

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский Государственный университет путей сообщения» (СамГУПС)

На правах рукописи

Баранов Александр Сергеевич

ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОШТУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ
ГИПЕРПРЕССОВАННОГО ФИБРОБЕТОНА

Специальность: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
доцент Сеськин И. Е.

Самара 2017 г.

Содержание

Введение	4
ГЛАВА I. Технологические методы повышения прочности и долговечности бетона	
1.1. Влияние технологии прессования на прочность бетона. Достоинства и недостатки технологии. Пути решения проблемы.....	11
1.2. Факторы, оказывающие воздействие на долговечность бетона.....	21
Выводы по первой главе	26
ГЛАВА II. Методика проведения экспериментальных исследований влияния деформации упругого последействия на прочность и долговечность гиперпрессованного фибробетона	
2.1. Характеристики используемых исходных материалов. Объем экспериментальных исследований и методика их проведения.....	27
2.1.1. Образцы для исследования прочности гиперпрессованного фибробетона при сжатии и растяжении.....	29
2.1.2. Специальные методы исследования свойств бетона.....	33
2.1.3. Методика испытания образцов из гиперпрессованного фибробетона по морозостойкости	36
Выводы по второй главе	39
ГЛАВА III. Прочность гиперпрессованного фибробетона	
3.1. Прочность гиперпрессованного бетона при сжатии и на растяжение при раскалывании.....	40
3.2. Влияние дисперсного армирования на прочность и структуру гиперпрессованного бетона.....	52
3.3. Влияние дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 на формирование прочности гиперпрессованного бетона.....	62
Выводы по третьей главе	70

ГЛАВА IV. Повышение долговечности гиперпрессованного фибробетона	
4.1. Влияние рецептурно-технологических факторов на морозостойкость гиперпрессованного бетона.....	71
Выводы по четвертой главе.....	79
ГЛАВА V. Внедрение результатов исследований в практику производства дисперсно-армированных мелкоштучных изделий по технологии гиперпрессования	
5.1. Разработка технологического процесса по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона. Расчет стоимости технологической линии по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона.....	78
Выводы по пятой главе.....	105
Заключение.....	107
Список литературы.....	108
Приложения.....	122

Введение

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. Маилянном, 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 увеличение 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 последействия;

- влияния дисперсного армирования на величину деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона;

- снижения деформации упругого последействия 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 формования 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 прессованием, 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 воздействия 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.

ГЛАВА I. Технологические методы повышения прочности и долговечности бетона

1.1. Влияние технологии прессования на прочность бетона. Достоинства и недостатки технологии. Пути решения проблемы.

Максимальное использование потенциальных прочностных и вяжущих свойств составляющих бетона является важной задачей современного строительного материаловедения. Вопросы повышения прочности и долговечности бетона посвящены работы большого количества как отечественных, так и зарубежных ученых. В числе наиболее перспективных направлений повышения прочностных показателей бетона являются уплотнение его прессованием.

В работах профессора Шейкина А. М. [92, 94] выявлено, что прочность бетона предопределяется прочностью цементного камня. Прочностные характеристики цементного камня зависят от прочности связей в кристаллогидратных комплексах и плотности их упаковки в занимаемом объеме, прочности контактов между структурными составляющими, количества и сечения пор (дефектов), а также, характера и размеров капиллярно-порового пространства. При уплотнении бетона прессованием на стадии образования коагуляционной структуры удаляется часть несвязанной воды, происходит сближение твердых частиц цемента, что приводит к увеличению плотности и прочности [5, 69]. Помимо решения основной технологической задачи прессование бетонной смеси способствует существенному изменению характера протекания процесса гидратации, структурообразования, что соответственно приводит к улучшению механических показателей бетона.

Влиянию прессования на прочность бетона посвящены работы Ананенко А. А., Ахвердова И. Н. [4], Бабкова В. В. [6], Бутенко С. А., Лоховицкого Г. З. [43], Мурашкина Г. В., Недосеко И. В., Рахимова Р. З.,

Салалкина А. В. [68], Сеськина И. Е [69, 70, 71], Усачева С. М. [83], Чуйкина А. Е. [88], Элбакидзе М. Г. [97].

Раннее нагружение бетона способствует формированию структуры и свойств бетона. Саталкиным А. В. выявлено, что раннее нагружение бетона приводит к более интенсивному набору его прочности.

Огромное влияние на прочность прессованного бетона оказывает величина давления прессования. Саталкин А. В., Лоховицкий Г. З. и Элбакидзе М. Г. отмечают, что существует оптимальное давление прессования, при превышении которого происходит снижение его прочности [43, 68, 97]. Прежде всего, это связывают с двумя причинами: каркасированием крупного заполнителя, вызванным раскалыванием зерен заполнителя, и возникновением деформации упругого последействия, возникающего в момент снятия давления прессования.

На прочность прессованного бетона оказывает влияние расход цемента. Ахвердовым И. Н. проведены экспериментальные исследования прочности бетонных образцов при расходе цемента 350 и 580 кг/м³, уплотненных прессованием. При расходе цемента 350 кг/м³ наблюдается незначительное увеличение прочности и при увеличении интенсивности более 12 МПа происходит резкий спад. Вследствие недостатка цемента давление воспринимается зернами заполнителя, что не может способствовать соответствующему уплотнению цементного геля без их раздробления [4].

По мнению Ахвердова И. Н. при кратковременном прессовании возникает упругое последействие (распрессовка бетона), в результате чего происходит увеличение объема образца, что в конечном итоге приводит к снижению его прочности [4]. Им также выявлено, что прессование способствует более интенсивному структурообразованию (рис. 1. 1).

Прежде всего, изменение свойств бетона связано с особенностями структурообразования цементного камня. В работах Бабкова В. В. и Сеськина И. Е. [5, 67, 68, 69] установлено, что пористость имеет большое

влияние на набор прочности цементного камня. Снижение пористости приводит к повышению прочности цементного камня. При этом с пористостью тесно связана его плотность. Выявлено, что прессование увеличивает плотность цементного камня и, соответственно, его прочность. Между прочностью прессованного цементного камня и его полной пористостью выявлена линейная зависимость [69].

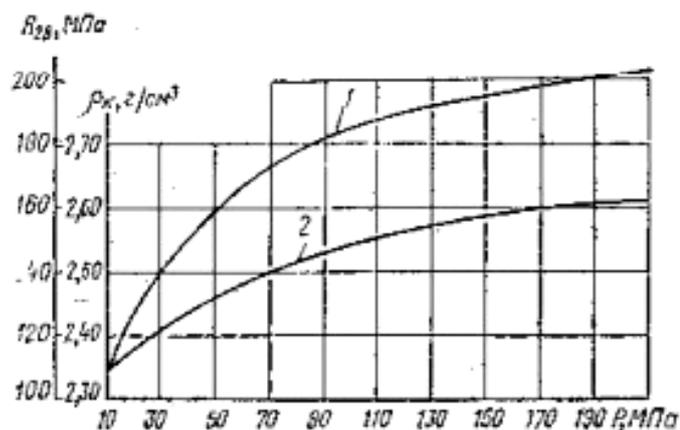


Рис. 1.1 – Зависимость прочности (1) и плотности (2) цементного камня от прессующего давления по данным [4]

Также установлено [68], что при интенсивности прессования от 5 до 10 МПа и продолжительности прессования 15 секунд происходит увеличение прочности бетона в 1,3 – 1,65 раза.

Результаты экспериментов [66], приведенные на рис. 1.2, показали, что увеличение давления прессования свыше 30 МПа оказывает незначительное влияние на прочностные характеристики бетона. Это, прежде всего, с развитием деформации упругого последействия в прессованном бетоне при высокой интенсивности прессования.

Проведенный литературный анализ показал, что несмотря на очевидные достоинства технологии прессования, есть и недостатки, сдерживающие ее широкое применение при производстве изделий. Отличительная особенность данной технологии заключается в проявлении

упругого последствия в момент снятия давления прессования, приводящее к нарушению структуры бетона и снижению его прочностных характеристик. Если величина деформаций упругого последствия при длительном прессовании достаточно хорошо изучена в работах Г. В. Мурашкина, И. Е. Сеськина, С. А. Бутенко, то при кратковременном прессовании, особенно при высокой интенсивности прессования (гиперпрессования), экспериментальных исследований деформации упругого последствия до настоящего времени не проводилось.

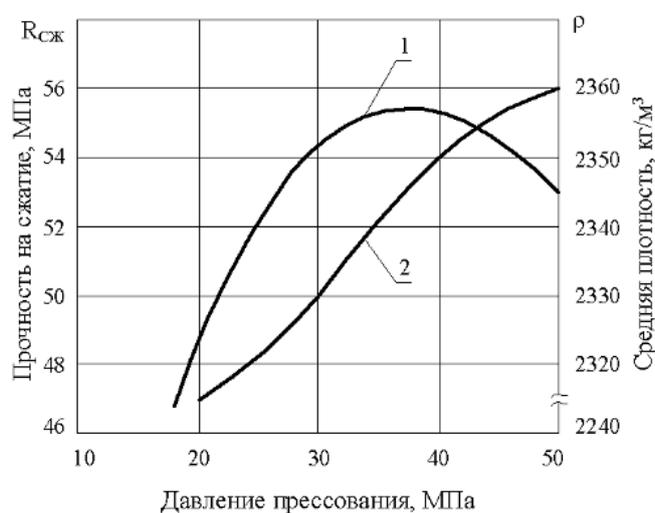


Рис. 1.2 - Зависимость прочности на сжатие (1) и плотности (2) прессованного бетона от давления прессования по данным [66]

Однако, еще Ю. М. Баженовым утверждалось, что снижению деформации упругого последствия способствует уменьшение водоцементного отношения. Этого можно достичь введением в бетонную смесь суперпластификатора, который позволяет уменьшить расход воды, не снижая ее подвижность. На сегодняшний день введение добавок - один из самых гибких, доступных и универсальных способов улучшения всех свойств бетонных смесей. При этом, за счет введения пластифицирующей добавки представляется возможным снизить расход воды, и, тем самым, уменьшить величину деформации упругого последствия.

В настоящее время существует множество работ [1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 24, 25, 29, 30, 32, 34, 35, 38, 40, 48, 49, 51, 53, 54, 62, 64, 66, 67, 79, 84, 87, 89, 91, 95, 99, 103, 119, 120], посвященных изучению влияния суперпластификатора С-3 на прочность обычного бетона. Изучение влияния пластифицирующих добавок применительно непрессованного бетона, прежде всего, связано с именами таких ученых как Баженов Ю. М., Бочаров Н. А., Дементьева В. С., Калашников В. И., Ратинов В. Б., Ушеров-Маршак А. В., Шейкин А. М., Alsadey S., Druta C., Prajapati K., Ramachandran V. S., Rixon R., Singh P. и др.

Механизм действия суперпластификатора достаточно хорошо изучен [34, 35, 54]. Установлено, что добавка оседает на поверхности гидратирующихся частиц цемента и зерен песка, образуя, тем самым, слой, снижающий коэффициент трения между частицами. Увеличение удельной поверхности гидратирующихся частиц цемента, вызванное пептизацией, сопровождается ускорением процесса гидратации и обуславливает нарастание прочности цементного камня и бетона даже при сохранении водоцементного соотношения.

Как известно [113], структура цементного теста состоит из цементного геля, капиллярно-порового пространства и остатков не прореагировавшего цемента. В свою очередь, именно характер капиллярно-порового пространства и характеризует прочность бетона. Чем больше радиус пор, тем меньшей водонепроницаемостью обладает бетон. Исследованиями [29] установлено, что бетоны с добавками отличаются меньшим значением крупных пор. Это предопределяет высокую водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Путем введения суперпластификатора С-3 в бетонную смесь происходит уменьшение объема межзернового пространства и, следовательно, пористости.

Известно, что прочность бетона напрямую зависит от прочности цементного камня [53]. Так при введении добавки в состав цементной пасты

происходит замедление процесса набора прочности, причем, с увеличением расхода суперпластификатора отодвигается период начала набора пластической прочности цементного теста.

Несмотря на большое количество работ, посвященных влиянию суперпластификатора С-3 на свойства обычного бетона, вопросу изучения деформации упругого последействия прессованного пластифицированного бетона до настоящего времени внимания не уделялось.

Для сдерживания деформации упругого последействия предлагается армировать прессованный бетон высокомодульными (базальтовыми) волокнами.

Изучению влияния дисперсного армирования на прочность бетона посвящено множество как отечественных [13, 26, 36, 37, 42, 44, 46, 47, 48, 50, 52, 56, 59, 60, 77, 78, 80, 89], так и зарубежных работ [100, 101, 104, 106, 110, 112, 113, 117, 118].

Влиянию дисперсного армирования на прочность бетона посвящены работы Демьяновой В. С., Калашникова В. И., Коротких Д. Н., Курбатова Л. Г., Новицкого А. Г., Парфенова А. А., Пашенко А. А., Пухаренко Ю. В., Рабиновича Ф. Н., Симакиной Г. Н., Хозина В. Г., Ventur A., Hudoba I., Markovic I., Mindess S., Ganiron Jr. и др.

Большой вклад в изучение свойств бетона, армированного металлическими и неметаллическими высоко- и низкомодульными волокнами, принадлежит Пухаренко Ю. В [56]. Результатом более глубоких гидратационных процессов при твердении цементного камня в присутствии волокон является мгновенное увеличение прочности бетона при введении дисперсной арматуры, обусловленное включением в работу фибровых структур [46, 56].

Пухаренко Ю. В. с помощью метода рентгено-фазового анализа установил, что в не зависимости от геометрических характеристик армирования и используемых материалов происходит более глубокое

протекание процесса гидратации. Фибра - поверхность, на которой опережающими темпами происходит формирование структурных новообразований[56].

За счет введения в состав смеси фибр, у которых длина существенно больше размеров поперечного сечения, повышается устойчивость макроструктуры по отношению к действующим на нее нагрузкам [46].

Фибры будут являться поверхностями раздела фаз, на поверхности которых мельчайшие частицы цемента гидратируют и образуют высокопрочные соединения цементного камня [46, 47].

С повышением дозировки волокна более 1,5% происходит снижение физико-механических характеристик. Так же отмечается повышение уровня дефектности структуры бетона [80].

Данные Рабиновича Ф. Н. [59] свидетельствуют о благоприятном воздействии дисперсного армирования на прочность бетона при сжатии, на растяжение, его трещиностойкость и долговечность.

Неоднородное распределение волокон по объему способствует некоторому снижению прочности, как при сжатии, так и на растяжение. Однако введение в состав суперпластификатора С-3 способствует стабилизации процесса оседания дисперсной арматуры [26, 77].

Анализ литературных источников показал, что в целях повышения прочности бетона при сжатии для дисперсного армирования применяют металлическую фибру с концентрацией от 1,5 до 10 % от расхода цемента, базальтовую – 1 до 5 %. При этом, прирост прочности относительно контрольных образцов составил 1,2 - 1,4 раза.

Нельзя не отметить зарубежный опыт. Так, применение дисперсного армирования позволяет значительно повысить прочность непрессованного бетона (до 1,5 раз) [100, 106, 110, 112, 117].

Прочность на растяжение при раскалывании. Прочность бетона при растяжении составляет всего 5-15% от прочности при сжатии, и во многом

зависит от прочности цементного камня и контактной зоны между цементным камнем и заполнителем [84, 87].

Поэтому, для повышения прочности бетона при растяжении необходимо увеличить как прочность контактной зоны, так и цементного камня. При введении волокон в смесь происходит более интенсивное образование новых структур. Но при этом происходит частичное разрушение волокон [50].

Структура фибробетона близка к структуре цемента с арматурой из стальной сетки [50, 56], они могут переносить большие упругие деформации за счет того, что базальтовое волокно при растяжении не подвергается пластической деформации, а по упругости превосходит сталь [71]. Исследования также показали, что область контакта между фиброй и матрицей характеризуется плотным соприкосновением поверхностей и отсутствием трещин и зазоров [50].

При растяжении образцов цементного камня армированных базальтовыми волокнами диаметром 10 мкм наблюдаются четыре стадии работы материала [58].

На первой стадии в работе участвуют как волокна, так и матрица. Эта стадия соответствует моменту до образования трещин в образце, напряжения возрастают с увеличением нагрузки.

