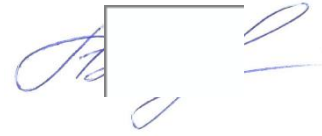


На правах рукописи



Баранов Александр Сергеевич

**ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ ГИПЕРПРЕССОВАННОГО ФИБРОБЕТОНА**

Специальность: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» на кафедре «Строительство».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Сеськин Иван Ефимович

Официальные оппоненты: **Недосеко Игорь Вадимович**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», кафедра
«Строительные конструкции», профессор;

Смирнова Ольга Михайловна
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный уни-
верситет», кафедра «Строительство горных пред-
приятий и подземных сооружений, доцент;

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский государственный тех-
нический университет»

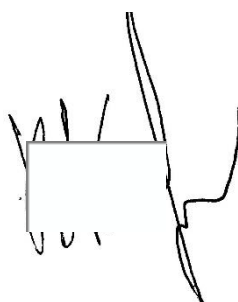
Защита диссертации состоится 27 марта 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.01 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/baranov-aleksandr-sergeevich>

Автореферат разослан « _____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Конюшков Владимир Викторович

I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. В настоящее время в производстве большого количества изделий, таких как: тротуарные плитки разных форм и конфигураций, бордюрные камни, стеновые блоки, столбы ограждения, и др. используется технология формования бетона прессованием. Номенклатура изделий, изготавливаемых таким способом, продолжает неуклонно расти. Совершенствуется и технология их производства. Для формования таких изделий используются самые разнообразные отечественные и зарубежные установки. В зависимости от мощности прессового оборудования и размеров изделия прессование бетона осуществляется при разном удельном давлении, которое может изменяться достаточно в широких пределах и достигает, по данным литературных источников до 30 МПа.

В настоящее время большое распространение получила технология формования мелкоштучных изделий гиперпрессованием. Не смотря на достаточно большой объем производства таких изделий, широкое распространение данной технологии сдерживается тем, что при сбросе давления прессования в бетоне возникают деформации упругого последействия, способствующие некоторому разуплотнению бетона, что не может не сказаться на снижении его прочности и, соответственно, долговечности. Представляется, что снижения деформации упругого последействия и, следовательно, увеличения прочности и долговечности изделий из гиперпрессованного бетона можно достичь путем снижения напряжений в растворе бетона за счет снижения величины водоцементного отношения. Для этого представляется возможным применение в данной технологии пластифицирующей добавки. Также, снижению деформации упругого последействия способствует увеличение начальной прочности бетона. Как показал проведенный анализ методик повышения прочности цементных бетонов, применение дисперсного армирования способствует значительному увеличению прочности бетона. В то же время, изучению комплексного влияния дисперсного армирования и суперпластификатора на свойства гиперпрессованного бетона до настоящего времени должного внимания не уделялось.

Степень разработанности темы исследования. Результаты исследований в области прессования бетонов, дисперсного армирования, суперпластификаторов, разработки эффективных технологических решений повышения прочности и долговечности бетонов, ставшие теоретической основой диссертационной работы, получены в разное время В. В. Бабковым, Ю. М. Баженовым, И. В. Бороховских, Н. А. Бочаровым, С. А. Бутенко, В. С. Демьяновой, В. И. Калашниковым, Л. Г. Курбатовым, Л. Р. Маиляном, Г. В. Мурашкиным, И. В. Недосеко, Г. В. Несветаевым, А. Г. Новицким, Т. М. Петровой, В. П. Поповым, Ю. В. Пухаренко, Ф. Н. Рабиновичем, М. Ш. Саламановой, А. В. Саталкиным, И. Е. Сеськиным, Г. Н. Симакиной, О. М. Смирновой, А. М. Харитоновым, А. И. Хлыстовым, А. Е. Чуйкиным, Н. Г. Чумаченко и др.

Цель исследований – улучшение прочностных показателей и долговечности изделий из гиперпрессованного бетона за счет снижения деформации упругого последействия.

Задачи исследования:

1. Изучение влияния интенсивности гиперпрессования на величину деформации упругого последействия гиперпрессованных бетонов.
2. Изучение влияния дисперсного армирования на снижение деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности.
3. Исследование комплексного влияния дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 на снижение величины деформации упругого последействия.
4. Исследование влияния дисперсного армирования на долговечность (морозостойкость) гиперпрессованного бетона.
5. Разработка проекта реконструкции технологической линии для производства мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона.

Объект исследования – мелкоштучные изделия из гиперпрессованного фибробетона (тротуарная плитка).

Предмет исследования – прочность и долговечность гиперпрессованного фибробетона.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Показано, что при увеличении интенсивности гиперпрессования, в момент снятия прессующего давления, происходит нарушение структуры гиперпрессованного бетона за счет деформации упругого последействия, достигающего 9 %.
2. Экспериментально установлено снижение величины деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона более чем в 3 раза при армировании его высокомодульными волокнами.
3. Подтверждена гипотеза о возможности снижения деформации упругого последействия путем комплексного применения пластифицирующей добавки и дисперсного армирования высокомодульными волокнами.
4. Установлено увеличение более чем в 2 раза морозостойкости гиперпрессованного бетона за счет снижения деформации упругого последействия при его дисперсном армировании.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке эффективных методов снижения влияния деформации упругого последействия на прочность и долговечность гиперпрессованного бетона и изделий из него.

