высокой производительности работ, составил более 100 млн. рублей. Сегодня одной из актуальных задач для завода ЖБИ «Казметрострой» при производстве железобетонных блоков обделки перегонных тоннелей является снижение расхода каркасной арматуры, например, путем частичной замены ее дисперсным армированием.

С повышением прочности бетона растет и его хрупкость, снижаются пластично-деформационные свойства, что влечет за собой практически мгновенное разрушение материала при достижении им предельного состояния. Поэтому при проектировании сооружений из высокопрочного бетона конструктора закладывают повышенные коэффициенты безопасности и надежности. Следовательно, возникает необходимость повышения вязкости разрушения или трещиностойкости высокопрочного бетона, например, применением дисперсного армирования, обеспечивающего одновременно повышение прочности, в особенности при растяжении. Кроме того, дисперсное армирование позволяет уменьшить расход стержневой арматуры за счет увеличения несущей способности материала и сократить рабочее сечение конструкции. Установлено, что дисперсная арматура, располагаясь в бетонной матрице, создает пространственный каркас, который препятствует образованию, росту и распространению трещин, при этом повышается не только прочность, но и, главное, вязкость разрушения бетона.

В работах [7, 8] исследовано влияние различных видов фибры на свойства бетонов, определены критерии управления вязкостью разрушения высокопрочного сталефибробетона и установлено, что в ряду параметров дисперсного армирования, оказывающих влияние на прочностные и деформационные характеристики исследуемого материала, определяющим для повышения трещиностойкости является отношение длины волокна к его диаметру или геометрические характеристики фибры (волокон), а также их объемная доля в матрице и сцепление волокон с матрицей.

Целью данной работы является исследование влияния стальной фибры производства НПО «Магнитогорск Фибра-Строй» на прочность бетонной матрицы, в качестве которой принят разработанный оптимальный состав бетона класса В45, использованный при сооружении тоннелей Казанского метрополитена.

Для выполнения цели работы предварительно были спроектированы и испытаны различные составы фибробетона с введением в состав смесей различных видов фибры: стальной, стеклянной, базальтовой, полипропиленовой. Наилучшие характеристики фибробетона при одноуровневом армировании были получены при введении в состав бетонной смеси стальной фибры производства НПО «Магнитогорск Фибра-Строй», а также при двухуровневом армировании бетонной матрицы путем одновременного введения стальной фибры НПО «Магнитогорск Фибра-Строй» и стеклянной. Составы были разработаны на кафедре строительных материалов Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) с участием сотрудников ЖБИ «Казметрострой». Затем эти составы были апробированы в заводских условиях.

В данной статье рассматриваются только результаты испытания деформаций образцов восьми составов фибробетона на растяжение при изгибе, изготовленных в заводских условиях ЖБИ «Казметрострой».

Приводится анализ результатов влияния одно- и двухуровневого дисперсного армирования на трещинообразование фибробетона. В первом случае армирование производилось отдельно стальной и стеклянной, во-втором – комбинированное

армирование: макроструктура (бетон) армировалась стальной фиброй, микроструктура (цементный камень) – стеклянной фиброй.

Материалы, использованные в исследованиях

С целью приближения результатов испытания к реальным условиям, по согласованию с руководством завода ЖБИ «Казметрострой» и сотрудниками заводской лаборатории, были максимально использованы традиционные ингредиенты бетонной смеси, заложенные в патенте [6] на состав бетона и ежедневно используемые для производства железобетонных блоков обделки перегонных тоннелей Казанского метрополитена.

При обосновании выбора исходных материалов для разработки состава ВКБ, обладающего высокими показателями по прочности, водонепроницаемости и морозостойкости, в качестве основного регламентирующего документа использовали ТУ-5865-001-00043920-96 [9].

За основу в качестве бетона-матрицы был выбран разработанный оптимальный состав бетона. В качестве крупного заполнителя использовалась смесь гранодиоритового щебня и дробленого гравия, а в качестве мелкого заполнителя – смесь речного и обогащенного песка. Основные характеристики использованных материалов приведены ниже.