Образование трещины характеризует переход состояния во вторую стадию. На этой стадии трещины очень малы. При образовании трещин матрица не выключается из работы, хотя ее участие существенно уменьшается. Увеличение касательных напряжений способствует нарушению сцепления между матрицей и волокнами.

На третьей стадии происходит увеличение ширины раскрытия трещин.

Четвертая стадия характеризуется снижением интенсивности роста деформаций с увеличением нагрузки. Наблюдается «упрочнение»

композиции, которое так же можно объяснить неравномерностью участия волокон в работе материала.

Механизм разрушения при испытании бетона на растяжение при раскалывании изложен во многих работах [23, 31, 92].

Установлено, что на прочность бетона на растяжение при раскалывании значительное влияние оказывает его структура. Зерна щебня играют двойственную роль при разрушении бетона. Они, с одной стороны, способствуют концентрации напряжений в бетоне и формированию начальной стадии микроразрушения, а с другой – сдерживают скорость развития магистральных трещин. С уменьшением количества щебня его роль как концентратора внутренних напряжений уменьшается. Прежде всего, это положительно сказывается на прочности бетона при растяжении.

По данным Шейкина А. М. [94], огромное влияние на прочность бетона при растяжении оказывает объем воздушной фазы. Изменение объема воздушной фазы в пределах 3...5 % не оказывает существенного влияния на прочность бетона. Однако при дальнейшем его увеличении происходит снижение прочности. Анализ экспериментальных исследований [94] показал, что прочность при растяжении зависит не только от объема воздушной фазы, но и от значения водоцементного соотношения. Следовательно, в прессованных бетонах, особенно с высокой интенсивностью прессования, прочность при растяжении во многом зависит от величины деформации упругого последействия. Представляется, что нормально ориентированная к растягивающим напряжениям часть волокон будет воспринимать их, позволяя снизить деформации упругого последействия, тем самым, способствуя увеличению как прочности на растяжение при раскалывании, так и прочности при сжатии.

Влиянию дисперсного армирования на прочность обычного бетона при растяжении посвящены работы Рабиновича Ф. Н., Калашникова В. И., Пухаренко Ю. В., Демьяновой В. С.

Активную роль армирующих волокон в процессе структурообразования цементных матриц подтверждают исследования фибробетонов на ранних стадиях твердения [56].

Исследования [50], проведенные совместно Научно-исследовательским институтом строительных материалов (г. Киев) и Киевским национальным транспортным университетом, направлены на изучение влияния дисперсного армирования бетона базальтовыми волокнами на его прочность на растяжение при раскалывании. Концентрация волокон составляла от 1 до 4 % по массе. Введение фибровых волокон по сравнению с контрольными (неармированными) образцами способствует увеличению прочности на растяжение при раскалывании более чем в 1,5 раза.

Результаты прочностных испытаний образцов бетона (контрольного и армированных базальтовой фиброй диаметром 40 мкм при длине 10 мм) [50] показали, что в возрасте 28 суток за счет использования базальтовых фибр в количестве 4 % от массы происходит увеличение прочности на растяжение при раскалывании в два раза.

Коротких Д. Н. выполнены исследования сопротивления фибробетона на базальтовом волокне растяжению при раскалывании [39]. По данным автора при объемном содержании базальтового ровинга 4% прочность исходного бетона увеличилась примерно в 1,9 раза. Как отмечает автор, разрушение фибробетона происходит только после выдергивания и разрыва большей части дисперсного армирования.

Автором [13] проведены экспериментальные исследования прочности на растяжение при раскалывании пластифицированного цементного камня, армированного базальтовым волокном. Максимум прочности достигнут при введении в состав 4-5% базальтовых волокон. Повышение прочности цементного камня с суперпластификаторами и волокнами над прочностью исходного цементного камня составляет 2 раза.

Таким образом, прессование способствует улучшению структуры, повышению плотности и увеличению прочности бетона при сжатии, что не могло не отразиться и на его прочности при растяжении. Введение же в раствор базальтовых волокон и пластифицирующей добавки позволит дополнительно снизить величину собственных деформаций прессованного бетона, улучшить структуру, повысить плотность, увеличить прочность прессованного бетона при сжатии и при растяжении [72, 74, 75].

По результатам анализа литературных источников граничные значения дозировки базальтовых волокон – от 1,5 до 3 % от массы цемента, суперпластификатора С-3 – от 0,5 до 1 %.

Влияние как пластифицирующей добавки, так и дисперсного армирования на свойства непрессованного бетона достаточно хорошо изучено. Однако, вопросу влияния указанных факторов на свойства прессованных и гиперпрессованных бетонов, внимания не уделялось.

1.2. Факторы, оказывающие воздействие на долговечность бетона

Важнейшей характеристикой, определяющей во многом долговечность железобетонных конструкций, является морозостойкость бетона. В соответствии с ГОСТ 10060 морозостойкость - способность сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании [20].

Изучению морозостойкости посвящены работы таких ученых как: Бутт Ю. М., Горчаков Г. И., Добшиц Л. М., Иванова О. С., Капкин М. М., Крылов Н. А., Сизов В. П., Скрамтаев Б. Г., Шестоперов С. В., Янбых Н. Н., Lamboy G., Mao J., Powers T. K., Radlinski M, Zhang Q. и др.

Многочисленными исследованиями [8, 16, 19, 27, 28, 109, 111] выявлено, что морозостойкость, во много, зависит от величины водоцементного соотношения, степени гидратации цемента, возраста бетона

к моменту его замораживания и условия его твердения, расхода цемента на 1 м³, минералогического состава цемента и присутствия добавок.

Экспериментальными исследованиями [45] установлено влияние величины водоцементного отношения и воздухосодержания на морозостойкость бетона. Повышение значения водоцементного отношения отрицательно сказывается на структуре цементного камня, вызывая увеличение содержания капиллярных и уменьшение содержания гелевых пор [6].

Огромную роль в обеспечении морозостойкости бетона играет характер пористости и его капиллярно-поровая структура [16, 19, 96, 109, 111, 114], обуславливающие водонасыщение бетона. Сообщающиеся между собой поры и капилляры создают возможность водонасыщения бетона [86]. Воздух, вовлеченный в процессе перемешивания смеси, образует искусственные замкнутые поры, что, в свою очередь, способствует повышению морозостойкости бетона. Поры же, содержащиеся в заполнителе, недоступны для воды, изолированы друг от друга, способствуют снижению морозостойкости бетона.

По данным результатов испытаний [16] выявлена определенная тенденция к изменению морозостойкости цементного камня. Уменьшение капиллярной пористости цементного камня примерно от 18 до 8% сопровождалось заметным, но сравнительно небольшим повышением морозостойкости. Дальнейшее уменьшение капиллярной пористости до 4-1 % и менее не сопровождалось резким изменением.

Существует множество гипотез о первоочередной роли того или иного фактора, вызывающего разрушение бетона при попеременном его замораживании-оттаивании. Многочисленными учеными установлено, что основной причиной разрушения бетона является изменение фазового состояния воды при воздействии отрицательных температур [27, 28, 76]. При

переходе воды в лед, происходит увеличение объема, в результате чего в цементном камне возникают напряжения.

Так же причинами разрушения бетона при действии мороза являются условия, при которых происходит процесс действия отрицательных температур, структура бетона и свойства цементного камня. В зависимости от выше перечисленных условий, разрушение бетона может произойти посредством [27, 85, 98, 105, 107]:

- действия в процессе образования льда гидростатического давления жидкости на стенки капилляров и пор цементного камня;
- воздействие гидравлического давления при миграции жидкости в поры, незаполненные водой;
- роста кристаллов льда и их давления на стенки капилляров и пор;
- температурных напряжений, в результате разницы температурных деформаций льда и цементного камня.

Морозостойкость бетона зависит от соотношения величины разрушающих напряжений при замораживании-оттаивании, определяемых объемом и структурой порового пространства, и сопротивляемости бетона, определяемой его прочностью и деформативностью при растяжении [93].

Прежде всего, снижение прочности бетона в насыщенном состоянии при попеременном замораживании и оттаивании связано с накоплением местных повреждений структуры цементного камня при переходе жидкости в лед [27].

Установлено, что чем выше прочность бетона в момент начала воздействия мороза, тем он эффективнее сопротивляется разрушению [41, 45].

Одним из основных факторов, вызывающих разрушение насыщенного водой или, как в нашем случае, раствором соли цементного камня, является переход раствора в лед с увеличением в объеме. При переходе воды в лед происходит увеличение объема бетона примерно на 9% [1, 105, 107]. Если бы

все поры были заполнены водой, то под воздействием растягивающих напряжений произошло разрушение бетона при первом же цикле замораживания. Известно, что вода превращается в лед в капиллярах разного размера при различной температуре [17, 105]. Следовательно, объем воды, который перейдет в лед, и степень разрушения материала при капиллярах разного размера будут различными.

Немаловажное значение имеет среда оттаивания. Так в результате исследований выявлено, что при замораживании на воздухе, оттаивании в 5%-ом растворе хлористого натрия процесс разрушения ускоряется, чем при оттаивании в водном растворе [98]. По мнению автора более интенсивное разрушение при оттаивании в растворе хлористого натрия связано с переходом безводной соли в кристаллогидрат со значительным увеличением в объеме; химическим взаимодействием раствора соли с продуктами гидратации цементного камня.

Большое влияние на морозостойкость цементного камня оказывает такой фактор как водопоглощение. После затворения цемента водой, изменение пористости происходит в первые 3 суток с интенсивным накоплением геля [33]. Происходит увеличение объема твердой фазы, сопровождающееся заполнением мелких пор продуктами новообразований. При достижении определенной степени гидратации цемента система взаимосвязанных капилляров превращается в условно-дискретную. С образованием данной структуры порового пространства цементного камня его проницаемость резко снижается, и появляются условия для возникновения, так называемых «резервных» пор, которые и являются основой морозостойкого бетона [94]. В данном случае немаловажным фактором являются возраст образцов к моменту испытания и активность цемента.

При прохождении определенного периода времени твердения бетона, в течении которого степень гидратации цемента достигнет такой величины,

при которой в структуре цементного камня образуется достаточный объем условно замкнутых пор [28]. Время получения морозостойкой структуры бетона тем меньше, чем меньше величина В/Ц (109, 111). Время же, необходимое для образования сообщающейся системы капилляров определяется видом, активностью цемента и его минералогическим составом.

Прежде всего, при оценке морозостойкости бетона следует учитывать прочность цементного камня. При уплотнении бетона прессованием происходит: уплотнение структуры бетона; увеличение плотности и, соответственно, прочности; снижение общей пористости. По мере уплотнения материала снижается разрушительное действие мороза. Экспериментально-теоретическими исследованиями установлено, что значительное влияние уплотнения бетона прессованием оказывает на общую пористость цементного камня, так как при этом происходит снижение начального водоцементного отношения и степени гидратации [69]. К тому же уплотнение прессованием способствует получению материала высокой плотности и уменьшению количества внутренних дефектов и трещин. А как известно, равномерность распределения замкнутых воздушных пор, уменьшение их размеров и служат основными факторами повышения морозостойкости бетона [45]. Все перечисленные факторы в значительной степени оказывают влияние на морозостойкость бетона.

Применение дисперсного армирования позволяет: ускорить процесс образования новых структур на поверхности волокон, повышает плотность цементных бетонов и способствует увеличению их прочности, как при сжатии, так и на растяжение [56, 73]. Прежде всего, за счет снижения деформации упругого последействия. И как следствие, является критерием повышения морозостойкости бетона [116]. Так же, введение дисперсного армирования приводит к улучшению капиллярно-поровой структуры бетона. Как показали исследования [81], конструкции, изготовленные с добавлением базальтовых волокон, позволяют эксплуатировать их сроком 50 лет в зоне

умеренно холодного климата. Применение базальтовых волокон позволяет получить бетон с высокой маркой по морозостойкости (F300) [61].

Таким образом, представляется, что при комплексном воздействии дисперсного армирования и пластифицирующей добавки представляется возможным значительно повысить долговечность прессованного бетона и получить изделие с высокой маркой по морозостойкости.

Выводы по первой главе

1. При изучении литературных источников установлено, что при сбросе давления прессования в бетоне возникают деформации упругого последействия, приводящие к снижению плотности и прочности как при сжатии, так и при растяжении.

2. Уменьшение величины водоцементного отношения (введение пластифицирующей добавки) способствует снижению влияния деформации упругого последействия на прочность прессованных бетонов.

3. Применение армирование высокомодульными (базальтовыми) волокнами позволяет повысить начальную (пластическую) прочность и снизить величину деформации упругого последействия в прессованных бетонах.

ГЛАВА II. Методика проведения экспериментальных исследований влияния деформации упругого последствия на прочность и долговечность гиперпрессованного фибробетона

2.1. Характеристики используемых исходных материалов. Объем экспериментальных исследований и методика их проведения

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены опытные образцы – цилиндры диаметром 5 см и высотой 7 см, в которых моделировалась технология формования цементных бетонов в изделиях.

В качестве вяжущего используется 4 марки цемента: ЦЕМ I 52,5 Н «Осколцемент», ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 42.5 Н «Вольскцемент», ЦЕМ I 42,5 Н и ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б «Жигулевские стройматериалы». Данный выбор вяжущих принят для сопоставления их влияния на прирост прочности гиперпрессованного фибробетона. Качественные показатели цемента представлены в табл. 2. 1. Величина начального 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. Для дисперсного армирования применяли стальную и базальтовую фибру: базальтовые волокна диаметром 13—17 мкм и длиной 6—18 мм фирмы ООО «НПО Вулкан», их расход составлял 1,5 и 3 % от массы цемента. А также металлическая фибра с расходом 10 и 20 % от расхода цемента, диаметром 1 ± 0,04 мм, длиной 10 – 20 мм с анкерами концах (рис. 2.1).



Рис. 2.1 – Металлическая фибра (а) и базальтовые волокна (б)

Таблица 2. 1 – Химико-минералогический состав клинкера и результаты физико-механических испытаний

Наименование Показателя	Фактические показатели			
	ЦЕМ II/A-К (Ш-II) 42,5 Н	ЦЕМ II/A-К (Ш-II) 32,5Б	ЦЕМ I 42,5 Н	ЦЕМ I 52,5 Н
SiO ₂	21,31±0,24	21,07±0,24	21,07±0,24	21,45±0,45
Al ₂ O ₃	4,81±0,29	5,59±0,29	5,59±0,29	5,83±0,2
Fe ₂ O ₃	5,05±0,12	3,95±0,12	3,95±0,12	4,4±0,2
CaO	65,54±0,33	64,92±0,33	64,92±0,33	66,03±0,8
SO ₃	0,49±0,11	0,42±0,11	0,42±0,11	0,3±0,1
MgO	1,3±0,41	2,73±0,41	2,73±0,41	0,58±0,06
R ₂ O	0,74±0,05	0,8±0,05	0,8±0,05	0,69±0,1
СГ	0,045±0,018	0,044±0,018	0,041±0,018	0,001±0,001
C ₃ S	66,3±1,5	59±1,5	59±1,5	65,1±2,5
C ₂ S	10,7±1	16±1	16±1	13,86±1,5
C ₃ A	4,39±1	8,1±1	8,1±1	8,96±1
C ₄ AF	19,7±0,4	12±0,4	12±0,4	11,95±1,5
Тонкость помола, проход через сито №008, %	98,1±1,2	94,2±1,4	94,8±1,3	
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	50,4±2	42,7±2	49±2	58,4±3
Нормальная плотность цементного теста, %	25,32±0,5	27,2±0,5	26,5±0,5	26,5±0,6
Начало схватывания, мин	167±30	205±30	181±25	165±30
Конец схватывания, мин	255±25	255±25	225±20	250±40

В качестве пластифицирующей добавки используется суперпластификатор С-3 компании ООО «Полипласт» в количестве 0,5 и 1 % от расхода цемента. Одновременно при введении С-3 в количестве 0,5 % снижали расход воды затворения на 10 % ($V/Ц=0,36$), а при введении С-3 в количестве 1 % - на 20 % ($V/Ц=0,32$). 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.

Испытанием указанных образцов установились такие характеристики гиперпрессованного фибробетона как: прочность при сжатии, прочность на растяжение при раскалывании, морозостойкость.