Практическая значимость работы заключается:

– в разработке проекта реконструкции технологической линии для производства мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона. Эффективность данной технологии заключается в более высокой производительности линии гиперпрессования, по сравнению с другими технологиями, и снижении эксплуатационных расходов за счет значительного повышения их долговечности;

– в применении искусственных нейронных сетей с целью прогнозирования прочности гиперпрессованного фибробетона в зависимости от режима прессования, расхода суперпластификатора С-3 и количества фибры;

– в использовании результатов исследований при чтении лекций по дисциплине «Строительные конструкции», в лабораторных занятиях по дисциплине «Строительные материалы» и дипломном проектировании студентами дневного отделения специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство».

Методологической основой и методами диссертационного исследования послужила теория строительного материаловедения в области повышения прочности и долговечности бетона.

На защиту выносятся результаты теоретических и экспериментальных исследований:

– влияния интенсивности гиперпрессования на величину деформации упругого последствия;

– влияния дисперсного армирования на величину деформации упругого последствия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона;

– снижения деформации упругого последствия в гиперпрессованном бетоне при комплексном воздействии дисперсного армирования и суперпластификатора С-3;

– влияния деформации упругого последствия на долговечность гиперпрессованного бетона при армировании базальтовыми волокнами;

– технико-экономическое обоснование применения технологической линии по производству мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, а именно: пункту области исследования: п. 15 «Развитие технологии получения сборных строительных изделий и реконструкции действующих технологических линий и производств».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов работы подтверждена сходимостью большого числа экспериментальных данных, полученных с применением комплекса стандартных методов испытаний, специальных форм, в которых моделировалась технология формирования цементного камня и бетона в изделиях, использованием приборов и оборудования, прошедших государственную поверку специализированными организациями. Выводы, полученные в работе, официально апробированы и внедрены в строительную практику.

Основные положения и результаты диссертации доложены на трех научно-технических конференциях студентов и аспирантов СамГУПС, на одной всероссийской научно-технической конференции преподавателей, научных работников, аспирантов и соискателей Самарского государственного архитектурно-строительного университета, и на пяти международных научно-практических конференциях:

– 15-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении». Брянск: БГТА. 2012.

– Технические науки – от теории к практике»: материалы X международной заочной научно-практической конференции. (28 мая 2012 г.); [под ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов, 2012.

– Технические науки – от теории к практике / Сб. ст. по материалам XXXIV международной заочной научно-практической конференции №5 (30). Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов, 2014.

– Наука и образование транспорту / материалы VII Международной научно-практической конференции. Самара, 2014 г.

– Наука и образование транспорту / материалы IX Международной научно-практической конференции. Самара, 2016 г.

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 11 работах, общим объемом 2, 6 п. л., лично автором – 1,98 п. л., в том числе 3 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка литературы, включающего 121 наименование. Изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 41 таблицу, 8 приложений.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, ее научная новизна, цель исследования, дается краткое описание структуры диссертационной работы.

Первая глава посвящена вопросам развития в нашей стране и за рубежом основных технологических приемов повышения прочности и долговечности бетона за счет уплотнения прессырованием, основным проблемам данной технологии и путям ее решения (применение дисперсного армирования и суперпластификатора С-3).

Во второй главе приведены используемые при изготовлении образцов исходные сырьевые материалы, а также объем экспериментальных исследований и методики их проведения.

Третья глава посвящена повышению начальной прочности гиперпрессованного бетона при использовании высокомодульных (базальтовых) волокон с целью снижения деформации упругого последействия.

В четвертой главе приведены результаты исследования снижения величины деформации упругого последействия при комплексном воздействии дисперсного армирования и суперпластификатора С-3.

Пятая глава посвящена внедрению результатов исследований в практику производства мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона.

В заключении изложены результаты диссертационного исследования, указаны перспективы дальнейших исследований по теме работы.

II ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Показано, что при увеличении интенсивности гиперпрессования, в момент снятия прессующего давления, происходит нарушение структуры гиперпрессованного бетона за счет деформации упругого последействия, достигающего 9 %.

В настоящее время существенным недостатком технологии гиперпрессования бетона, сдерживающим широкое применение изделий из него, является проявление упругого последействия в момент снятия давления прессования, приводящее к нарушению структуры гиперпрессованного бетона и снижению его прочности, о чем свидетельствуют работы Ю. М. Баженова, Г. В. Мурашкина и И. Е. Сеськина. Однако, изучению характера развития данных деформаций, измерения их величины в зависимости от технологических факторов и методам их предотвращения до настоящего времени не уделялось должного внимания.

С учетом этого в рамках диссертационной работы были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния деформации упругого последействия на прочность при раскалывании гиперпрессованного бетона.

Экспериментальные исследования производились на опытных образцах – цилиндрах диаметром 5 см и высотой 7 см, в которых моделировалась технология формования цементных бетонов в изделиях.

В качестве вяжущего принят портландцемент марки ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 32,5Б. Величина водоцементного отношения – 0,4. Состав бетона: портландцемент – 500 кг/м³, вода – 200 кг/м³, песок (модуль крупности 2,6) – 560 кг/м³, щебень (фракция до 10 мм) – 1200 кг/м³. Режим гиперпрессования был принят таким, который используется при изготовлении мелкоштучных изделий: кратковременное гиперпрессование продолжительностью не более 15 с, интенсивностью 6, 12 и 24 МПа. Для сопоставления изготовлены контрольные образцы, не подвергнутые гиперпрессованию, уплотненные вибрированием продолжительностью 15 с. После изготовления образцы помещались в влажную среду и по истечению срока твердения в 28 суток подвергались испытанию на растяжение при раскалывании.