Вязущее:

Портландцемент марки 500 ПЦ 500-ДО-Н ГОСТ 10178-85; содержание C_3A – менее 6 % (производство ОАО «Вольскцемент», Саратовская обл., г. Вольск).

Крупный заполнитель (использовалась смесь гранодиоритового щебня и дробленого гравия в соотношении 70:30 мас. %, обеспечивающая наиболее плотную упаковку):

Щебень фракции 5-20 мм (до 70 мас. %), марки по прочности (дробимости) «М1400» из плотных горных пород для строительных работ по ГОСТ 8267-93 из габбро-диоритов (Сангалыкское месторождение, Республика Башкортостан, Учалинский р-н, дер. Мансурово);

Щебень из дробленого гравия фракции 5-20 мм (до 30 мас. %), влажность $W = 2$ %, марки по прочности «М1000» (производство ЗАО «Кулонстрой», г. Казань).

Мелкий заполнитель (использовалась смесь обогащенного и речного песка в соотношении 50:50 мас. %):

Песок обогащенный с $M_{кр} = 2,84$ (50 мас. %) по ГОСТ 8736-93 («Лесная гавань» ООО КНМ).

Песок речной с $M_{кр} = 1,94$ (50 мас. %).

Добавка:

Суперпластификатор СП-1 – 15 % раствор с плотностью $\rho = 1,069$ г/см³ (производство г. Первоуральск).

Фибра:

Стальная фибра – отобрано 200 кг стальной фибры производства ООО «НПО Магфибрастрой», отвечающей ТУ 0991-123-46854090-2001 и получаемой путем рубки стального листа. Длина 30, 35 и 40 мм, толщина 0,4; 0,7 и 1,0 мм. Модуль упругости для фибры, фрезерованной из слябов, – $2,1 \cdot 10^5$ МПа, для фибры, резаной из стального листа, – $2,0 \cdot 10^5$ МПа. Стальная фибра была доставлена автотранспортом из Челябинска в картонных коробках по 20 кг в коробке.

Стеклянная фибра (производство Китай) – отобраны две бобины массой по 18 кг (вид намотки – ровинг – цилиндрические бухты без патронов, внутренний конец скреплен с наружным). Жгут состоит из нескольких комплексных нитей, собранных из определенного количества (200-400 штук) элементарных нитей, склеенных на прямом замазливателе. Диаметр элементарной нити – 10-15 мкм. Свойства: сопротивление растяжению – 1,1-1,4 ГПа, модуль Юнга – 70-74 ГПа, растяжение на разрыв – 60 кгс, температура плавления – 830 °С, истинная плотность – 2700 кг/м³, средняя плотность – 1700-2250 кг/м³, влажность – менее 0,2 %. Стеклянная фибра была предварительно нарезана из бухты с помощью пистолета-ножа на волокна различной длины: 0,5; 1,0 и 3 см.

Предварительными исследованиями установлена оптимальная длина фибры для разработанного состава стеклофибробетона, равная 1 см, которая и применялась в исследованиях.

Вода

Использовалась водопроводная вода из крана.

Результаты исследований и технология приготовления

Для определения деформативных свойств фибробетона в заводской лаборатории МУП «Казметрострой» были изготовлены стандартные образцы – балочки размером 0,1x0,1x0,4 м. Составы представлены в таблице.

Таблица

Составы высокопрочного бетона при одно- и двухуровневом армировании

Наименование материалов	Ед. измер.	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси для составов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Портландцемент	кг	490	490	490	490	490	490	490	490
Щебень гранодиоритовый	кг	380	380	380	380	380	380	380	380
Щебень из дробленого гравия	кг	760	760	760	760	760	760	760	760
Песок обогащенный	кг	350	350	350	350	350	350	350	350
Песок речной	кг	360	360	360	360	360	360	360	360
Фибра стальная	кг	-	40	-	-	40	40	60	60
Фибра стеклянная	%	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,5	0,7
Суперпластификатор СП-1 (15 % раствор)	л	7	7	7	7	7	7	7	7
Вода	л	150	150	165	165	165	165	165	165
В/Ц		0,306	0,306	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337

Подвижность бетонной смеси принята одинаковой 7-8 см, которая применяется при изготовлении железобетонных блоков обделки перегонных тоннелей на заводе ЖБИ «Казметрострой». Приготовление бетонной смеси осуществляли в лабораторной мешалке принудительного действия (рис. 1).