Дополнительно были изготовлены образцы для установления кинетики набора прочности как на ранней стадии твердения (4 часа, 6 часов, 8 часов), так и на более поздней (3 суток, 7 суток, 14 суток, 28 суток).

2.1.1. Образцы для исследования прочности гиперпрессованного фибробетона при сжатии и растяжении.

Данные экспериментальные исследования направлены на определение предела прочности дисперсно-армированного гиперпрессованного бетона при сжатии и на растяжение при раскалывании путем разрушающих кратковременных статистических испытаний контрольных образцов из цементного камня и бетона [21].

Для изготовления образцов использовались специальные формы, позволяющие моделировать режим прессования в изделиях из гиперпрессованного бетона (рис. 2.2).



Рис. 2. 2. – Форма для изготовления образцов из гиперпрессованного цементного камня и бетона



Продолжение Рис. 2. 2.

В соответствии с ГОСТ 10180-2012 определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки и последующем вычислении напряжений при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

Перед использованием форм их внутренние поверхности покрываются тонким слоем смазки, не оставляющим пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона [22]. Образцы заготавливались сериями по 3 образца в каждой серии. Каждая серия образцов изготавливалась из одного замеса. Объем экспериментальных исследований представлен в таблице 2. 2.

Для равномерной передачи усилия на образец между опорными плитами пресса и поверхностью образца-цилиндра дополнительно устанавливаем прокладку из фанеры, длиной не менее длины образца (рис. 2. 3) [21].

При определении прочности при сжатии основания цилиндрического образца обрабатывались на шлифовальном круге. В ходе проведения испытаний фиксировались следующие данные: размеры образца, его масса, значение разрушающей нагрузки, место и характер разрушения.

Таблица 2. 2 – Объем экспериментальных исследований прочности гиперпрессованного фибробетона и дисперсно-армированного цементного камня

Вид материала	Марка цемента	Давление прессования, МПа	Количество образцов на сжатие, шт										Количество образцов на растяжение при раскалывании, шт				
			Расход базальтовой фибры, %			Расход металлической фибры, %		Расход С-3, %		Расход базальтовой фибры+С-3, %			Расход базальтовой фибры, %			Расход металлической фибры, %	
			0	1,5	3	10	20	0,5	1	1,5+0,5	3+1	0	1,5	3	10	20	
Бетон	ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 32,5Б	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	3	-	-
	ЦЕМ I 42,5 Н	0	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3
		6	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3
		12	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3
		24	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3
	ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 42.5 Н	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
	ЦЕМ I 52,5 Н	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-
Цементный камень	ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 32,5Б	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	-	-	
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	-	-	
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	-	-	
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3	-	-	
	ЦЕМ I 42,5 Н	0	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	
		6	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	
		12	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	
		24	3	3	3	3	3	-	-	-	-	3	3	3	3	3	

Продолжение табл. 2.2

Вид материала	Марка цемента	Давление прессования, МПа	Количество образцов на сжатие, шт										Количество образцов на растяжение, шт				
			Расход базальтовой фибры, %			Расход металлической фибры, кг/м ³		Расход С-3, %		Расход базальтовой фибры+С-3, %			Расход базальтовой фибры, %			Расход металлической фибры, кг/м ³	
			0	1,5	3	10	20	0,5	1	1,5+0,5	3+1	0	1,5	3	10	20	
Цементный камень	ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
	ЦЕМ I 52,5 Н	0	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		6	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		12	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	
		24	3	3	3	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	

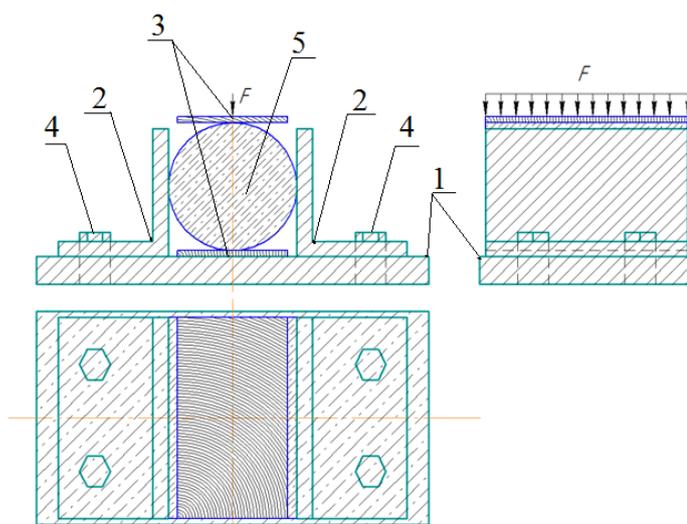


Рис. 2.3 - Схема проведения испытаний бетонных образцов на растяжение при раскалывании: 1 – металлическое основание; 2 – металлический уголок; 3 – прокладка для передачи усилия; 4 – болтовое скрепление; 5 - образец

2.1.2. Специальные методы исследования свойств бетона

Исследование структуры гиперпрессованного цементного камня с использованием электронного микроскопа. Для сопоставления структуры обычного и гиперпрессованного дисперсно-армированного цементного камня были проведены специальные исследования с использованием микроскопа с кратностью увеличения до 1000 крат. Для проведения исследований использовались тщательно зашлифованные спилы образцов.

Изучение величины упругого последействия. Особенностью гиперпрессованного бетона является то, что при высокой интенсивности прессования все компоненты бетонной смеси, в том числе воздух в порах и капиллярах оказываются сжатыми, а после снятия давления прессования в нем будет проявляться упругое последействие, приводящее к увеличению объема уже запрессованного образца и, соответственно, к разуплотнению бетона.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования по измерению величины упругого последствия в зависимости от величины давления прессования и дисперсного армирования базальтовыми волокнами (рис. 2.4).

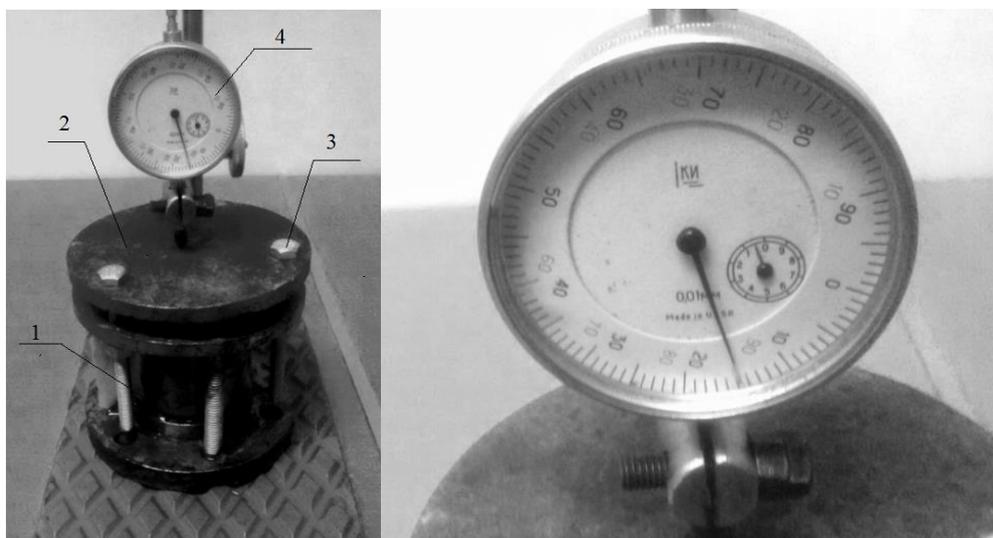


Рис. 2.4 – Измерение величины упругого последствия: 1 – пресс-форма; 2 – крышка-поршень; 3 – фиксирующие болты; 4 – индикатор часового типа.

Измерения проводились в следующей последовательности: перед тем как снять давление гиперпрессования съемная крышка-поршень фиксируется болтами. После сброса давления до 0 сверху на центр крышки устанавливается индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм. Затем отворачиваются болты, позволяя тем самым крышке-поршню перемещаться вверх. Указанные перемещения, фиксирующиеся индикатором часового типа, и есть увеличение в объеме запрессованного бетона (деформации упругого последствия). Однако, данная величина не является абсолютной так, как в расчет не принимается вес крышки-поршня.

Химический анализ (Поэлементный анализ). Для изучения возможного появления новообразований при прессовании цементного камня был проведен поэлементный анализ. Исследования проводились методом

электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа с использованием спектрометрического (энерго-дисперсионного) блока детектирования рентгеновского излучения. Метод измерений химического состава с помощью электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа основан на зависимости интенсивности характеристического рентгеновского излучения определяемого элемента от его массовой доли в объекте измерений.

В растровом электронном микроскопе формируется фокусированный пучок электронов с энергией до 30 кэВ (первичный пучок), который падает перпендикулярно поверхности объекта измерений. Электроны первичного пучка вызывают ионизацию внутренних энергетических оболочек атомов, из которых состоит объект измерений. В результате релаксации электронов, находящихся на вышележащих энергетических оболочках, могут быть испущены фотоны характеристического рентгеновского излучения.

Для учета эффектов взаимодействия рентгеновских фотонов, выходящих из объема, с материалом объекта измерений применяют метод ZAF-коррекции. Этот метод позволяет учесть различие в глубине, на которой происходит формирование рентгеновских фотонов, для разных материалов; поглощение фотонов характеристического рентгеновского излучения в материале объекта измерений; флюоресценцию, обусловленную переизлучением рентгеновских фотонов атомами объекта измерений.

Для определения коэффициентов ZAF-коррекции используют стандартные образцы известного химического состава, содержащие в том числе атомы того же сорта, что и объект измерений.

Дифференциально-термический анализ (ДТА). Для сопоставления количества связанной и несвязанной воды в гиперпрессованного и обычном цементном камне был проведен ДТА. ДТА основан на определении температуры, при которой нагреваемый образец претерпевает химические превращения, сопровождающиеся тепловым.

Нагреванию подвергаются два образца, в одном из которых происходят изменения, а в другом (эталонном) изменений не происходит, то тепловые потоки, а следовательно, и температуры образцов будут различными. Разность в температурах образцов характеризует интенсивность процесса, а температура, при которой наблюдается экстремальная разность, указывает условия протекания процесса. Испытания проводят при постоянном подъеме температур, записывая разность температур на диаграммной бумаге как функцию температуры. В результате получают кривую ДТА.

При изучении поэлементного химического состава цементного камня и проведении дифференциально-термического анализа предварительно производили отбор и подготовку проб. После чего, цементный камень измельчали до состояния порошка и просеивали через сито № 008с целью отсеивания крупных частиц.

Рентгеноструктурный анализ. Огромное значение в исследовании веществ играет методы, основанные на принципе использования рентгеновских лучей. Рентгеноструктурный анализ (РСА) основан на явлении дифракции рентгеновских лучей. На приборе дифрактометре осуществляется ионизационный метод регистрации. Методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН – 3 изучались фазовые изменения, происходящие в цементном камне. Идентификация проводилась по аналитическим линиям с определением межплоскостных расстояний.

2.1.3. Методика испытания образцов из гиперпрессованного фибробетона по морозостойкости

Экспериментальные исследования проводились с целью изучения влияния рецептурно-технологических факторов на долговечность

(морозостойкость) гиперпрессованного бетона за счет снижения деформации упругого последействия.

Для эксперимента использовался состав бетона на 1 м³: цемент «Жигулевские стройматериалы» (ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б) – 500 кг/м³, щебень (фракция до 10 мм) – 1200 кг/м³, песок (модуль крупности 2,6) – 560 кг/м³, вода – 200 кг/м³. Водоцементное соотношение 0,4. 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.

Учитывая, что морозостойкость бетона во многом предопределяется цементным камнем, параллельно были поставлены отдельно опыты по изучению морозостойкости гиперпрессованного цементного камня. Результаты этих испытаний позволят выявить механизм постепенного разрушения цементного камня при переменном его замораживании и оттаивании.

Для дисперсного армирования принимались базальтовые фибры диаметром 13-17 мкм и длиной 6-18 мм, их расход составлял 1,5% и 3% от расхода цемента.

Объем экспериментальных исследований морозостойкости гиперпрессованного дисперсно-армированного цементного камня и фибробетона представлен в табл. 2.3.

В соответствии ГОСТ 10060-2012, существует несколько методов определения морозостойкости бетона [20]. Исследование морозостойкости

гиперпрессованного бетона проводились по ускоренному методу (метод второй).

Таблица 2. 3 – Объем экспериментальных исследований морозостойкости гиперпрессованного дисперсно-армированного цементного камня и фибробетона

Вид материала	Марка цемента	Расход базальтовой фибры+С-3,%	Давление гиперпрессования, МПа	Количество образцов, шт	
				Контрольный	Основной
Бетон	ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 32,5Б	0	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12
		1,5+0,5	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12
		3+1	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12
Цементный камень	ЦЕМ II/A-К (Ш-П) 32,5Б	0	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12
		1,5+0,5	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12
		3+1	0	6	12
			6	6	12
			12	6	12
			24	6	12

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщали раствором соли при температуре $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Для этого образцы погружали в жидкость на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень жидкости повышали до 2/3 высоты образца и выдерживали в таком положении еще 24 ч, после чего образцы полностью погружали в жидкость на 48 ч таким образом, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм.

По окончании насыщения образцов водным раствором хлористого натрия, их помещали в морозильную камеру и подвергали воздействию мороза при температуре -18 ± 2 °С на 3 часа. За начало замораживания принимали момент, установления в камере температуры минус 16 °С. По прошествии времени замораживания образцы оттаивали в 5% водном растворе хлористого натрия в течение $2 \pm 0,5$ часа при температуре (18 ± 2) °С.

Циклы повторяли до тех пор, пока выполняется неравенство:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} 100;$$

$$X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I.$$

где m - масса образца до замораживания и оттаивания, г;

m_1 - масса образца после замораживания и оттаивания, г;

X_{min}^I - нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов;

X_{min}^{II} - нижняя граница доверительного интервала для основных образцов.

Выводы по второй главе

1. В ходе проведения экспериментальных исследований фиксировались следующие данные: размеры образца, его масса, водопоглощение, плотность, наличие шелушения бетона, значение разрушающей нагрузки.

2. Для сопоставления теоретических и экспериментальных исследований изготовлено большое количество опытных образцов (432 образца на морозостойкость и 816 образцов на прочность).

ГЛАВА III. Прочность гиперпрессованного фибробетона

3.1. Прочность гиперпрессованного бетона при сжатии и на растяжение при раскалывании

Многочисленными исследованиями [6, 10, 94] установлено, что прочностные характеристики бетона во многом предопределяет его плотность. После затворения смеси водой через небольшой период времени образуется рыхлая коагуляционная структура, в которой отдельные зерна цемента связываются посредством тонкой водной прослойки. Удерживается в устойчивом положении такая структура за счет Ван - дер – Ваальсовых сил сцепления. При гиперпрессовании эта структура легко разрушается, из нее удаляется часть несвязанной воды, твердые частицы сближаются между собой, способствуя тем самым ускорению процесса образования кристаллической структуры на контакте между твердыми частицами.

Прочность бетона исследовалась на 4 видах цемента (ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42,5 Н, ЦЕМ I 42,5 Н, ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б, ЦЕМ I 52,5 Н). Результатами экспериментальных исследований установлено, что гиперпрессование эффективно влияет на увеличение прочности бетона. По данным результатов экспериментальных исследований видно, что при одинаковой интенсивности гиперпрессования увеличение прочности бетона на разных марках цемента имеет сопоставимый прирост прочности. Так максимальное увеличение прочности уплотненных гиперпрессованием образцов из цемента марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5 Б составляет - 39 %, на цементе марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42,5 Н – 24 %, на цементе марки ЦЕМ I 42,5 Н Д 0 - 52 %, на цементе ЦЕМ I 52,5 Н – порядка 58 %. Как видно из рис. 3. 1, гиперпрессование позволяет повысить прочность исходного бетона примерно на 25-58 % в зависимости от марки цемента. Исследованиями установлено, что наиболее чувствителен к гиперпрессованию является бетон на цементе ЦЕМ I 42,5 Н. Наибольшая эффективность при гиперпрессовании

бетонной смеси достигается в диапазоне давления от 12 до 24 МПа. В этом интервале давления происходит интенсивный набор прочности и формирование основной ее доли, а при дальнейшем увеличении интенсивности гиперпрессования рост прочности существенно замедляется. По-видимому, это связано с деструктивными процессами, протекающими в бетоне, при снятии давления гиперпрессования. Что, в свою очередь, пагубно влияет на набор прочности гиперпрессованного бетона. Такое увеличение прочности, прежде всего, связано с повышением плотности бетона за счет гиперпрессования. Как видно из табл. 3. 1 увеличение плотности составило порядка 5-10 %.