Результаты экспериментальных исследований показали (рис. 1, табл. 1), что гиперпрессование бетонной смеси с высокой интенсивностью (24 МПа) пагубно сказывается на прочности гиперпрессованного бетона. Прежде всего, это связано с тем, что при высокой интенсивности прессования все компоненты бетонной смеси, в том числе воздух оказываются сжатыми, а после снятия давления прессования в ней проявляются растягивающие напряжения, приводящие к увеличению объема уже запрессованного образца и, соответственно, к разуплотнению и снижению прочности гиперпрессованного бетона.

Для подтверждения вышесказанного были проведены экспериментальные исследования по измерению величины упругого последействия в зависимости от величины давления гиперпрессования (рис. 2). Измерения проводились в следующей последовательности: перед тем как снять давление гиперпрессования съемная крышка-поршень – 2 фиксируется болтами – 3. После сброса давления до 0 сверху на центр крышки устанавливается индикатор часового типа с ценой

деления 0,01 мм – 4. Затем отворачиваются болты – 3, позволяя тем самым крышке-поршню перемещаться вверх. Указанные перемещения и есть увеличение в объеме запрессованного бетона (деформации упругого последействия). Однако, данная величина не является абсолютной так, как в расчет не принимается вес крышки-поршня.

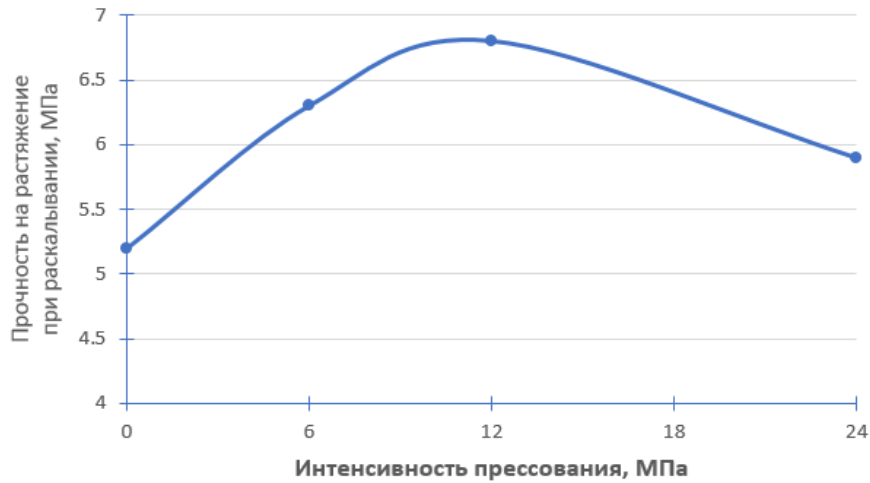


Рисунок 1 – Влияние упругого последействия на прочность на растяжение при раскалывании гиперпрессованного бетона

Таблица 1 – Прочность гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа / Плотность образца г/см ³
ЦЕМ Ш/А-К (Ш-П) 32,5Б	0	5,2/2,46
	6	6,3/2,511
	12	6,8/2,528
	24	5,9/2,51

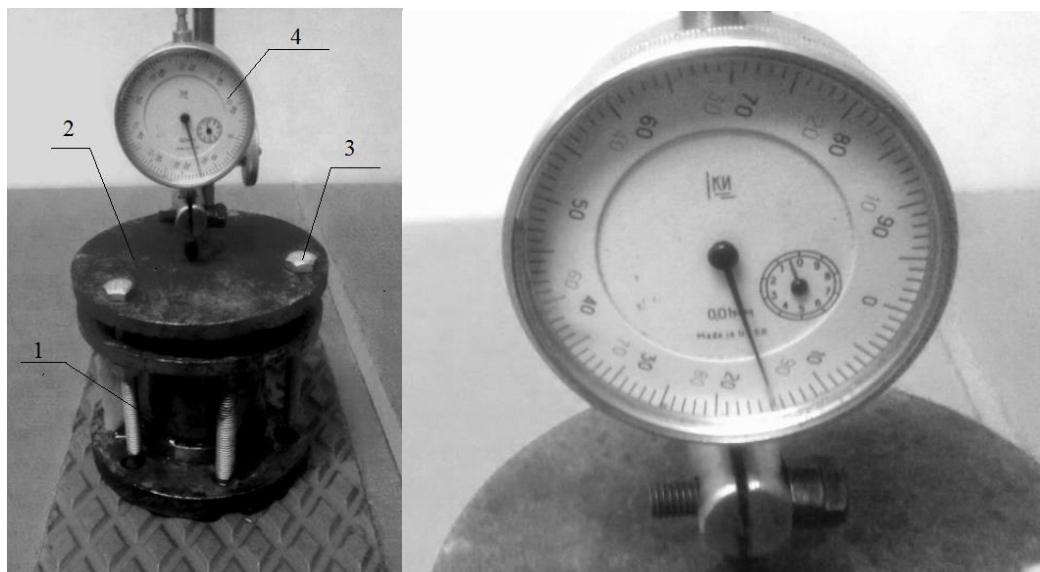


Рисунок 2 – Измерение величины упругого последействия:
1 – пресс-форма; 2 – крышка-поршень; 3 – фиксирующие болты;
4 – индикатор часового типа

Величина перемещений составила: при интенсивности гиперпрессования 6 МПа – 0,15–0,18 мм; 12 МПа – 0,3–0,32 мм, 24 МПа – 0,39–0,42 мм и достигает 9 %. Сопоставляя полученные результаты нетрудно заметить увеличение деформации упругого последействия пропорционально росту давления гиперпрессования (рис. 3).