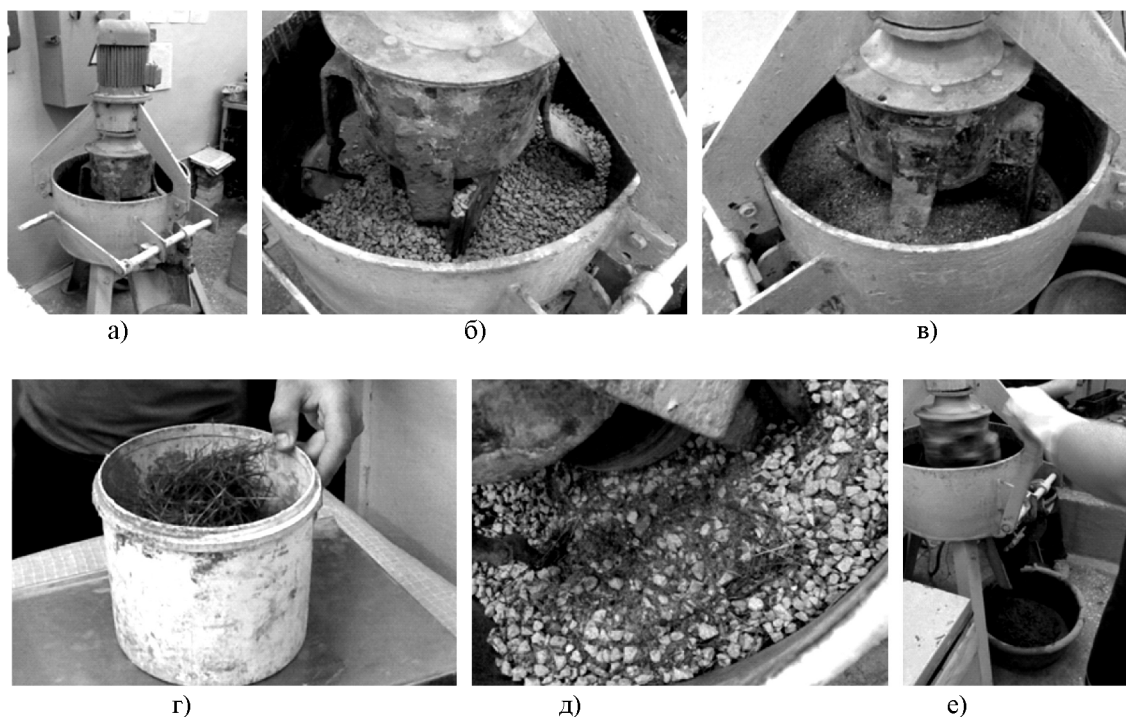


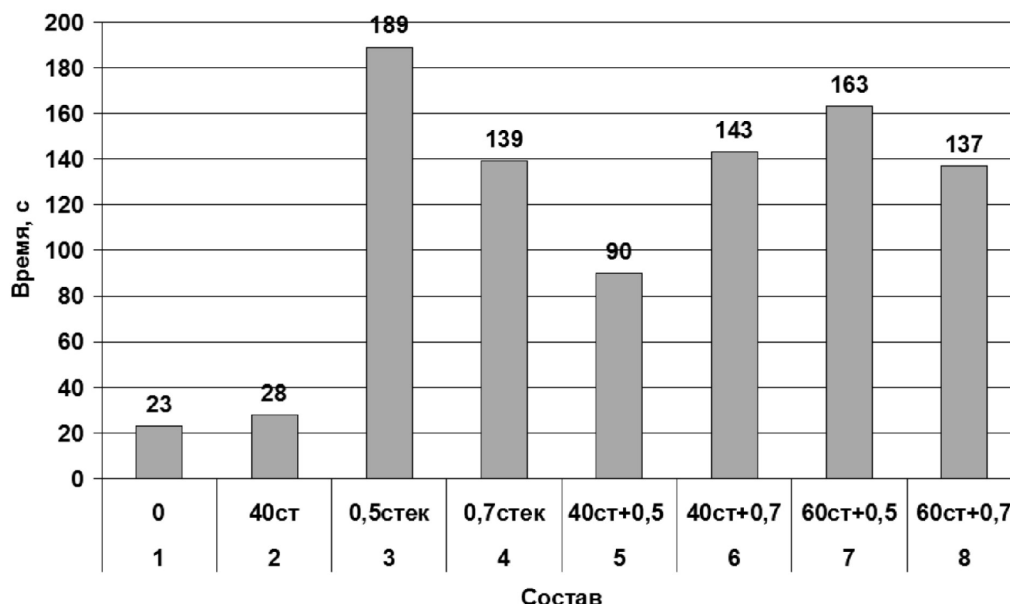
Рис. 1. Технология дозирования и приготовления сталефибробетонной смеси на базе завода ЖБИ «Казметрострой»: а – общий вид лабораторной бетономешалки; б – дозирование гранодиоритового щебня; в – предварительное сухое перемешивание щебня, песка и цемента; г – взвешивание стальной фибры; д – равномерное распределение фибры в смеси при перемешивании; е – разгрузка готовой смеси из мешалки

Дозирование компонентов смеси осуществляли в следующей последовательности:

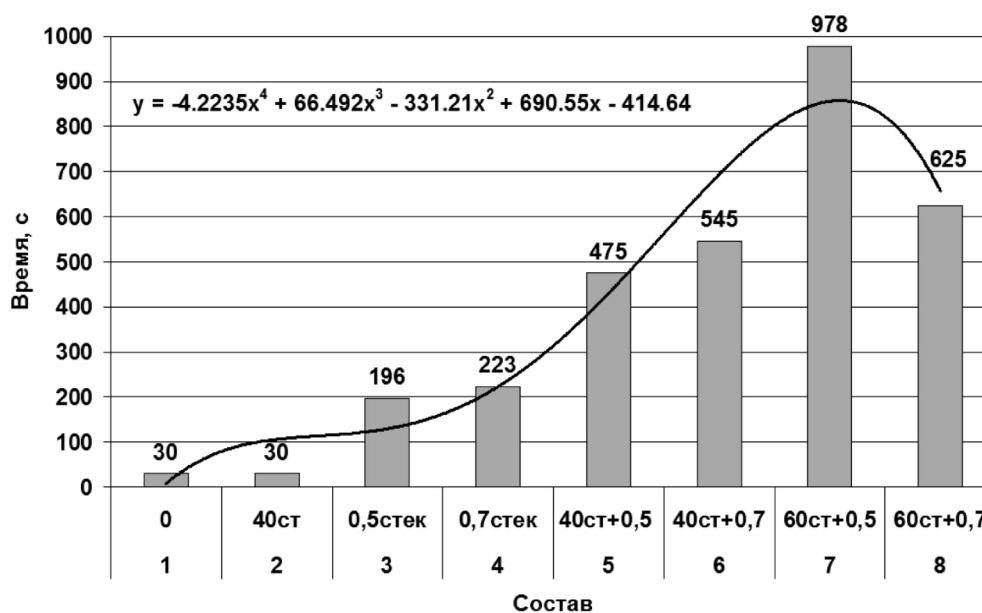
- дозирование в мешалку щебня, песка и цемента с последующим перемешиванием в сухом виде в течение 0,5 минут,
- равномерное добавление во вращающуюся мешалку стальной фибры и дополнительное перемешивание смеси в течение одной минуты,
- добавление в мешалку воды с 15 %-м водным раствором добавки СП-1 и окончательное перемешивание смеси в течение 2-2,5 минут.

После приготовления бетонную смесь выгружали в противень, определяли подвижность смеси и затем формовали на стандартной лабораторной виброплощадке контрольные образцы. Для определения деформаций на растяжение при изгибе и фиксации трещинообразования готовили для каждого состава смеси балочки размером 0,1x0,1x0,4 м в количестве 3 штук каждого состава. После выдержки образцов в течение 28 суток испытание осуществляли на гидравлическом прессе в лаборатории кафедры строительных материалов КГАСУ.