Таблица 3. 1 – Влияние гиперпрессования на прочность и плотность бетона

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Плотность образца г/см ³	Прочность, МПа
ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б	0	2,23	26,5
	6	2,27	31,9
	12	2,31	32,5
	24	2,45	36,9
ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н	0	2,42	36,7
	6	2,42	41
	12	2,45	42,5
	24	2,53	45,6
ЦЕМ I 42,5 Н	0	2,21	24,8
	6	2,26	32,1
	12	2,28	35
	24	2,31	37,7
ЦЕМ I 52,5 Н	0	2,42	42,5
	6	2,52	53,7
	12	2,53	60,4
	24	2,56	67,2

Повышение прочности бетона при гиперпрессовании достигается за счет более качественного уплотнения бетонной смеси, удаления части несвязанной воды, улучшения сцепления крупного заполнителя с цементным

камнем из-за проникновения цементного молока при гиперпрессовании в поры и трещины крупного заполнителя.

Для аппроксимации экспериментальных данных влияния интенсивности гиперпрессования на прочности при сжатии воспользуемся системой автоматизированного проектирования MathCad 15 (приложение 1-3). На основе вычисленного уравнения программа строит график функции, найденной теоретическим путем (рис. 3. 2).

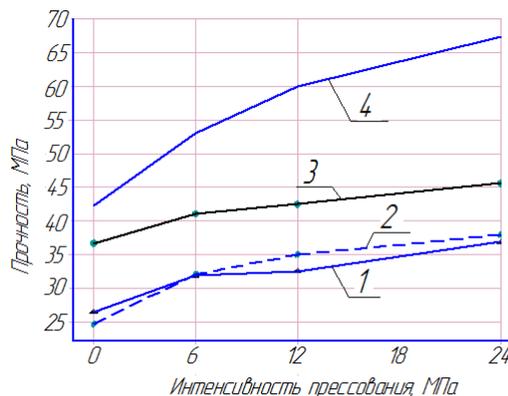


Рис. 3. 1 – Влияние интенсивности гиперпрессования на прочность бетона: 1 – ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5 Б; 2 – ЦЕМ I 42,5 Н; 3 – ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42,5 Н; 4 - ЦЕМ I 52,5 Н

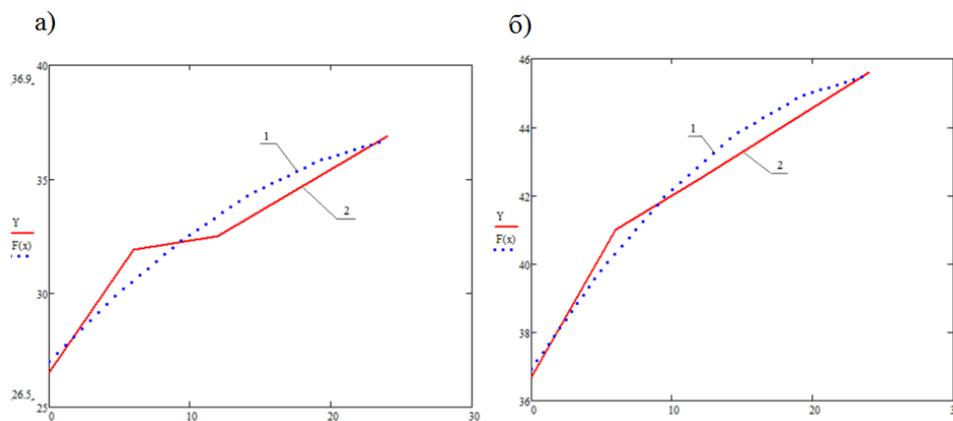


Рис. 3. 2 – Значение прочности гиперпрессованного бетона: 1 – теоретическое; 2- экспериментальное; а – цемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б; б – цемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42,5 Н

Анализ полученных данных показал, что между теоретическими и экспериментальными значениями прочности гиперпрессованного бетона

существует достаточно высокая корреляционная связь для данной выборки и составляет порядка 0,95-0,99 в зависимости от марки цемента.

Изменения структуры гиперпрессованного бетона изучались на цементном камне с помощью исследования химического состава, микроскопического, рентгеноструктурного и дифференциально-термического анализа. Указанные методы изучения структуры цементных бетонов описаны ранее.

Исследования поэлементного химического анализа показали, что гиперпрессованный и исходный цементные камни состоят, практически, из одних и тех же элементов (табл. 3.2). Однако, в количественном плане, процентное содержание твердых элементов в гиперпрессованном цементном камне больше, а газообразных – меньше, по сравнению с исходным цементным камнем. Полученные данные позволяют судить о более плотной структуре гиперпрессованного цементного камня.

Таблица 3.2 – Химический анализ обычного и гиперпрессованного цементного камня

Наименование элемента	Содержание, %	
	Обычный	Гиперпрессованный
C	8,13	7,83
O	57,57	55,85
Al	1,78	1,9
Si	5,82	5,98
S	1,07	1,28
K	1,10	1,15
Ca	23,19	24,24
Fe	1,35	1,77

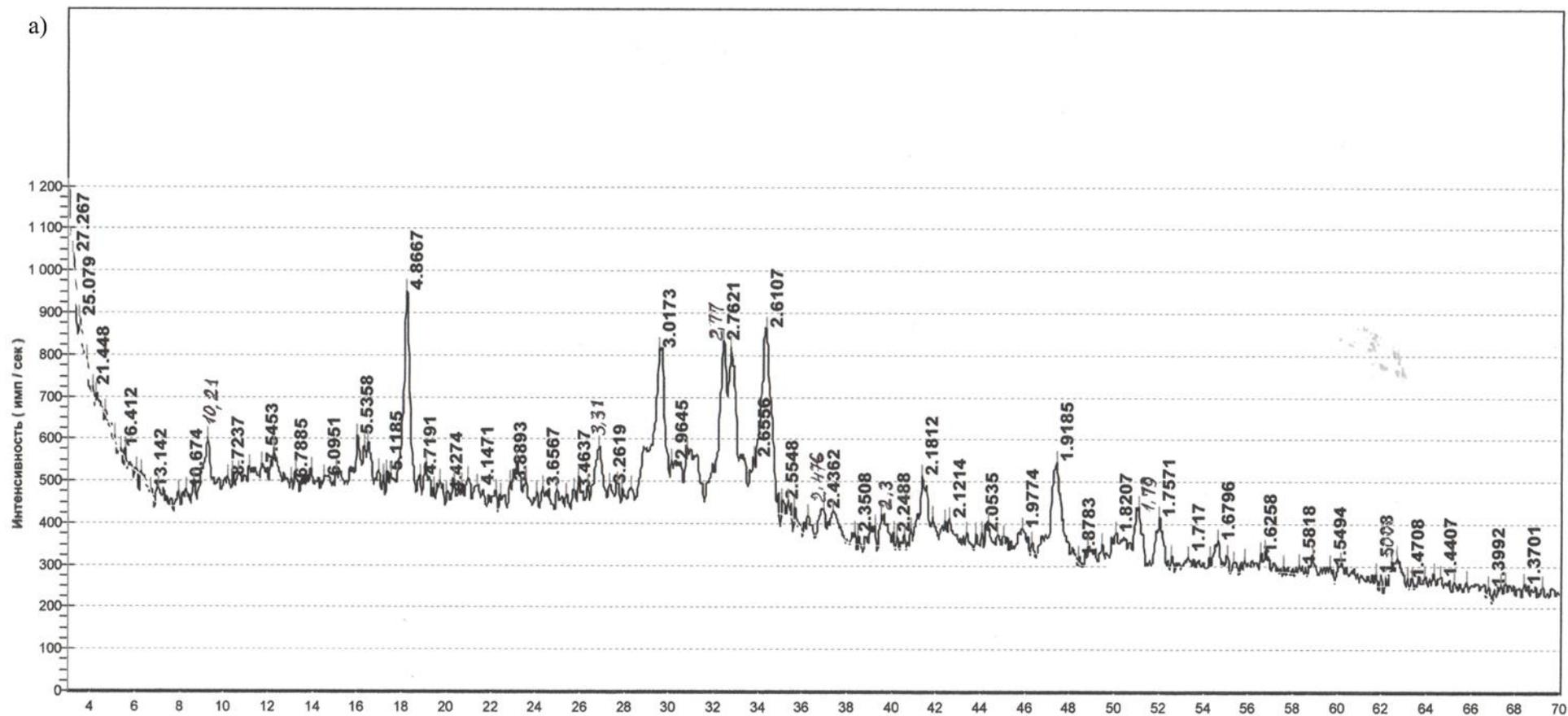
Огромное значение в исследовании веществ играют методы, основанные на принципе использования рентгеновских лучей (РСА).

Идентификация проводилась по аналитическим линиям с определением межплоскостных расстояний. Образцам, как из обычного, так и гиперпрессованного цементного камня свойственно присутствие

гидросиликатов кальция тоберморитового ряда. Во всех образцах фиксируется содержание портландита, ксонотлита, фошагита. Данные рентгеноструктурного анализа представленные на рентгенограммах (рис. 3.3) показали, что гиперпрессование не приводит к изменению фазового состава обычного цементного камня.

Проведенные ранее Сеськиным И. Е. исследования показали, что твердение цементного камня под давлением в течении 8 часов приводит к снижению как несвязанной, так и связанной вода. Таких исследований применительно уплотнения цементного камня при кратковременном гиперпрессовании в настоящее время не проводилось. На снижение содержания воды в цементном камне, уплотненном гиперпрессованием, указывают результаты дифференциально-термического анализа. На рис. 3.4 приведены термограммы обычного и гиперпрессованного цементного камня. Для всех образцов характерны три основные эндотермические эффекты: 149 °С – выделение воды гидросиликатов кальция; 500 °С – выделение конституционной воды гидросиликатов кальция; 790 °С – диссоциация кальцита.

Исследования показали, что и в обычном, и в гиперпрессованном цементном камне характер протекания эндотермических процессов идентичен. Однако, количественно указанные процессы протекают более интенсивно в обычном цементном камне. При этом потеря массы в обычном цементном камне больше, по сравнению с гиперпрессованным (табл. 3.3). Это указывает на наличие большего количества воды в обычном цементном камне.



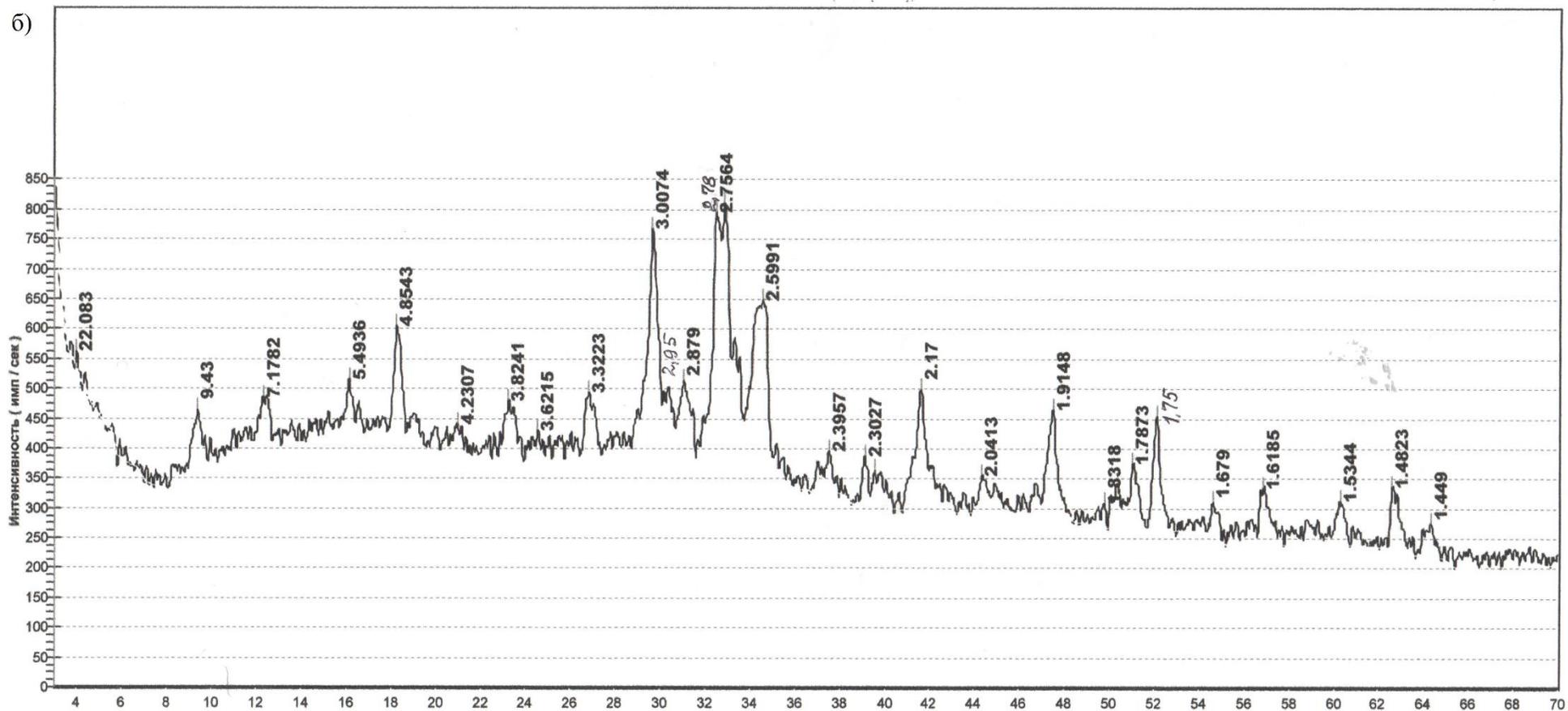


Рис. 3.3 – Рентгеноструктурный анализ: а) обычный цементный камень; б) гиперпрессованный цементный камень