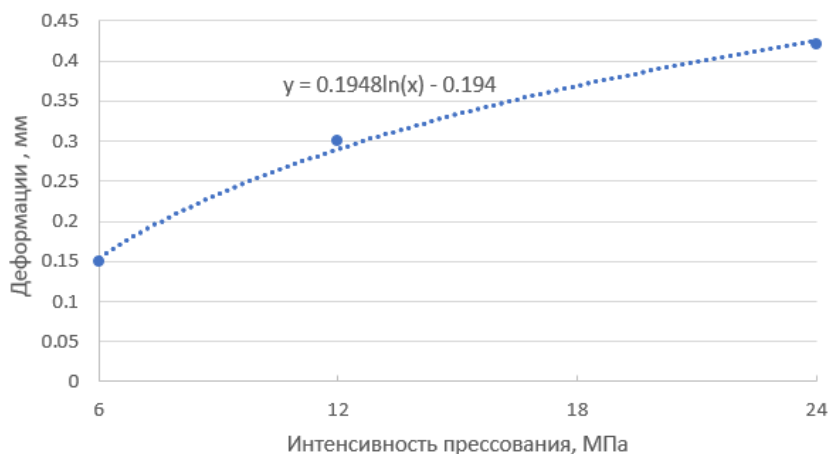


Рисунок 3 – Изменение величины упругого последействия в зависимости от интенсивности гиперпрессования

Таким образом, в области производства изделий из гиперпрессованного бетона необходим поиск направления снижения величины деформации упругого последействия.

2. Экспериментально установлено снижение величины деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона более чем в 3 раза при армировании его высококомодульными волокнами.

Очевидно, что наиболее перспективным направлением снижения деформации упругого последействия является увеличение начальной прочности гиперпрессованного бетона. В следствии чего, была выдвинута гипотеза: **увеличения начальной прочности бетона можно достичь путем применения высококомодульных волокон, нормальная ориентация которых к растягивающим напряжениям позволит снизить влияние деформации упругого последействия на прочность гиперпрессованного бетона.**

С этой целью предлагается армирование гиперпрессованной бетонной смеси высококомодульными волокнами (базальтовыми). Для дисперсного армирования применяются базальтовые волокна диаметром 13–17 мкм и длиной 6–18 мм фирмы ООО «НПО Вулкан», их расход составляет 1,5 % от массы цемента. Выбор данного типа фибры диктуется ее высокой прочностью, низкой деформативностью, долговечностью и стойкостью к агрессивным средам.

Экспериментальные исследования влияния дисперсного армирования на начальную прочность гиперпрессованного бетона проведены на фиброцементе на ранней стадии твердения – 4 часа, 6 часов, 8 часов (табл. 2). Для исследования использовался цемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 42.5 Н. Режим гиперпрессования был принят таким, который используется при изготовлении мелкоштучных

изделий: кратковременное гиперпрессование продолжительностью не более 15 с, интенсивностью 6 и 12 МПа. Для сопоставления изготовлены контрольные образцы, не подвергнутые гиперпрессованию, уплотненные вибрированием продолжительностью 15 с.

Таблица 2 – Кинетика набора прочности цементного камня на ранней стадии твердения

Время твердения, ч	Интенсивность гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа / Плотность, г/см ³	
		Расход фибры, %	
		0	1,5
4	0	0,19/1,98	0,32/2,01
	6	0,46/2,12	1,77/2,12
	12	1,02/2,13	2,46/2,16
6	0	0,28/1,99	0,55/1,98
	6	0,6/2,11	2,12/2,16
	12	1,27/2,12	2,65/2,19
8	0	0,38/2	0,66/1,99
	6	0,9/2,12	2,94/2,17
	12	1,34/2,13	4,36/2,26

Применение высокомодульных волокон при армировании гиперпрессованной смеси позволяет увеличить прочность при сжатии на ранней стадии твердения более чем в 3 раза. Такое увеличение прочности, прежде всего, следует связывать с увеличением плотности гиперпрессованного фиброцемента и тем, что фибра представляет собой «подложку», на границе которой происходит более интенсивный процесс структурообразования, а также упрочнение зоны контакта цементного камня и фибры (рис. 4).