На контрольные образцы – балочки приклеивали тензодатчики для измерения величины деформации при ступенчатом увеличении нагрузки при изгибе. На каждой ступени нагружения проводили внешний осмотр поверхности образца с помощью лупы для фиксации образования первой трещины и при ее наличии фиксировали время начала трещинообразования. По результатам испытания были построены зависимости изменения деформации бетона от увеличения напряжения при изгибе. На рис. 2а представлены гистограммы изменения времени начала трещинообразования бетонных образцов от изменения состава смеси в процессе увеличения внутренних напряжений, возникающих при сосредоточенной изгибающей нагрузке, приложенной в середине пролета.



а)



б)

Рис. 2. Гистограммы изменения времени до начала трещинообразования (а) и до полного разрушения (б) фибробетона при растяжении на изгиб: состав 1 – без фибры; 2 – 40 кг/м³ стальной фибры; 3 – 0,5 % (от расхода цемента) стеклянной фибры; 4 – (0,7 % стеклянной фибры); 5 – (40 ст.+0,5 стек.); 6 – (40 ст.+0,5 стек.); 7 – (60 ст.+0,5 стек.); 8 – (60 ст.+0,7 стек.)

Видно, что без фибры (сост. 1) начало трещинообразования для бетона класса В45 наступает уже через 23 с после начала нагружения контрольных образцов.

При одноуровневом армировании или при добавлении в состав бетонной матрицы 40 кг стальной фибры (сост. 2) наблюдается небольшое увеличение начала трещинообразования – до 28 с. Картина резко меняется при одноуровневом армировании бетонной матрицы рубленой стеклянной фибры длиной 10 мм в количестве 0,5-0,7 мас. % (сост. 3 и 4). Время начала трещинообразования увеличивается соответственно до 189 и 139 с, что в 8,22 и 6,04 раза выше, чем у бетона матрицы.

Сравнительно высокие значения начала трещинообразования достигаются при использовании двухуровневого армирования: бетонной матрицы на макроуровне стальной фиброй, цементного камня на микроуровне стеклянной фиброй (сост. 5-8). При введении в состав бетонной смеси 40 кг стальной фибры на 1 м³ бетона и 0,5 мас. % стеклянной фибры (сост. 5) начало трещинообразования наступает через 90 с, что при сравнении с бетоном матрицы выше в 3,91 раза, а по сравнению с одноуровневым армированием только стальной фиброй (сост. 2) в 3,21 раза. Увеличение доли стальной фибры с 0,5 (сост. 5) до 0,7 мас. % (сост. 6) при двухуровневом армировании способствует увеличению времени начала трещинообразования с 90 до 143 с или в 1,59 раз. Еще более высокие показатели достигаются при увеличении доли стальной фибры до 60 кг на 1 м³ бетона (сост. 7). Увеличение доли стеклянной фибры до 0,7 мас. % (сост. 8) практически не влияет на начало трещинообразования по сравнению с составом 6.

Таким образом, можно значительно сместить начало трещинообразования при нагружении бетона класса В45 путем одноуровневого армирования бетонной матрицы рубленой стеклянной фиброй длиной 10 мм при дозировке 0,5-0,7 мас. %. Несколько меньший эффект достигается при двухуровневом армировании комбинированной фиброй (стальная + рубленая стеклянная). При этом оптимальные показатели достигаются при дозировке стальной фибры 40-60 кг на 1 м³ бетона и стеклянной 0,5-0,7 мас. %.