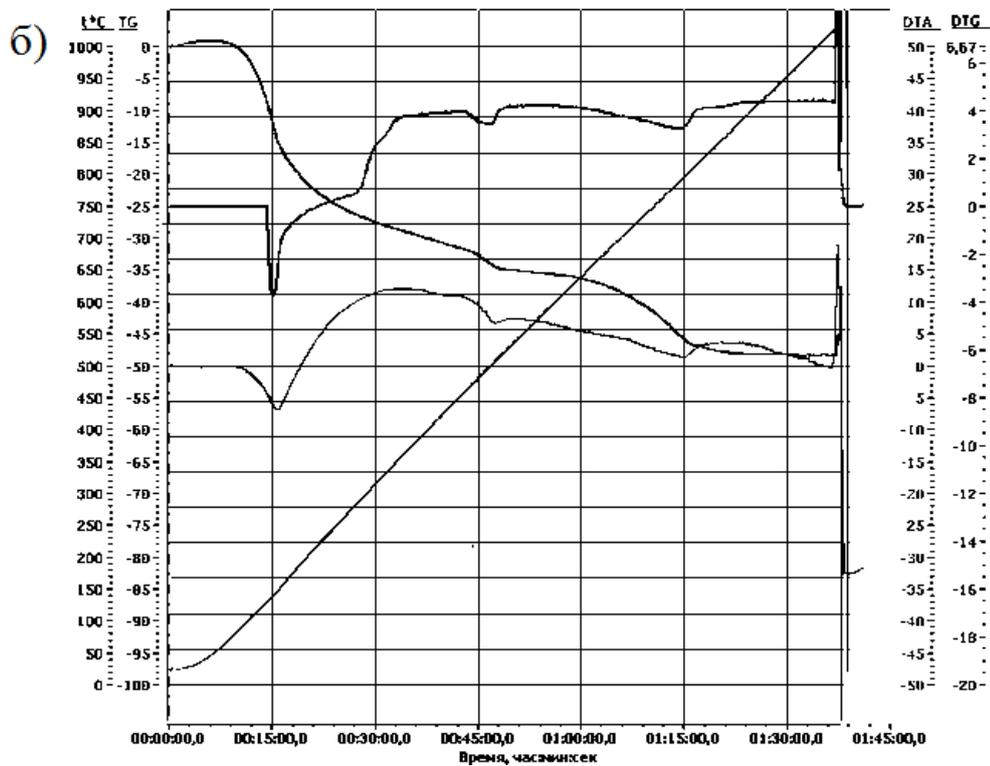
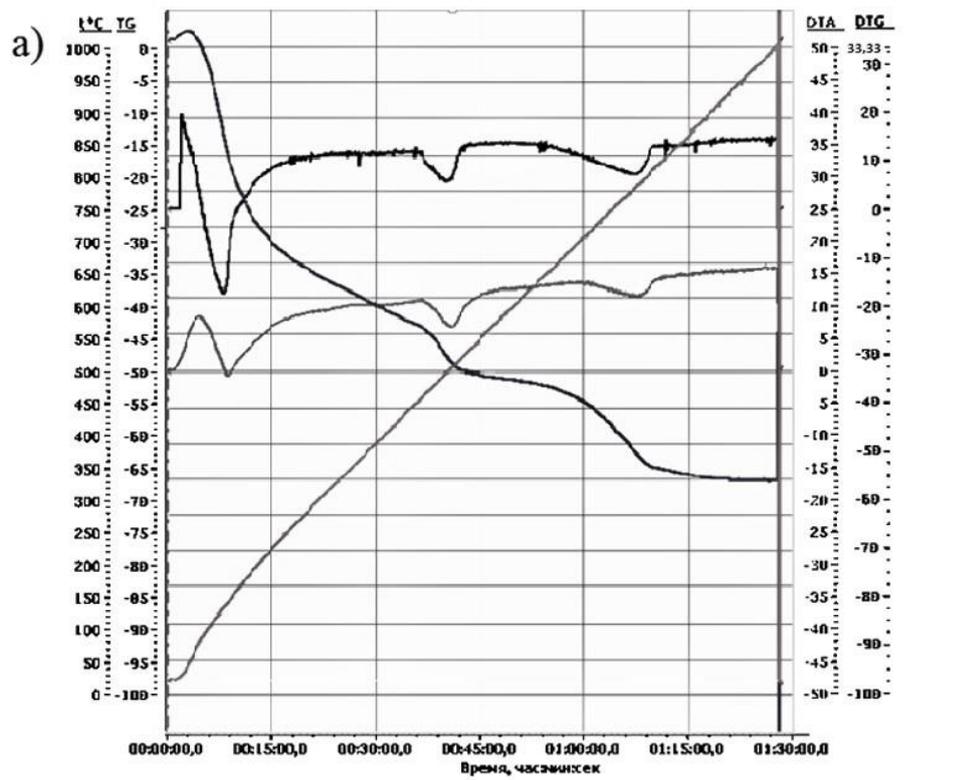


Рис. 3.4 - Термограммы и кривые потери массы цементного камня: а) обычного; б) гиперпрессованного

Таблица 3.3 – Потеря массы обычного и гиперпрессованного цементного камня

Наименование	Потеря массы, %		
	300 °С	600 °С	1000 °С
Обычный цементный камень	8,75	12,75	16,75
Гиперпрессованный цементный камень	6,25	9,25	12,23

Так, удаление воды при прессовании обычного цементного камня с интенсивностью 24 МПа на 30 %, приводит к снижению содержания кислорода и, соответственно, пористости. Тем самым позволяет значительно повысить прочность гиперпрессованных цементных бетонов.

Как известно, между прочностью при сжатии и прочностью на растяжение существует тесная корреляционная связь. Применительно к обычному бетону эта связь достаточно хорошо изучена. Однако до настоящего времени вопросу связи между прочностью гиперпрессованного и дисперсно-армированного гиперпрессованного бетона при сжатии и на растяжение при раскалывании не уделялось должного внимания.

Для выполнения экспериментальных исследований по изучению влияния режима гиперпрессования на прочность бетона на растяжение при раскалывании были изготовлены 2 серии образцов.

Результаты экспериментальных исследований прочности гиперпрессованного бетона приведены в таблице 3.4. Данные испытания первой серии (ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б) прочности бетона на растяжение при раскалывании свидетельствуют о том (рис. 3.5), что гиперпрессование способствует увеличению прочности обычного бетона примерно на 30 %. С увеличением прочности бетона, прежде всего, следует связывать рост плотности бетона при гиперпрессовании порядка 4 % (табл. 3.4). Наибольший прирост прочности приходится на интервал давлений гиперпрессования от 0 до 12 МПа, дальнейшее увеличение давления

гиперпрессования на прочность бетона на растяжение при раскалывании не оказывает существенного влияния.

Вторая серия результатов экспериментальных исследований, проведенная с использованием цемента марки ЦЕМ I 42,5 Н, подтверждает данные первой серии испытаний (рис. 3.6). Увеличение прочности исходного бетона при гиперпрессовании составило порядка 20 %.

Таблица 3.4– Прочность гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Плотность образца г/см ³	Прочность, МПа
ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б	0	2,46	5,2
	6	2,511	6,3
	12	2,528	6,8
	24	2,557	5,9
ЦЕМ I 42,5 Н	0	2,568	6,6
	6	2,583	7,2
	12	2,604	7,8
	24	2,62	7,2

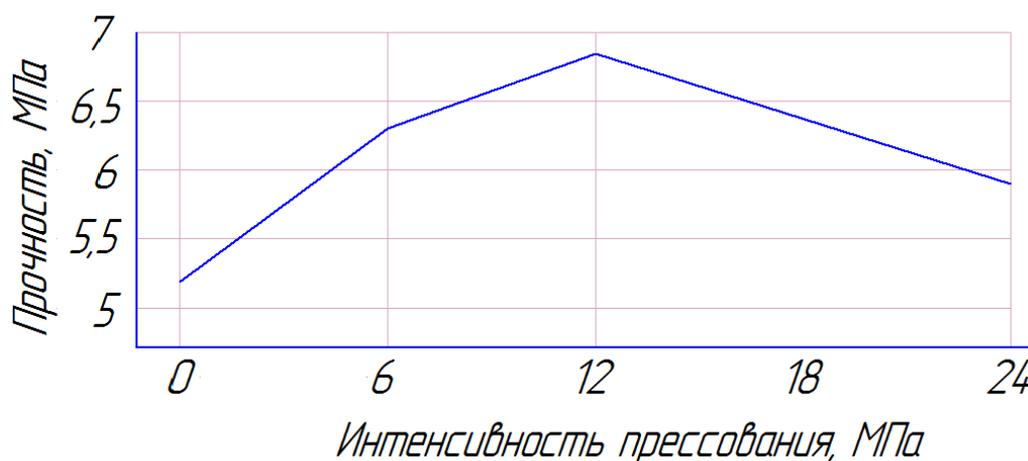


Рис. 3.5 – Зависимость между прочностью бетона (ЦЕМ II/A-K (Ш-II) 32,5Б) на растяжение при раскалывании и интенсивностью гиперпрессования

Таким образом, гиперпрессование бетонной смеси позволяет наряду с повышением прочности при сжатии увеличить и прочность на растяжение

при раскалывании. В интервале давлений гиперпрессования до 24 МПа рост прочности на растяжение при раскалывании составил порядка 20 – 30 %, причем, увеличение прочности наблюдалось до давления 12 МПа. Дальнейшее увеличение интенсивности гиперпрессования не приводило к росту прочности или же способствовало некоторому ее снижению.

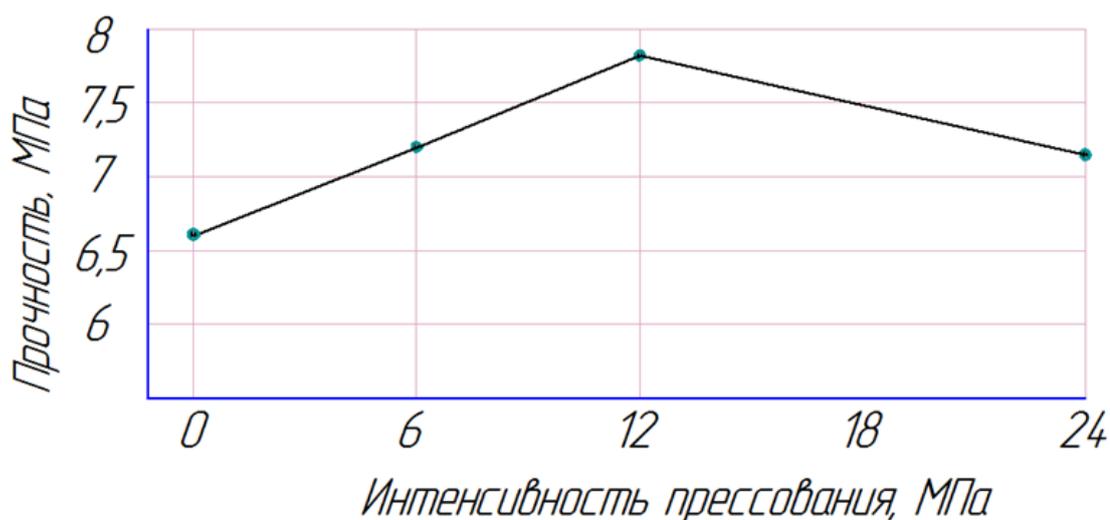


Рис. 3.6 – Зависимость между прочностью бетона (ЦЕМ I 42,5 Н) на растяжение при раскалывании и интенсивностью гиперпрессования

Прежде всего, это связано с тем, что при высокой интенсивности прессования все компоненты бетонной смеси, в том числе воздух и вода 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 сказанного были проведены экспериментальные исследования по измерению величины упругого последствия в зависимости от величины давления гиперпрессования. Методика проведения описана в Главе II.

При снятии давления гиперпрессования форма через специальные отверстия стягивается с крышкой-поршнем тягами. Деформации последствия определялись индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм, который фиксировал перемещения поршня в момент снятия давления. Указанные перемещения и есть увеличение в объеме запрессованного бетона (деформации упругого последствия). Однако, данная величина не является абсолютной так, как в расчет не принимается вес крышки-поршня. Величина упругого последствия 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.

Сопоставляя полученные результаты нетрудно заметить увеличение деформации упругого последствия пропорционально росту давления гиперпрессования (рис. 3. 7).

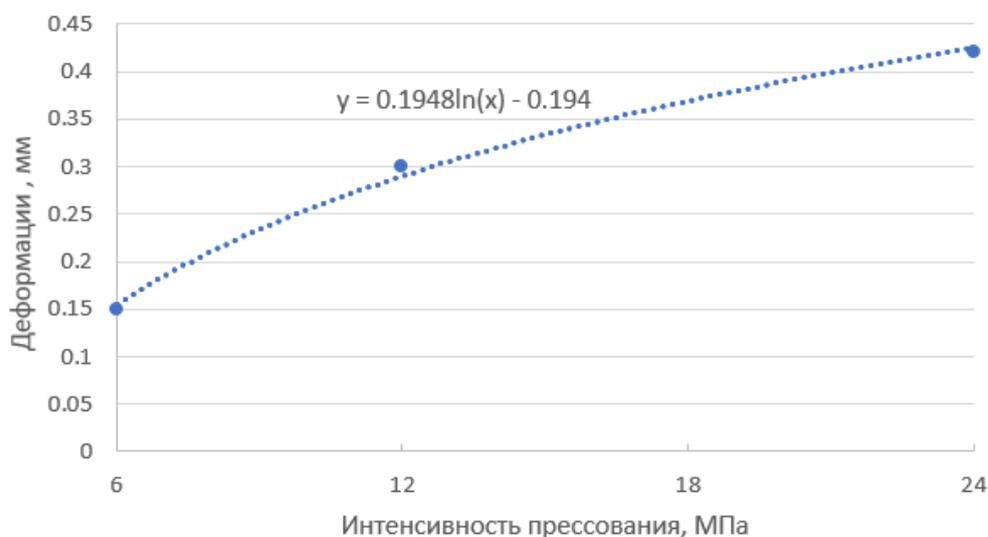


Рис. 3. 7 – Изменение величины упругого последствия в зависимости от интенсивности гиперпрессования

Таким образом, в области производства изделий из гиперпрессованного бетона необходим поиск решений по снижению величины деформации упругого последствия.

3.2. Влияние дисперсного армирования на прочность и структуру гиперпрессованного бетона

Наиболее перспективным направлением снижения деформации упругого последействия является увеличение начальной прочности гиперпрессованного бетона.

Ю. В. Пухаренко [56] установлено, что в присутствии волокон происходят более глубокие гидратационные процессы в цементном камне в независимости от используемого для армирования материала. В свою очередь, фибра представляет собой поверхность, на которой происходит формирование прочного слоя структурных новообразований.

Применение дисперсного армирования в гиперпрессованном бетоне способствует снижению величины деформации упругого последействия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона

С этой целью предлагается армирование гиперпрессованной бетонной смеси высокомодульными 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, деформативностью, долговечностью и стойкостью к агрессивным средам.

Экспериментальные исследования влияния дисперсного армирования на раннюю прочность гиперпрессованного бетона проведены на фиброцементе на ранней стадии твердения - 4 часа, 6 часов, 8 часов (рис. 3.8, табл. 3.5). Для исследования использовался цемент марки ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 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.

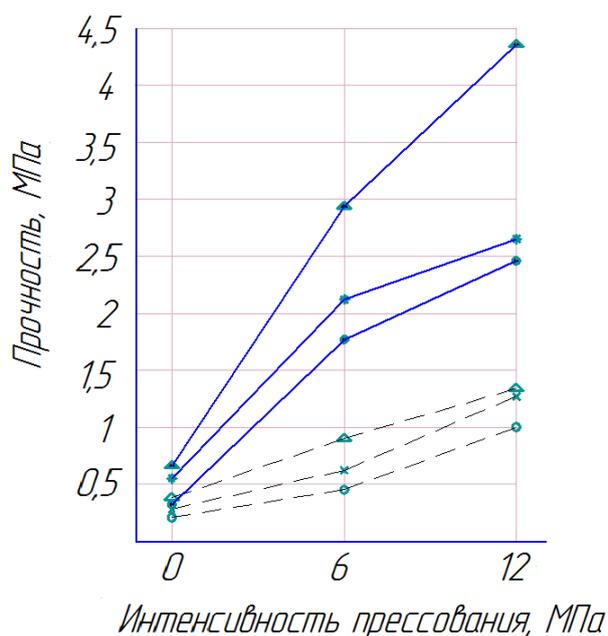


Рис. 3. 8 – Кинетика набора прочности цементного камня на ранней стадии твердения: — — - обычный цементный камень; — — — - цементный камень, армированный 1,5 % фибровых волокнами; ; ○ – ЦК в возрасте 4 часов; х – ЦК в возрасте 6 часов; Δ - ЦК в возрасте 8 часов; ● – ЦК в возрасте 4 часов; * - ЦК в возрасте 6 часов; ▲ - ЦК в возрасте 8 часов

Таблица 3. 5 - 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. 3.9).

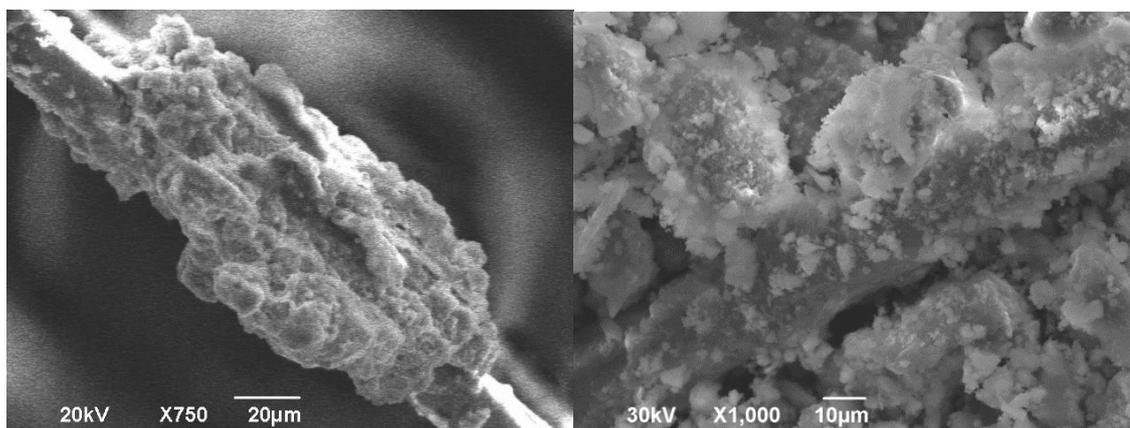


Рис. 3. 9 – Новообразование на поверхности базальтового волокна

Сравнивая структуру фиброцемента и гиперпрессованного фиброцемента (рис. 3. 10) можно констатировать положительный эффект от совместного применения дисперсного армирования и гиперпрессования.