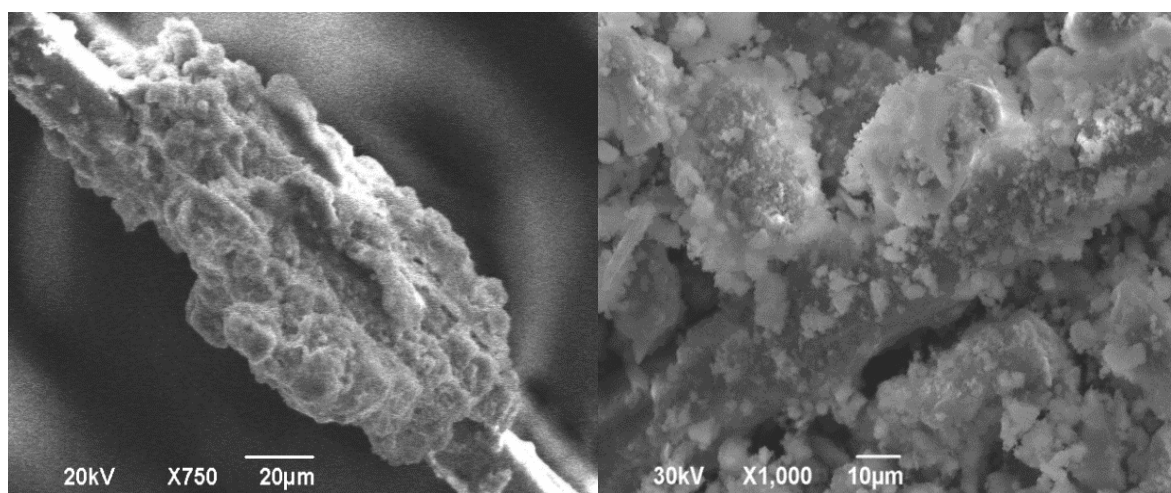


Рисунок 4 – Новообразование на поверхности базальтового волокна

В результате химического взаимодействия с растворной частью бетона базальтовые волокна подвергаются коррозионным процессам с частичным разрушением их поверхности. Однако, данный процесс имеет затухающий характер и новообразования на границе фибры будут препятствовать ее дальнейшему разрушению, способствуя увеличению плотности цементных бетонов. Все это в совокупности будет оказывать положительное влияние на прочностные характеристики цементного камня и цементных бетонов.

Как видно из экспериментальных данных (см. табл. 2), наибольшее увеличение прочности гиперпрессованного фиброцемента происходит при наибольшем давлении гиперпрессования (12 МПа). При этом рост плотности составил примерно 6 %.

Такое увеличение начальной прочности не могло не сказаться на снижении влияния упругого последействия на остальные прочностные характеристики цементных бетонов. Подтверждение сказанному видно из экспериментальных исследований прочности на растяжение при раскалывании гиперпрессованного фибробетона (рис. 5).

Выдвинутая рабочая гипотеза подтверждается результатами экспериментальных исследований (см. рис. 5). Применение высокомодульных волокон позволяет сгладить эффект упругого последействия и, тем самым, снизить его влияние на прочность гиперпрессованного бетона при высокой интенсивности гиперпрессования (24 МПа).

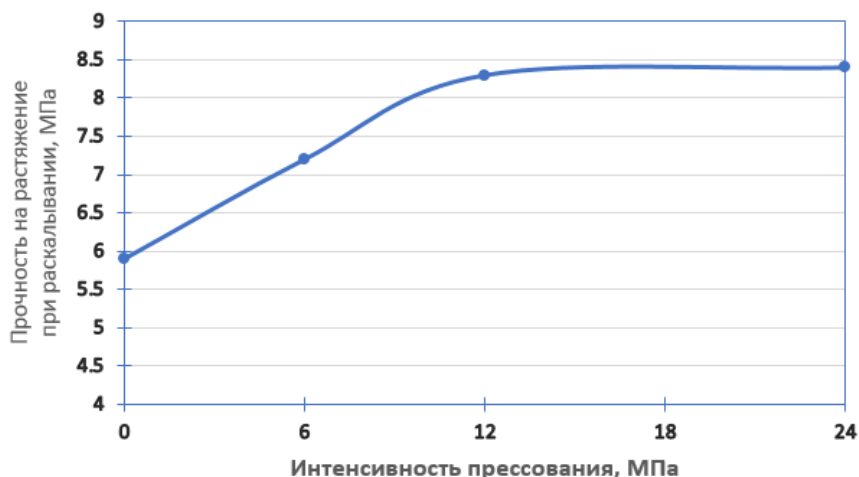


Рисунок 5 – Влияние упругого последействия на прочность на растяжение при раскалывании гиперпрессованного бетона

3. Подтверждена гипотеза о возможности снижения деформации упругого последействия путем комплексного применения пластифицирующей добавки и дисперсного армирования высокомодульными волокнами.

Теоретически уменьшения деформации упругого последействия можно достичь путем минимизации напряжений в растворе бетона за счет снижения величины водоцементного отношения.

С этой целью в состав гиперпрессованного фибробетона вводится пластифицирующая добавка. В качестве пластифицирующей добавки используется суперпластификатор С-3 в количестве 0,5 и 1 % от расхода цемента. Одновременно при введении С-3 в количестве 0,5 % снижали расход воды затворения на 10 % ($V/C = 0,36$), а при введении С-3 в количестве 1 % – на 20 % ($V/C = 0,32$).

Для экспериментальных исследований влияния деформации упругого последействия на прочность гиперпрессованного фибробетона в качестве вяжущего используется 3 марки цемента (табл. 3): ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 42,5 Н, ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б и ЦЕМ I 52,5 Н. Данный выбор вяжущих принят для сопоставления их влияния на прирост прочности гиперпрессованного фибробетона.

Как показали экспериментальные данные (табл. 3) введение суперпластификатора С-3 оказывает положительное воздействие на прочность гиперпрессованного фибробетона. Так, при максимальном давлении гиперпрессования наблюдается увеличение прочности в 1,03–1,13 раза.