Кроме того, при испытании образцов на изгиб фиксировалось время от начала нагружения до полного разрушения образца при постоянной скорости приложения нагрузки (рис. 2б). Анализ характера кривой линии тренда и гистограммы показывает,

что более «стойким» к разрушению является бетон при двухуровневом армировании по сравнению с одноуровневым. Так, если бетонная матрица (сост. 1 без армирования) и бетон, армированный только стальной фиброй (сост. 2) в количестве 40 кг/м³, разрушаются уже через 30 с, то при армировании только стеклянной фиброй в количестве 0,5-0,7 мас. % бетон «держится» 196-223 с (сост. 3, 4). Более стойким бетон получается при двухуровневом армировании. При одновременном армировании бетона стальной и стеклянной фиброй разрушение сталестеклофибробетона наступает только через 475-978 с (сост. 5-8). При этом наибольший показатель (978 с) достигается при введении в состав смеси 60 кг стальной и 0,7 мас. % стеклянной фибры. Следовательно, можно говорить о синергетическом эффекте влияния двухуровневого армирования бетона класса В45 на стойкость бетона против разрушения при изгибе.

Заключение

1. Доказано экспериментами, что одноуровневое армирование бетона класса В45 рубленой стеклянной фиброй длиной 0,01 м в количестве 0,5 и 0,7 мас. % (от расхода цемента) способствует скачкообразному повышению времени начала трещинообразования образцов при изгибе по сравнению с бетоном матрицы (без фибры), соответственно, в 6,8 и 5 раз. Аналогичное увеличение в 6,53 и 7,43 раз наблюдается и времени до полного разрушения образца при постоянной скорости прикладываемой нагрузки при изгибе соответственно.

2. Двухуровневое армирование матрицы стеклянной и стальной фиброй позволяет более длительное время сохранять работоспособность бетона при увеличении нагрузки при изгибе, т.к. доказано, что составы 6 (40 ст.+0,7 стек.) и 8 (60 ст.+0,7 стек.) дают значительное увеличение времени до начала трещинообразования соответственно в 6,25 и 5,96 раз, и скачкообразное увеличение времени до полного разрушения фибробетона, соответственно в 18,2 и 20,8 раза.

3. Наилучшие результаты получены для состава 7 (60 ст. + 0,5 стек.), т.к. наблюдается скачкообразное увеличение начала трещинообразования по сравнению с нулевым составом в 7,1 раза, а длительность времени до полного разрушения увеличивается в 32,6 раза.

Список литературы

1. Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С., Крук Ю.Е., Клементьев Г.А., Хахимов Ф.С., Хорев Н.М. Производство блоков колец обделки для Казанского метрополитена // Подземное пространство мира, 2001. № 1-2. – С. 18-24.
2. Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Гильфанов Р.М., Смирнов В.И., Журавлев В.И., Хорев Н.М. Разработка и реализация программного обеспечения «Concrete» для проектирования и корректировки высококачественных бетонов // Бетон и железобетон, 2002, № 6. – С. 2-6.
3. Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С. Об эффективности использования интегрально-капиллярных систем в производстве высококачественного бетона для метроостроения // Статья в Сб. трудов годовичного собрания РААСН «Ресурс- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе». – Москва-Казань, 2003. – С. 384-388.
4. Рахимов М.М., Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г. Освоение производства блоков колец обделки Казанского метро на базе завода ЖБИ «Казметрострой» // Метро и тоннели, 2002, № 4. – С. 23-33.
5. Рахимов Р.З., Рахимов М.М., Габидуллин М.Г. Комплексное решение задач организации производства колец обделки тоннелей Казанского метрополитена. // Труды Международной научно-практической конф. «Тоннельное строительство России и стран СНГ в начале века: опыт и перспективы». – М., 2002. – С. 237-240.
6. Патент № 2210552 от 16.04.2001 г. по заявке № 2001111538. Приоритет от 16.04.2001 Бетонная смесь // Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С.,

Клементьев Г.А., Рахимов М.М., Хакимов Ф.С., Низембаев А.Ш., Давлетбаева Ф.И.
Патентообладатель Габидуллин М.Г.

7. Голубев В.Ю. Высокопрочный бетон повышенной вязкости разрушения // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. – Санкт-Петербург, 2009. – 19 с.
8. Парфенов А.В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. – Уфа, 2004. – 19 с.
9. ТУ 5865-001-00043920-96. Изделия сборные железобетонные для сооружений метрополитена. – М.: Корпорация «Трансстрой», МОО «Тоннельная ассоциация», 1996. – 28 с.