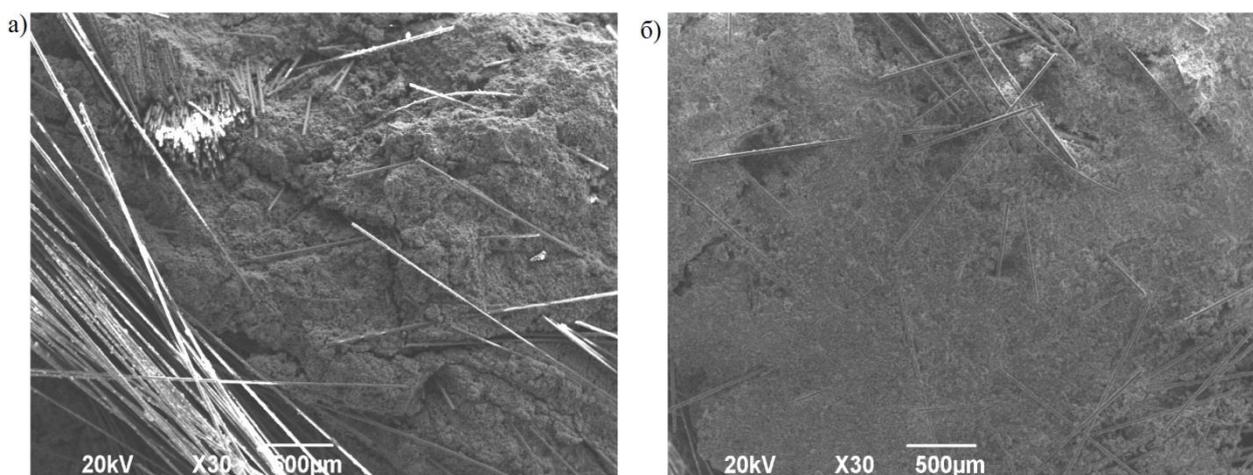


Рис. 3. 10 – Структура дисперсно-армированного цементного камня: а) обычного; б) гиперпрессованного

Как видно из рис. 3.10, в структуре гиперпрессованного фиброцемента практически отсутствуют микротрещины и дефекты. Прежде всего, это обусловлено созданием более плотного материала при гиперпрессовании. Фибра же, воспринимает растягивающие напряжения в результате проявления деформации упругого последействия, и оказывает положительное влияние на структуру и прочностные характеристики цементных бетонов.

Также известно, что базальтовые волокна вступают в химические взаимодействия с растворной частью бетона, в следствии чего, подвергаются коррозионным процессам с частичным разрушением поверхности. Однако, данный процесс имеет затухающий характер и новообразования на границе фибры препятствуют ее дальнейшему разрушению. Все это в совокупности будет оказывать положительное влияние на плотность и прочностные характеристики цементного камня и цементных бетонов.

Увеличение прочности при сжатии гиперпрессованного бетона на ранней стадии, армированного высокомодульными волокнами, не могло не сказаться на прочности при сжатии на более поздней стадии твердения (28 сут.). В бетоне дисперсное армирование базальтовыми волокнами менее эффективно действует на формирование прочности, чем цементного камня. Это следует связывать с тем, что при одной и той же дозировке по массе цемента их объемное содержание различается.

Для экспериментальных исследований влияния дисперсного армирования на прочность гиперпрессованного бетона при сжатии были изготовлены 2 серии опытных образцов. В первой серии испытаний применялись 4 вида вяжущего вещества: портландцемент ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б, ЦЕМ I 42,5 Н, ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н, ЦЕМ I 52,5 Н (рис. 3.11 – 3.14). При изготовлении второй серии использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (рис. 3.15). Первая серия образцов изготавливалась из бетона с

добавлением базальтовых волокон, вторая – с добавлением металлической фибры.

Проведенными исследованиями (рис. 3.11 – 3.14, табл. 3. 6) установлено, что армирование бетона базальтовыми волокнами в количестве 1,5 % от расхода цемента способствует повышению прочности при сжатии гиперпрессованного бетона порядка 1,1 – 1,38 раза. Дальнейшее увеличение их расхода (до 3 %) к дальнейшему росту прочности не приводит. С ростом интенсивности гиперпрессования происходит снижение его эффективности.

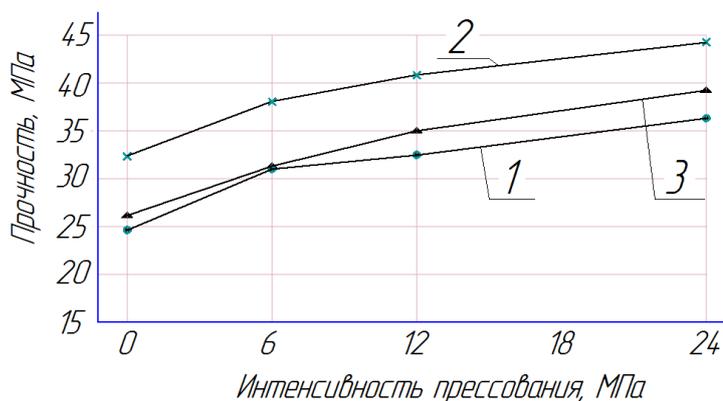


Рис. 3. 11 - Влияние базальтового волокна на прочность гиперпрессованного бетона (цемент ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б) при расходе БВ: 1– 0%; 2 – 1,5 %; 3 – 3 %

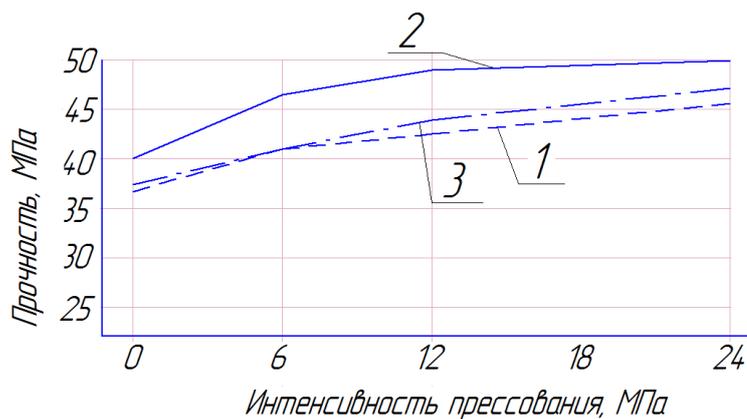


Рис. 3. 12 - Влияние базальтового волокна на прочность гиперпрессованного бетона (цемент ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н) при расходе БВ: 1– 0%; 2 – 1,5 %; 3 – 3 %

На интервал от 0 до 12 МПа приходится больше половины прироста прочности гиперпрессованного фибробетона. Наибольший эффект от

применение дисперсного армирования в гиперпрессованных бетонах наблюдается в интервале давлений от 12 до 24 МПа. При этом увеличение плотности бетона составило примерно от 0,4 до 2,5 % для разных марок цемента.

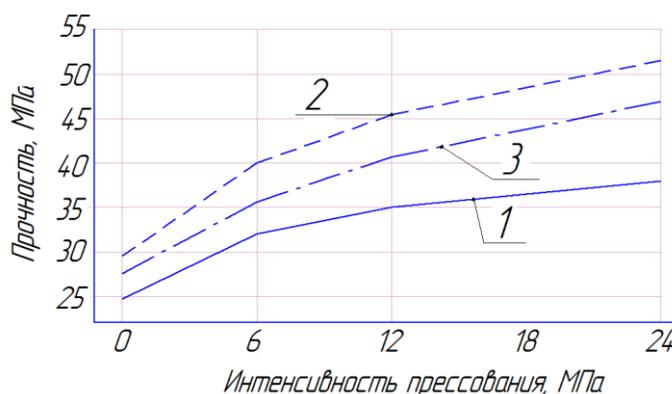


Рис. 3. 13 - Влияние базальтового волокна на прочность гиперпрессованного бетона (цемент ЦЕМ I 42,5 Н) при расходе БВ: 1– 0%; 2 – 1,5 %; 3 – 3 %

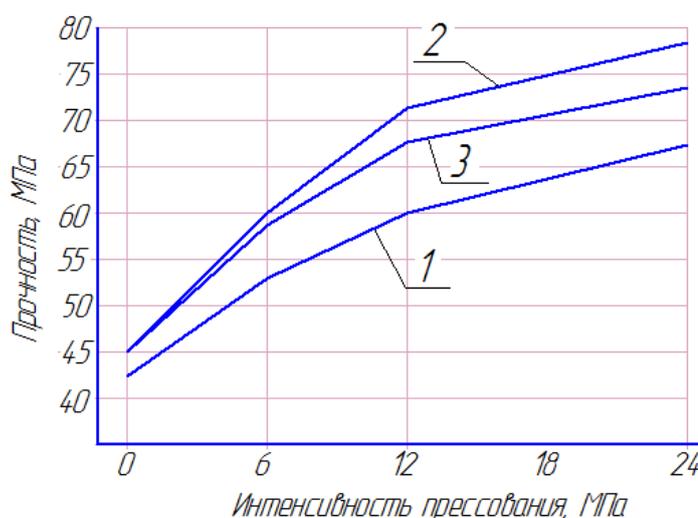


Рис. 3. 14 - Влияние величины давления гиперпрессования и расхода базальтового волокна на прочность бетона (ЦЕМ I 52,5 Н) при расходе БВ: 1– 0 %; 2 – 1,5 %; 3 – 3 %.

Для сопоставления, помимо базальтовых волокон, были проведены экспериментальные исследования влияния металлической фибры на прочность гиперпрессованного бетона при сжатии (рис. 3.15, табл. 3.6).

Как и в гиперпрессованном базальтовом фибробетоне, в гиперпрессованном сталефибробетоне наибольшее увеличение прочности

наблюдается при среднем расходе волокон (10 % от расхода цемента). Увеличение количества дисперсной арматуры свыше 10 % к дальнейшему росту прочности не привело. Что, по-видимому, следует связывать с «переармированием» гиперпрессованного бетона. Увеличение прочности сопоставимо с гиперпрессованным базальтовым фибробетоном и составляет порядка 1,4 раза. При этом наблюдался рост плотности примерно до 10 %.

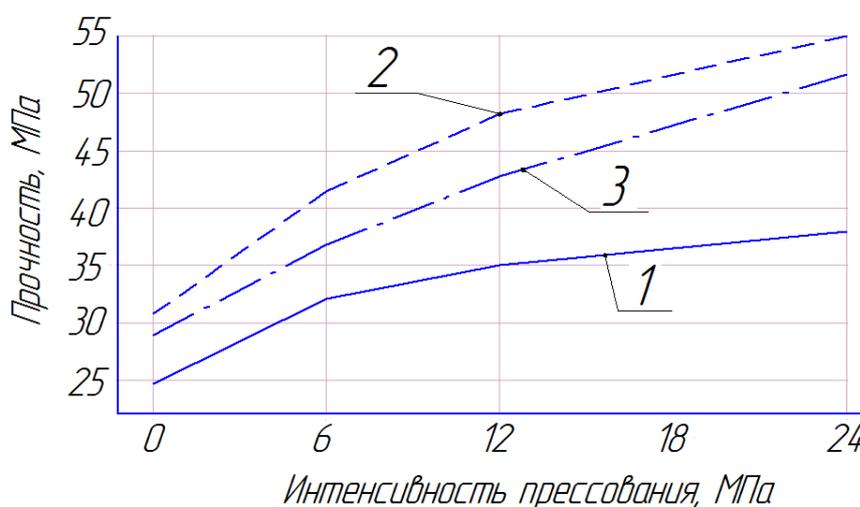


Рис. 3. 15 - Влияние металлических волокон на прочность гиперпрессованного бетона (цемент ЦЕМ I 42,5 Н) при расходе стальной фибры: 1 – 0 %; 2 – 10 % от расхода цемента; 3 – 20 %.

Таким образом применение как базальтовых, так и металлических волокон в гиперпрессованном бетоне способствует активному формированию его прочности при сжатии. Нормально ориентированные к растягивающим напряжениям волокна воспринимают их, способствуя тем самым росту прочности цементных бетонов.

Увеличение прочности гиперпрессованного бетона при сжатии при применении дисперсного армирования не могло не отразиться на его прочности на растяжении при раскалывании.

Таблица 3. 6 – Влияние дисперсного армирования на прочность и плотность гиперпрессованного бетона

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа/плотность, г/см ³				
		Расход базальтовой фибры, %			Расход стальной фибры, %	
		0	1,5	3	10	20
ЦЕМ П/А-К (Ш-П) 32,5Б	0	26,5/2,23	32,3/2,26	27,1/2,29	-	-
	6	31,9/2,27	38/2,28	31,3/2,29	-	-
	12	32,5/2,31	41,3/2,33	34,8/2,35	-	-
	24	36,9/2,45	44,1/2,46	39,2/2,47	-	-
ЦЕМ П/А-К (Ш-П) 42.5 Н	0	36,7/2,42	40,1/2,44	37,1/2,42	-	-
	6	41/2,42	46,5/2,51	40,8/2,47	-	-
	12	42,5/2,45	49/2,54	44/2,52	-	-
	24	45,6/2,52	49,8/2,55	46,5/2,59	-	-
ЦЕМ I 42,5 Н	0	24,8/2,21	29,6/2,23	27,8/2,24	31,3/2,41	29,6/2,43
	6	32,1/2,26	40,1/2,27	35,6/2,27	41,7/2,45	32,3/2,48
	12	35/2,28	45,4/2,31	40,8/2,32	48,6/2,47	43,4/2,5
	24	37,7/2,31	52,3/2,37	46,5/2,37	55/2,53	52,1/2,55
ЦЕМ I 52,5 Н	0	42,5/2,42	45,1/2,46	44,8/2,47	-	-
	6	53,7/2,51	60,2/2,5	59,1/2,51	-	-
	12	60,4/2,53	71,7/2,55	67,4/2,55	-	-
	24	67,2/2,56	78,4/2,57	74,2/2,58	-	-

Для экспериментальных исследований влияния дисперсного армирования на прочность гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании были изготовлены 2 серии опытных образцов (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Влияние дисперсного армирования на прочность гиперпрессованного бетона на растяжение при раскалывании и его плотность

Марка цемента	Давление гиперпрессования, МПа	Прочность, МПа/плотность, г/см ³				
		Расход базальтовой фибры, %			Расход металлической фибры, %	
		0	1,5	3	10	20
ЦЕМ П/А-К (Ш-П) 32,5Б	0	5,2/2,46	5,9/2,39	5,6/2,49	-	-
	6	6,3/2,51	7,2/2,46	6,5/2,51	-	-
	12	6,8/2,53	8,3/2,53	7/2,56	-	-
	24	5,9/2,56	8,4/2,56	7,3/2,61	-	-
ЦЕМ I 42,5 Н	0	6,6/2,53	7/2,53	6,8/2,54	7/2,55	6,7/2,53
	6	7,2/2,59	7,9/2,56	7,4/2,57	8,6/2,6	7,6/2,6
	12	7,8/2,60	8,6/2,59	7,9/2,57	9,2/2,62	7,9/2,62
	24	7,2/2,64	9/2,6	8/2,59	9,5/2,63	8,3/2,66

Первая серия образцов изготавливалась из бетона с добавлением базальтовых волокон (рис. 3.16, 3.17), вторая – с добавлением металлической фибры (рис. 3. 18).