Таблица 3 – Влияние пластифицирующей добавки на прочность гиперпрессованного фибробетона

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа/плотность, г/см ³				
		Расход базальтовой фибры, % от массы цемента			Расход фибры + расход добавки, % от массы цемента	
		0	1,5	3	1,5+0,5	3+1
ЦЕМ П/А-К (Ш-П) 32,5Б	0	26,5/2,23	32,3/2,26	27,1/2,29	32,2/2,4	29,5/2,3
	6	31,9/2,27	38/2,28	31,3/2,29	40,6/2,44	35,2/2,35
	12	32,5/2,31	41,3/2,33	34,8/2,35	43,3/2,49	40,7/2,42
	24	36,9/2,45	44,1/2,46	39,2/2,47	47,2/2,49	45,9/2,49
ЦЕМ П/А-К (Ш-П) 42,5 Н	0	36,7/2,42	40,1/2,44	37,1/2,42	41/2,44	39,1/2,44
	6	41/2,42	46,5/2,51	40,8/2,47	48/2,45	45,2/2,46
	12	42,5/2,45	49/2,54	44/2,52	53,7/2,47	50,1/2,48
	24	45,6/2,52	49,8/2,55	46,5/2,59	56,3/2,54	53,3/2,54
ЦЕМ I 52,5 Н	0	42,5/2,42	45,1/2,46	44,8/2,47	47/2,45	45,1/2,48
	6	53,7/2,51	60,2/2,5	59,1/2,51	63,3/2,51	56,6/2,53
	12	60,4/2,53	71,7/2,55	67,4/2,55	70,3/2,55	64,2/2,57
	24	67,2/2,56	78,4/2,57	74,2/2,58	80,7/2,57	74,8/2,59

Таким образом от совокупного воздействия дисперсного армирования и пластифицирующей добавки увеличение прочности гиперпрессованного бетона составило 1,2–1,28 раза. Наибольший эффект от введения суперпластификатора С-3 в гиперпрессованном фибробетоне приходится на интервал давлений прессования от 12 до 24 МПа. Увеличение прочности гиперпрессованного фибробетона следует связывать со снижением напряжений, проявляющихся при сбросе давления прессования. При этом наибольшая эффективность от совместного применения дисперсного армирования и пластифицирующей добавки наблюдается при их сочетании 1,5 % фибры + 0,5 % С-3. Увеличение их расхода до 3 % фибры + + 1 % С-3 к дальнейшему росту прочности не приводит.

Комплексное воздействие дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 позволяет активно влиять на снижение деформации упругого последействия, повышение прочности и долговечности гиперпрессованного фибробетона.

В доказательство вышесказанному произведены измерения величины деформации упругого последействия в гиперпрессованного фибробетоне. Величина упругого последействия в гиперпрессованном фибробетоне уменьшилась и составила: при расходе фибры и добавки 1,5 + 0,5 % и интенсивности прессования 6 МПа – 0,11–0,14 мм, 12 МПа – 0,24–0,26 мм, 24 МПа – 0,32–0,35 мм; при дозировке 3 + 1 % и интенсивности 6 МПа – 0,08–0,1 мм, 12 МПа – 0,19–0,22 мм, 24 МПа – 0,26–0,3 мм. Комплексное применение дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 способствует снижению величины деформации упругого последействия на 15–25 % в гиперпрессованном бетоне и, следовательно,

способствует увеличению прочностных характеристик гиперпрессованного бетона.

С помощью программного комплекса Statistica 10 и электронной таблицы Excel, входящей в пакет Microsoft Office, была установлена степень значимости интенсивности давления, количества волокон и расхода суперпластификатора С-3 в формировании прочности гиперпрессованного фибробетона (цемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н).

Уравнение регрессии имеет вид:

$$R = 36,64 + 0,94 \cdot P + 3,27 \cdot F + 19,12 \cdot C - 0,02P^2 - 1,13F^2 - 19,91 \cdot C^2 + 0,02 \cdot P \cdot F + 0,13 \cdot P \cdot C + 1,19 \cdot F \cdot C \quad (1)$$

где P – интенсивность гиперпрессования, МПа; F – дисперсное армирование, % от расхода цемента; C – пластифицирующая добавка, % от расхода цемента.

Влияние факторов на прочность бетона устанавливается по коэффициентам регрессии. В формировании прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона определяющую роль играет суперпластификатор С-3. Вторым по значимости в формировании прочности гиперпрессованного фибробетона является дисперсное армирование. Наименьшее влияние оказывает гиперпрессование.

4. Установлено увеличение более чем в 2 раза морозостойкости гиперпрессованного бетона за счет снижения деформации упругого последействия при его дисперсном армировании.

Снижение влияния деформации упругого последействия на прочностные характеристики гиперпрессованного бетона при применении дисперсного армирования не могли не отразиться на увеличении и долговечности.

Согласно современному воззрению разрушение цементных бетонов при переменном замораживании и оттаивании вызвано давлением, создаваемым в порах, капиллярах и микротрещинах за счет расширения воды при замораживании. Считается, что основной путь попадания воды в бетон зависит от характера капиллярно-порового пространства. Улучшение структуры бетона приводит к увеличению плотности, снижению пористости и водопоглощения, что в конечном итоге приводит к повышению прочности и морозостойкости бетона.