Badertdinov I.R. – post-graduate student

E-mail: ilnar.badertdinov@gmail.com

Gabidullin M.G. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: gabmah@mail.ru

Rakhimov R.Z. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: halima@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Baltanov M.A. – deputy director

Evseev B.A. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: info@fibre.ru

Scientific and Production Association «Magnitogorsk fiber-Story»

The organization address: 455000, Russia, Magnitogorsk, 9 May st., 5

Rakhimov M.M. – director general

MUP «Kazmetrostroy»

The organization address: 420202, Russia, Kazan, Korotchenko st., 4

Nizembaev A.Sh. – director

Horev N.M. – deputy director

ZhBI MUP «Kazmetrostroy»

E-mail: kazmetro@mi.ru

The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementieva st., 1

Influence of one- and two-level reinforcement steel and glass-reinforcement on the cracking start time of class B45 concrete

Resume

In this paper we analyzed effect of the amount and type of fiber on the start time of crack development in concrete, Steel-Fiber-Reinforced-Concrete, Fiberglass Reinforced Concrete and Steel-Glass-Reinforced concrete. In order to bring the test results to real conditions, in cooperation with the management of reinforced concrete items plant «Kazmetrostroy» and plant laboratory staff and representatives of the NGO «Magnitogorsk fiber-Story», traditional ingredients of concrete mixture were used same mixtures as those used in making concrete blocks lining tunnels of Kazan subway.

To determine the deformation properties fiber concrete standard samples were made. Diagrams of concrete deformation changes under bending stress increases were drawn based on the test results. Studies have shown that a two-level reinforcement matrix glass and steel fiber allows longer and increased load bearing work of concrete in flexed state. A significant increase up to 5-8 times in the time before the cracking starts was achieved. An increase in the time period to complete destruction of the fiber-reinforced concrete has increased up to 15-20 times.

Keywords: fiber, Steel-Fiber-Reinforced-Concrete, Fiberglass Reinforced Concrete, layered reinforcement, steel fiber, glass fiber.

References

1. Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Smirnov, D.S., Crook Yu.E., Clement G.A., Khakimov F.S., Horev N.M. Block production of rings lining for Kazan metro. // Jh. underground space of the world. – M.: TIMR, 2001. № 1-2. – P. 18-24.
2. Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Gilfanov R.M., Smirnov D.S., Zhuravlev V.I., Horev N.M. Development and implementation of software «Consrete» design and high-quality concrete adjustment. // Jh. «Concrete and reinforced concrete», № 6, 2002. – P. 2-6.
3. Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Smirnov D.S. About the effectiveness of an integrated-capillary systems in the production of high quality concrete for subway construction. // An article in the Annual Meeting com. works RAASN «Resource and energy conservation as the motivation of creativity in architecture and construction process». – Moscow-Kazan, 2003. – P. 384-388.
4. Rakhimov M.M., Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G. Mastering the production units of the Kazan metro rings lining at the plant JhBI «Kazmetrostroy». // The article in the magazine «Metro and tunnels». – M., № 4, 2002. – P. 23-33.
5. Rakhimov R.Z., Rakhimov M.M., Gabidullin M.G. Comprehensive resolution of the organization of production rings lining Kazan underground tunnels. // An article in the Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. «Tunnel construction in Russia and CIS countries at the beginning of the century: Experience and Prospects», Russia. – M., 2002. – P. 237-240.
6. Patent number 2210552 on 16.04.2001, on the application № 2001111538. Priority from 04.16.2001 concrete. // Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Smirnov D.S., Clement G.A., Rakhimov M.M., Khakimov F.S., Nizembaev A.S., Davletbaeva F.I. Patentee Gabidullin M.G.
7. Golubev V.Y. High-performance concrete high fracture toughness. // Abstract. diss. on competition. uch. Art. Ph.D. – St. Petersburg, 2009. – 19 p.
8. Parfenov A.V. Impact endurance concrete on steel and synthetic fibers. // Author. diss. on competition. uch. Art. Ph.D. – Ufa, 2004. – 19 p.
9. TU 5865-001-00043920-96. Precast concrete products for the construction of underground. M. Corporation «Transstroy» IPO «Tunnel Association», 1996. – 28 p.