Результаты экспериментальных исследований показали (табл. 3. 7), что повышение мгновенной прочности при применении дисперсного армирования способствует сглаживанию эффекта от проявления деформации упругого последействия. В гиперпрессованном бетоне при интенсивности свыше 12 МПа наблюдается снижение прочности на растяжение при раскалывании. Тогда, как в гиперпрессованном фибробетоне прослеживаются тенденции к ее повышению. Увеличение количества как базальтовых, так и металлических волокон к дальнейшему росту прочности на растяжение при раскалывании не приводит (рис. 3.16 – 3.18). Наибольший эффект упрочнения приходится на интервал давлений гиперпрессования от 12 до 24 МПа. С ростом интенсивности гиперпрессования эффективность от введения фибры повышается. Так, применение дисперсного армирования в гиперпрессованных бетонах позволяет повысить их прочность на растяжение при раскалывании примерно в 1,15 – 1,2 раза.

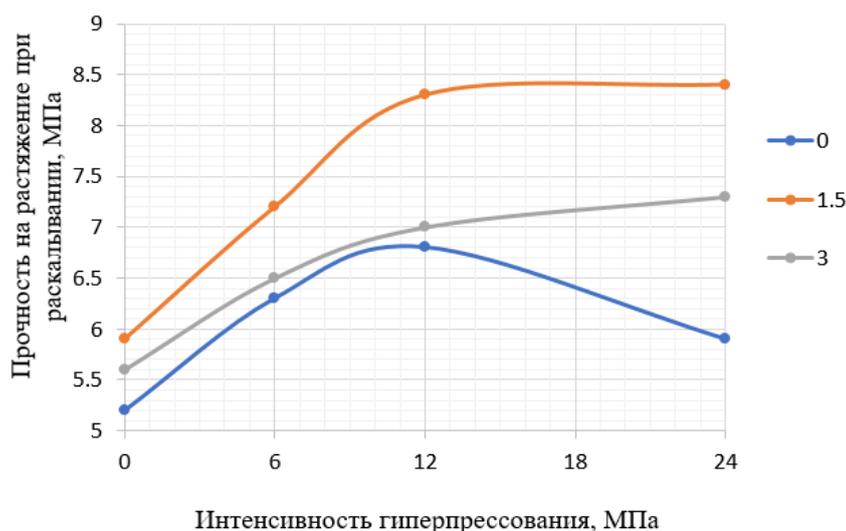


Рис. 3.16 – Прочность бетона (ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б) на растяжение при раскалывании: 1 – гиперпрессованного неармированного бетона; 2 – гиперпрессованного бетона, армированного базальтовыми волокнами с расходом 1,5%; 3 – тоже, с расходом 3%

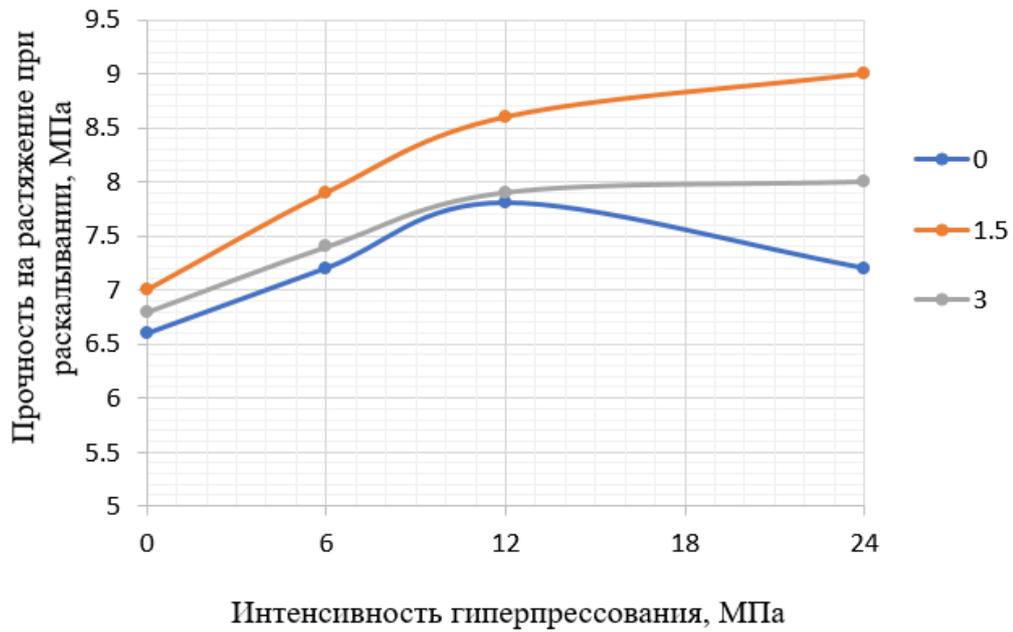


Рис. 3.17 – Прочность бетона (ЦЕМ I 42,5 Н) на растяжение при раскалывании: 1 – гиперпрессованного неармированного бетона; 2 – гиперпрессованного бетона, армированного базальтовыми волокнами с расходом 1,5%; 3 – тоже, с расходом 3%

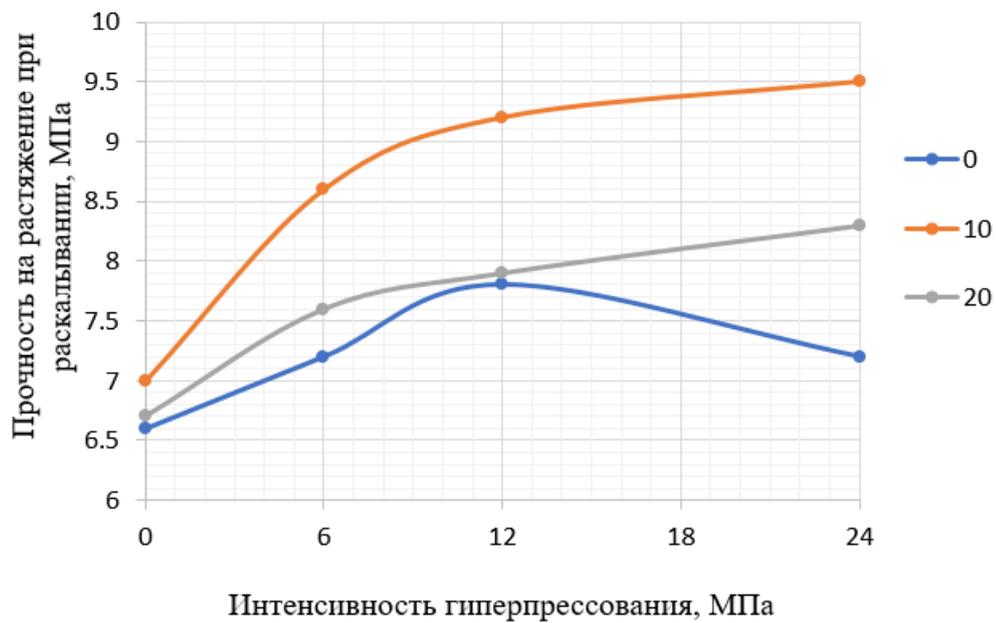


Рис. 3.18 – Прочность на растяжение при раскалывании бетона (ЦЕМ I 42,5 Н): 1 – гиперпрессованного неармированного бетона; 2 – гиперпрессованного бетона, армированного металлическими волокнами с расходом 10 % от расхода цемента; 3 – тоже, с расходом 20 %

Таким образом, дисперсное армирование не только препятствует деструктивным процессам структуры гиперпрессованных бетонов, но и способствует повышению их прочностных характеристик.

3.3. Влияние дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 на формирование прочности гиперпрессованного бетона

Как показали проведенные исследования, снижению влияния деформации упругого последействия на прочностные характеристики гиперпрессованных бетонов способствует применение дисперсного армирования. Помимо как увеличением начальной прочности гиперпрессованного бетона, снижения деформации упругого последействия можно достичь путем снижения внутренних напряжений в растворе бетона. С этой целью в гиперпрессованную дисперсно-армированную бетонную смесь предлагается вводить суперпластификатор С-3.

Для экспериментальных исследований влияния деформации упругого последействия на прочность гиперпрессованного фибробетона в качестве вяжущего используется 3 марки цемента: ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42,5 Н, ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 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 (рис. 3.19 – 3.21, табл. 3.8) 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. 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 внутренних напряжений, происходящих 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.



Рис. 3. 19 - Влияние на прочность гиперпрессованного бетона (ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 42.5 Н) совместного действия дисперсного армирования и пластифицирующей добавки; 1 – контрольные образцы; 2 - образцы из армированного бетона с расходом фибры 1,5% от количества цемента и пластификатора 0,5%; 3 – то же, количество фибры – 3% и добавки 1%

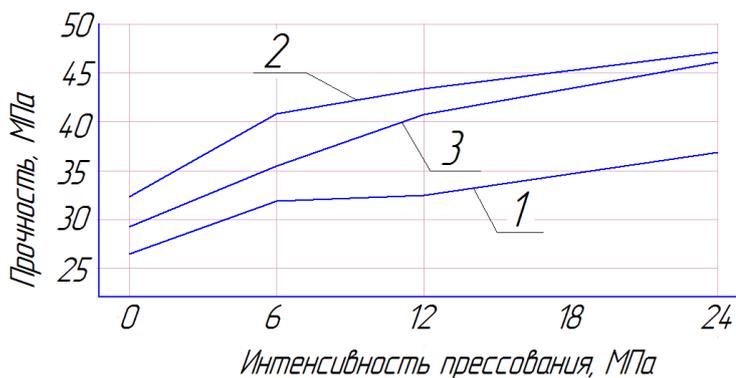


Рис. 3. 20 - Влияние на прочность гиперпрессованного бетона (ЦЕМ II/A-K (Ш-П) 32,5Б) совместного действия дисперсного армирования и пластифицирующей добавки; 1 – контрольные образцы; 2 - образцы из армированного бетона с расходом фибры 1,5% от количества цемента и пластификатора 0,5%; 3 – то же, количество фибры – 3% и добавки 1%

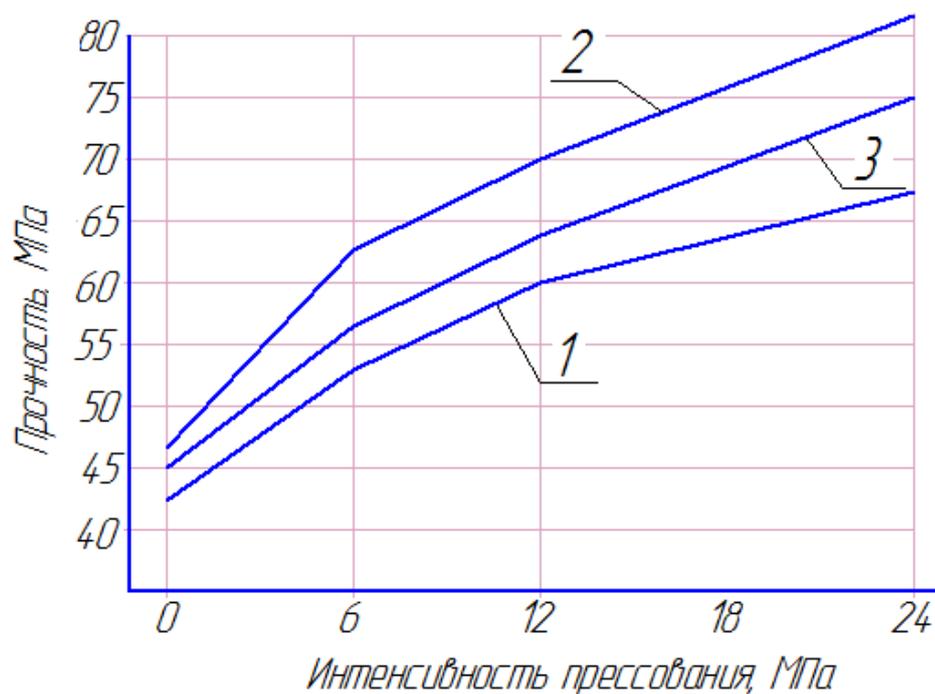


Рис. 3. 21 - Влияние на прочность гиперпрессованного бетона (ЦЕМ I 52,5 Н) совместного действия дисперсного армирования и пластифицирующей добавки; 1 – контрольные образцы; 2 - образцы из армированного бетона с расходом фибры 1,5% от количества цемента и пластификатора 0,5%; 3 – то же, количество фибры – 3% и добавки 1%

Таблица 3. 8 – 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 II/A-К (III-II) 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 II/A-К (III-II) 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

Тем самым, комплексное воздействие дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 позволяет активно влиять на снижение деформации упругого последействия и формирование прочности 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 [9]. Комплексное применение дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 способствует снижению величины деформации упругого последействия на 15 – 25 % в гиперпрессованном бетоне, тем самым, позволяет активно влиять на формирование их прочности.

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-II) 42.5 Н) (табл. 3.9).

Уравнение регрессии имеет вид:

$$R = b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot F + b_3 \cdot C + b_4 P^2 + b_5 F^2 + b_6 C^2 + b_7 PF + b_8 PC + b_9 FC;$$

Значения коэффициентов уравнения регрессии:

$$b_0 = 36,64; b_1 = 0,94; b_2 = 3,27; b_3 = 19,12; b_4 = -0,02; b_5 = -1,13; b_6 = -19,91; b_7 = 0,02; b_8 = 0,13; b_9 = 1,19.$$

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

(3.1)

где P –интенсивность гиперпрессования, МПа;

F –дисперсное армирование, % от расхода цемента;

C – пластифицирующая добавка, % от расхода цемента.

Таблица 3. 9 - План проведения эксперимента и полученные результаты

№	План эксперимента			Условия изготовления образца			R, МПа
	X ₁	X ₂	X ₃	P, МПа	F, %	C, %	
1	-	-	-	0	0	0	36,7
2	-	-	0	0	0	0,5	41,4
3	-	-	+	0	0	1	37,1
4	-	0	-	0	1,5	0	40,1
5	-	+	-	0	3	0	37,1
6	-	0	0	0	1,5	0,5	41
7	-	+	+	0	3	1	39,1
8	0	-	-	12	0	0	42,5
9	0	-	0	12	0	0,5	51,4
10	0	-	+	12	0	1	44,7
11	0	0	-	12	1,5	0	49
12	0	+	-	12	3	0	44
13	0	0	0	12	1,5	0,5	53,7
14	0	+	+	12	3	1	50,1
15	+	-	-	24	0	0	45,6
16	+	-	0	24	0	0,5	54,1
17	+	-	+	24	0	1	47,2
18	+	0	-	24	1,5	0	49,8
19	+	+	-	24	3	0	46,5
20	+	0	0	24	1,5	0,5	56,3
21	+	+	+	24	3	1	53,3

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.

Аппроксимация полученных экспериментальных данных прочности гиперпрессованного фибробетона, имеющих дискретный характер, трудоемка и весьма затруднительна.

С этой целью для обобщения и аппроксимации полученных данных использованы искусственные нейронные сети [65]. Одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами – это их обучаемость. Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из ее способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными в процессе обучения. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некоторой последовательности на основе нескольких предыдущих значений или действующих факторов.

Нейронные сети позволяют аппроксимировать непрерывные функции и вычислять значения непрерывной функции с заданной точностью.

Выделяют следующие этапы решения поставленной задачи посредством искусственной нейронной сети:

1. Сбор исходных данных, подготовка обучения и ее нормализация;

Входные данные представляют собой массив зависимости прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона, МПа (R) от трех факторов: давление гиперпрессования, МПа (P), количество дисперсной арматуры, % (F), расход пластифицирующей добавки, % (C). Нормализация входных данных, в силу различных размерностей, приводит к повышению качества выходных данных.

2. Выбор топологии сети;

Выбор сети зависит от постановки задачи и имеющихся данных для обучения. Для аппроксимации полученных данных используется нейронная сеть с многослойным перцептроном, в котором один алгоритм обратного распространения ошибки обучает все слои.

3. Экспериментальный подбор характеристик сети и параметров обучения;

После выбора общей структуры нужно экспериментально подобрать параметры сети. Для сетей, подобных перцептрону, это будет число слоев, количество нейронов на этих слоях, выбор параметра сигмоиды, число блоков в скрытых слоях, скорость и момент обучения.

4. Обучение сети;

Обучение сети заключается в порядке просмотра обучающей выборки. Порядок просмотра может быть последовательным, случайным. Просмотр выборки может быть, как одиночным, так множественным. Один полный проход по выборке называется эпохой обучения.

5. Проверка адекватности обучения;

Проверка полученных выходных данных зависит от выбранных характеристик нейронной сети. Завершающее обучение нейронной сети происходит посредством корректировки параметров и нахождения их оптимальных значений.