Во многом, морозостойкость (долговечность) бетона предопределяется его пористостью. В свою очередь пористость можно косвенно охарактеризовать через водопоглощение бетона. Водопоглощение всегда меньше пористости, так как часть пор оказывается закрытой, не сообщающейся с окружающей средой и недоступной для воды. Как показали опытные данные, приведенные на рис. 6, водопоглощение образцов из обычного бетона при уплотнении его гиперпрессованием снижается в 1,2 раза. Введение же в состав гиперпрессованного бетона базальтовых волокон способствует дальнейшему снижению водопоглощения. Прежде всего за счет того, что волокна обладают высокой водонепроницаемостью. Также, снижение водопоглощения свидетельствует о росте плотности и снижении деформации упругого последействия.

В соответствии ГОСТ 10060–2012 исследование морозостойкости гиперпрессованного бетона проводится по ускоренному методу (метод второй).

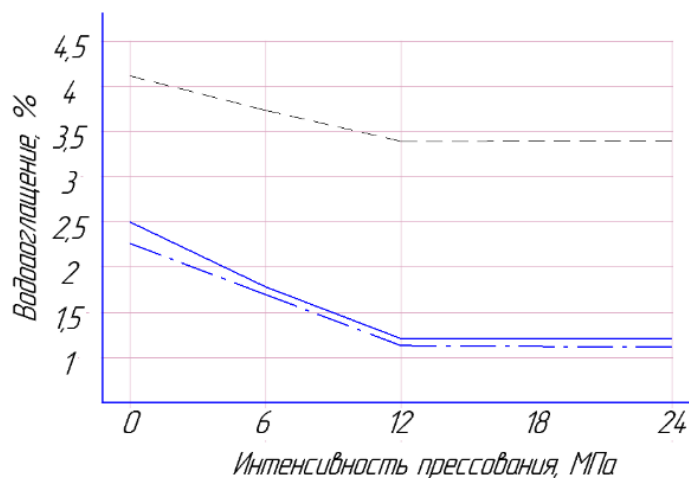


Рисунок 6 – Водопоглощение гиперпрессованного фибробетона в зависимости от величины давления и содержания фибры:
 -- -- -- -- -- обычный бетон; — — — — — бетон, армированный базальтовыми
 -- -- -- -- -- волокнами с расходом 1,5 % от расхода цемента;
 -- · · · · · — — — — — то же, с расходом 3 %

Опытами установлено, что при попеременном замораживании и оттаивании наблюдалось снижение прочности гиперпрессованного фибробетона при малых давлениях гиперпрессования (до 12 МПа) с расходом волокон 1,5 % (табл. 4). Тогда как, в гиперпрессованном фибробетоне при интенсивности гиперпрессования 24 МПа не только отсутствуют потери прочности при попеременном замораживании-оттаивании, но имеются тенденции к ее увеличению.

Таблица 4 – Изменение прочности образцов из гиперпрессованного фибробетона при попеременном замораживании-оттаивании

Давления гиперпрессия, МПа	Кол-во фибры, %	Средняя прочность, МПа		Нижняя граница доверительного интервала, МПа		Изменение прочности, %
		Контр. образцы	Основ. образцы	Контр. образцы	Основ. образцы	
0	0	28,2	25,6	21	18,7	-11
6		32,7	31,14	31,7	26	-18
12		38,5	38,8	37,1	36,1	-2,7
24		39,4	40,16	37,2	36,6	-1,6
0	1,5	33,1	31,33	29,5	20,7	-29,9
6		41,8	40,84	40,2	35	-13
12		45,3	44,4	44,2	38,2	-13,6
24		49,6	51,41	48,6	48,8	+0,5
0	3	29,8	27,65	27,6	21,9	-20,7
6		36,47	38,9	35,6	35,7	+0,2
12		40,8	42,8	39,5	37,6	-4,9
24		48,8	50,44	40,7	42,7	+5

Как уже было сказано выше, увеличение прочности гиперпрессованных бетонов зависит от улучшения их структуры и уменьшения влияния эффекта разуплотнения. Тем самым, комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах позволяет активно влиять на уменьшение деформации упругого последействия, увеличения не только их прочности, но и долговечности (морозостойкости).

К тротуарной плитке предъявляются требования по морозостойкости не ниже $F_1 200$. Таким образом, комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах позволяет повысить их долговечность и получить материал с маркой по морозостойкости $F_1 400$ и выше.

По результатам экспериментальных исследований влияния деформации упругого последействия на прочность и долговечность гиперпрессованного фибробетона разработан проект реконструкции технологической линии для производства мелкоштучных изделий из него.

За основу принята технологическая линия по производству строительных материалов компанией «ВОГЕАН». В технологическую линию компании «ВОГЕАН» предлагается ввести бункер-дозатор и металлический стол для подачи фибры в бетоносмеситель, в качестве бетоносмесителя использовать двухвальный бетоносмеситель zzbo бп-2г-750 с горизонтальным расположением валов вместо весового бетоносмесителя емкостью $0,5 \text{ м}^3$ для более равномерного распределения базальтовых волокон в бетонной смеси, в качестве прессового оборудования – гиперпресс «ВОГЕАН-4» с максимальным усилием в 480 тонн, вывести молотковую дробилку.

Экономический эффект от внедрения данной технологии составляет 24 494 580 руб. Экономическая эффективность достигается за счет высокой производительности линии. Дополнительным экономическим показателем является увеличение срока службы более чем в 2 раза, по сравнению с обычной тротуарной плиткой. Тем самым применение тротуарной плитки, изготовленной по технологии гиперпрессования дисперсно-армированного бетона позволяет снизить эксплуатационные расходы.

III ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что увеличение интенсивности гиперпрессования способствует нарушению структуры гиперпрессованного бетона при проявлении деформации упругого последействия, пагубно сказывающиеся на его прочностных характеристиках и долговечности.

2. Выявлено снижение влияния деформации упругого последействия на прочностные характеристики гиперпрессованного бетона при применении армирования высокомодульными (базальтовыми) волокнами. Экспериментальными данными установлено, что дисперсное армирование с расходом 1,5 % от расхода

цемента позволяет сгладить эффект разуплотнения гиперпрессованного бетона за счет повышения его начальной прочности.

3. Установлено снижение величины деформаций упругого последействия за счет снижения величины водоцементного отношения и увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона при комплексном воздействии суперпластификатора С-3 и дисперсного армирования. Дозировка дисперсного армирования и С-3 в соотношении 1,5 + 0,5 % от расхода цемента является оптимальной для увеличения прочностных характеристик гиперпрессованного бетона, кроме того, способствует снижению величины деформации упругого последействия на 15–25 %.

4. Получено уравнение регрессии, позволяющее определить значимость влияния суперпластификатора, дисперсного армирования и интенсивности гиперпрессования на формирование прочности гиперпрессованного фибробетона. В формировании прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона определяющую роль играет суперпластификатор С-3.

5. Выявлено, что комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах способствует увеличению долговечности. Опытные данные показали, что при высокой интенсивности гиперпрессования (24 МПа) образцы из гиперпрессованного фибробетона не только не имели потерь прочности при сжатии при попеременном замораживании-оттаивании, но и прослеживалось некоторое увеличение их прочности. Результаты проведенных исследований показали, что комплексное применение базальтовых волокон и суперпластификатора С-3 в гиперпрессованных бетонах позволяет повысить их долговечность и получить материал с маркой по морозостойкости F_1 400 и выше.

6. Разработан проект технологической линии по производству мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона. Экономический эффект от внедрения данной технологии составляет 24 494 580 руб. Экономическая эффективность достигается за счет высокой производительности линии и снижения эксплуатационных расходов в следствии высокой прочности и долговечности изделий из гиперпрессованного фибробетона.

Перспективы дальнейших исследований:

Планируется совершенствование технологии производства изделий из гиперпрессованного фибробетона с целью получения изделий с высокой плотностью, прочностью и долговечностью за счет снижения влияния деформации упругого последействия.

IV ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии и приравненные к ним:

1. Баранов А. С. Прочность прессованного фибробетона / Сеськин И. Е., Баранов А. С. // Строительные материалы. – 2012. – № 10. – С. 72-73.

2. Баранов А. С. Влияние суперпластификатора С-3 на формирование прочности прессованного бетона / Сеськин И. Е., Баранов А. С. // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 32-33.

3. Баранов А. С. Прочность и долговечность мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: Научно-технический журнал / СГАСУ. – Самара, 2017. – Вып. № 3. – С. 56-60 (0,25 п. л.).

Публикации в других изданиях:

4. Баранов А. С. Влияние пластифицирующих добавок на качество и долговечность железобетонных конструкций // Дни студенческой науки: сб. материалов XXXVI научной конференции студентов и аспирантов. Самарский гос. ун-т. путей сообщ. – Выпуск 10. – Самара: СамГУПС, 2009. – С. 87.

5. Баранов А. С. Прочность прессованного дисперсно-армированного бетона в изделиях / Сеськин И. Е., Баранов А. С. // 15-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении» – 2012. Брянск: БГТА. 2012 г.

6. Баранов А. С. К вопросу формирования прочности прессованного фибробетона / Сеськин И. Е., Баранов А. С. // Технические науки – от теории к практике»: материалы X международной заочной научно-практической конференции. (28 мая 2012 г.); [под ред. Я. А. Полонского]. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – 160 с.

7. Баранов А. С. Зависимость между прочностью дисперсно-армированного прессованного цементного камня и его плотностью // Дни студенческой науки: сб. материалов XXXIX научной конференции студентов и аспирантов. Самарский гос. ун-т. путей сообщ. – Выпуск 13. – Самара: СамГУПС, 2012. – С. 47.

8. Баранов А. С. Влияние на прочность прессованного бетона пластифицирующей добавки С-3 и дисперсного армирования // Дни студенческой науки: сб. материалов XXXIX научной конференции студентов и аспирантов. Самарский гос. ун-т. путей сообщ. – Выпуск 13. – Самара: СамГУПС, 2012. – С. 47-48.

9. Баранов А. С. Прочность прессованного пластифицированного фибробетона / Баранов А. С. // Технические науки – от теории к практике»: материалы XXXIV международной заочной научно-практической конференции. – № 5 – Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2014. – С. 134-141.

10. Баранов А. С. Влияние уплотнения прессованием и дисперсного армирования на прочность бетона при растяжении // Наука и образование транспорту: материалы VII Международной научно-практической конференции (2014, Самара), 2014 г. – Самара: СамГУПС, 2014. – С. 287-290.

11. Баранов А. С. Зависимость между прочностью при сжатии и прочностью на растяжение прессованного фибробетона // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова; СГАСУ, Самара, 2015. – С. 212-217.

12. Баранов А. С. Влияние режима прессования на структуру и прочность цементного камня / Сеськин И. Е., Баранов А. С., Власова С. Е. // Наука и образование транспорту: материалы IX Международной научно-практической конференции (2016, Самара), 2016 г. – Самара: СамГУПС, 2016. – С. 196-198.