С помощью программного комплекса Neural Network Wizard (рис. 3.22) происходит реализации возможностей многослойной нейронной сети.

В табл. 3.10 представлены значения прочности гиперпрессованного фибробетона при произвольном сочетании условий изготовления образца, находящихся в пределах проведенных исследований.

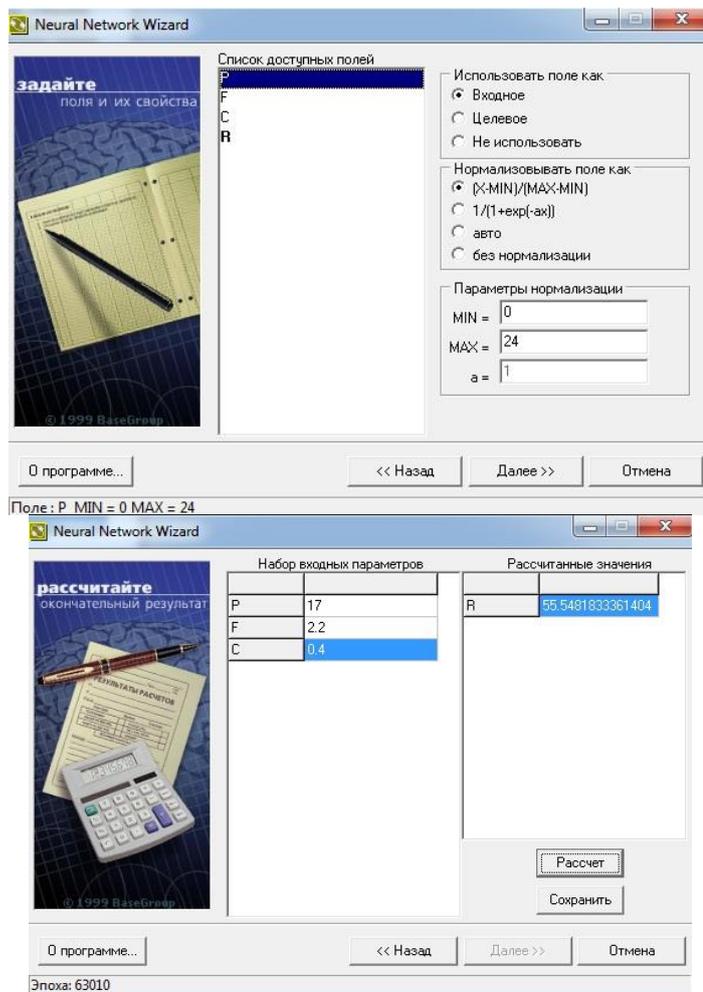


Рис. 3.22 – Интерфейс программы Neural Network Wizard

Таблица 3.10 – Прочность гиперпрессованного фибробетона, полученные с помощью нейронной сети

Условия изготовления образца			R, МПа
P, МПа	F, %	C, %	
0	0,4	1	37,3
0	1,5	1	36,9
8	2	0,5	49,1
4	1	0,7	37,8
16	2	0,7	52,2
18	2	0,4	56,2
20	1,2	0,3	56
10	3	0,5	51,5

Таким образом, вводя в поля данных значения известных параметров в установленном диапазоне можно подобрать их оптимальное сочетание и получить значение прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона. Тем самым, можно снизить количество экспериментальных исследований при достаточно широком диапазоне исходных факторов.

Выводы по третьей главе

1. Установлено, что при увеличении интенсивности гиперпрессования, в момент снятия прессующего давления, происходит проявление деформации упругого последствия, оказывающей влияние на прочность гиперпрессованного бетона.

2. Выявлено, что применение дисперсного армирования в гиперпрессованном бетоне способствует снижению величины деформации упругого последствия за счет увеличения начальной прочности гиперпрессованного бетона.

3. Экспериментальным путем установлено, что комплексное применение дисперсного армирования высокомодульными волокнами и суперпластификатора С-3 способствует значительному снижению деформации упругого последствия.

4. Подобрано оптимальное содержание дисперсного армирования и пластифицирующей добавки. Соотношение 1,5 + 0,5 % от расхода цемента является оптимальным для увеличения прочностных характеристик гиперпрессованного бетона, кроме того, способствует снижению величины деформации упругого последствия на 15 – 25 %.

5. Установлено, что в формировании прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона определяющую роль играет суперпластификатор С-3, вторым по значимости - дисперсное армирование. Наименьшее влияние оказывает гиперпрессование.

ГЛАВА IV. Повышение долговечности гиперпрессованного фибробетона

4.1. Влияние рецептурно-технологических факторов на морозостойкость гиперпрессованного бетона

Согласно современному воззрению разрушение цементного камня (бетона) при попеременном замораживании и оттаивании вызвано давлением, создаваемым в порах, капиллярах и микротрещинах за счет расширения воды при замораживании. При попеременном замораживании и оттаивании происходит постепенное разуплотнение структуры, приводящее к снижению прочности цементного камня (бетона).

Основным фактором, оказывающим влияние на прочностные свойства цементного камня и цементных бетонов, является структура, и прежде всего, пористость. Основными технологическими характеристиками, определяющими пористость и, соответственно, прочность цементного камня и цементных бетонов являются: водоцементное отношение, условия и длительность твердения цемента, дисперсность цемента, интенсивность и продолжительность уплотнения.

Основателем представлений о характере капиллярно-порового пространства является Т. Пауэрс. Эти представления были развиты позднее М. И. Бруссером и Ю. В. Чеховским на основании экспериментальных исследований структуры порового пространства.

Цементный камень представляет собой капиллярно-пористое тело, микроструктура которого может быть охарактеризована следующими структурными составляющими, как кристаллический сросток, тоберморитовый гель, не до конца гидратированные зерна цемента и поровое пространство.

В качестве связующего элемента в структуре цементного камня, т. е. носителем прочности, выступает цементный гель (гидросиликатная составляющая кристаллического сростка). Понятие «цементный гель» применительно к кристаллогидратной массе введено Т. Пауэрсом [88].

По Т. Пауэрсу поры цементного геля занимают порядка 28 % от его общего объема. Пористость цементного геля образуется промежутками между кристаллогидратными сростками и не зависит от величины водоцементного отношения, степени гидратации цемента и ряда других факторов.

Поровое пространство является многограновым и включает поры нескольких характерных размеров. Выделяют поры 4 характерных размеров, имеющих определенную физическую природу: гелевые (средний размер около 2 нм), «промежуточные (около 40 нм), капиллярные (порядка 300...2000 нм), макропоры с размером 0,1 см и более в виде защемленного воздуха. Так, гелевые поры соответствуют промежуткам между частицами гидросиликатной составляющей кристаллического сростка, «промежуточные» - интервалам между крупными частицами кристаллических новообразований, капиллярные – часть цементного камня, не заполненного поризованными продуктами гидратации цемента [88].

Для описания связи прочности и пористости цементного камня и, соответственно, цементных бетонов, применяются такие параметры структуры цементного камня, как общая пористость P_0 и капиллярная пористость P_K .

В связи с этим, для описания связи прочности и пористости цементного камня большое распространение получили зависимости М. Ю. Большина:

$$\begin{cases} R = R_0(1 - \Pi)^S, \\ R = R_0V^S, \end{cases} \quad (4.1)$$

где R_0 – прочность плотной фазы;

S – степенной показатель, отражающий интенсивный характер нарастания прочности R со снижением пористости Π или ростом относительной объемной концентрации твердой фазы (относительной плотности) V .

Так же относительную плотность твердеющего цементного камня можно определить из уравнения:

Однако лучшая корреляция прочности с общей пористостью описывается с помощью зависимости (4.2):

$$R = A \ln \Pi_{cr} / \Pi_0, \quad (4.2)$$

где A – значение константы;

Π_{cr} – критическая пористость, соответствующая нулевой прочности.

Если для обычного непрессованного цементного камня (бетона) было проведено большое количество исследований, то вопросу морозостойкости гиперпрессованного фибробетона не уделялось должного внимания.

Разрушение бетона в водонасыщенном состоянии при циклическом действии положительных и отрицательных температур обусловлено комплексом физических коррозионных процессов, вызывающих деформации, в частности собственные деформации (деформации упругого последействия), и механические повреждения изделий и конструкций из такого бетона.

К настоящему времени отсутствует единая теория, объясняющая механизм морозного разрушения бетона, хотя очевидно, что, в конечном счете, снижение прочности водонасыщенного бетона при попеременном замораживании и оттаивании обусловлено, в основном, образованием льда в порах бетона. В результате того, что объем, занимаемый льдом, на 9% больше объема воды, возникают значительные растягивающие напряжения, воздействующие на стенки пор и постепенно расшатывающие его структуру.

При водопоглощении в бетоне протекают два взаимно противоположных процесса: адсорбционный эффект, приводящий к снижению прочности, и уменьшение неравномерностей распределения внутренних напряжений, что в конечном итоге также приводит к повышению прочности. Длительное водопоглощение активизирует процесс роста новообразований. В результате чего достигается восстановление прочности бетона.

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.

Таким образом, при введении суперпластификатора С-3 и дисперсного армирования улучшается структура и прочностные характеристики гиперпрессованного фибробетона за счет снижения деформации упругого последствия. Что не могло не отразиться на водопоглощении, пористости и, соответственно, долговечности гиперпрессованного фибробетона.

Как показали опытные данные, приведенные на рис. 4.1, 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 практически не вбирают воду.

Водопоглощение всегда меньше пористости, так как часть пор оказывается закрытой, не сообщающейся с окружающей средой и недоступной для воды. Водопоглощение бетона изменяется, главным образом, в зависимости от объема пор, их вида и размеров:

$$\Pi = \omega_V \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}}, \quad (4.3)$$

$$\omega_V = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100\%. \quad (4.4)$$

где m_2 — масса материала в насыщенном водой состоянии; m_1 — масса материала в сухом состоянии; V — объем материала в естественном состоянии.

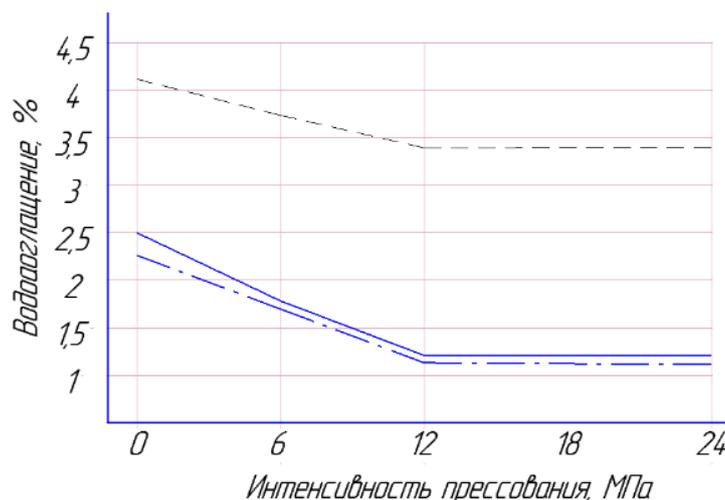


Рис. 4.1 – Водопоглощение гиперпрессованного фибробетона в зависимости от величины давления и содержания фибры: — — — обычный бетон; — — — бетон, армированный базальтовыми волокнами с расходом 1,5 % от расхода цемента; — · — · — тоже, с расходом 3%

На основании статистической обработки экспериментальных исследований (приложение 4) с помощью системы автоматизированного проектирования MathCad 15 нами получена зависимость, описывающая связь прочности гиперпрессованного фибробетона от его общей пористости:

$$R = A \cdot x^2 + B \cdot x + C, \quad (4.5)$$

где A, b, C – константы;

x – пористость материала.

$$R = -2,58 \cdot x^2 - 9,49 \cdot x + 61,35, \quad (4.6)$$

Анализируя связь между общей пористостью и прочностью гиперпрессованного фибробетона можно увидеть наличие прямой

зависимости между указанными величинами (приложение 4). Достаточно высокий коэффициент корреляции свидетельствует о существенной связи между пористостью гиперпрессованного фибробетона и его прочностью.

Зависимости (4.1), (4.2), (4.5) отражают интенсивное увеличение прочности цементных бетонов при снижении их пористости. Прежде всего, это обусловлено тем, что при увеличении пористости материала наибольшие напряжения на контуре пор возрастают быстрее, чем происходит снижение рабочей площади сечения.

Опытами установлено, что при попеременном замораживании и оттаивании наблюдалось значительное снижение прочности гиперпрессованного бетона при малых давлениях гиперпрессования (до 12 МПа (табл. 4.1)).

Таблица 4.1 – Потеря прочности образцов из гиперпрессованного фибробетона при попеременном замораживании-оттаивании

Давления гиперпрессования, МПа	Кол-во добавки + фибры, %	Средняя прочность, МПа		Нижняя граница доверительного интервала, МПа		Критериальное условие
		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	0,5 + 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	1 + 3	29,8	27,65	27,6	21,9	-20,7
6		36,47	38,9	35,6	34,7	-2,5
12		40,8	42,8	39,5	37,6	-4,9
24		48,8	50,44	40,7	42,7	+5

Примечание: - снижение прочности, + прирост прочности.

При гиперпрессовании бетона давлением до 12 МПа критериальное условие не выполняется. Прежде всего это связано с незначительной ранней

прочностью и развитием деструктивных процессов в результате проявления деформации упругого последействия. При гиперпрессовании бетона давлением 12 МПа и выше потеря прочности незначительна и составляет до 3 %. Как показали результаты экспериментальных исследований (табл. 4.1), применение дисперсного армирования и суперпластификатора С-3 при их расходе 3 + 1 % от расхода цемента позволяет сгладить потери прочности при сжатии гиперпрессованного фибробетона при попеременном замораживании и оттаивании. Тогда как, в гиперпрессованном фибробетоне при интенсивности гиперпрессования 24 МПа не только отсутствуют потери его прочности при попеременном замораживании-оттаивании, но имеются тенденции к увеличению прочности.

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

К тротуарной плитке предъявляются требования по морозостойкости не ниже $F_1 200$. Таким образом, применение дисперсного армирования и пластифицирующей добавки в гиперпрессованных бетонах при высокой интенсивности гиперпрессования (24 МПа) позволяет повысить их морозостойкость до марки $F_1 400$ и выше.

Выводы по четвертой главе:

1. Опыты показали, что применение дисперсного армирования и пластифицирующей добавки в гиперпрессованных бетонах приводит к существенному снижению их водопоглощения.

2. При попеременном замораживании-оттаивании в гиперпрессованном фибробетоне при интенсивности гиперпрессования 24 МПа имеются тенденции к увеличению его прочности. Что, в свою очередь, позволяет получить изделие с маркой по морозостойкости F_t 400 и выше.

3. Применение дисперсного армирования и пластифицирующей добавки в гиперпрессованных бетонах способствует к увеличению их морозостойкости более чем в 2 раза.

ГЛАВА V. Внедрение результатов исследований в практику производства дисперсно-армированных мелкоштучных изделий по технологии гиперпрессования

5.1. Разработка технологического процесса по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона. Расчет стоимости технологической линии по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона

В масштабах Самарского региона намечены пути внедрения в производство мелкоштучных изделий технологии гиперпрессования. В условиях реконструкции и технического перевооружения заводов ЖБИ был разработан проект (для выпуска дисперсно-армированных мелкоштучных изделий) технологической линии ОАО «ЖБИ №3 г. Самара по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона. За основу принята технологическая линия по производству строительных материалов компанией «ВОГЕАН» [121].

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 м³, в качестве прессового оборудования - гиперпресс "ВОГЕАН-4" с максимальным усилием в 480 тонн, вывести молотковую дробилку.

Приёмный бункер-питатель. Предназначен для приёма щебня и подачи его по нижнему транспортёру на наклонный транспортёр. Приёмный бункер-питатель установлен на поверхности земли (на улице) – для загрузки щебня при помощи ковшевых погрузчиков. Оборудован: транспортёром, открывающейся крышкой и нижними заслонками. Закрыт от дождя и снега.



Рис. 5.1. Приемный бункер-накопитель

Таблица 5. 1. Технические характеристики приемного бункера-питателя

Объём	5 м ³
Транспортёр 400 мм. L=3,4м.	1 шт
Эл. двигатель	2,2 кВт
Подъёмный механизм подъёма верхней крышки бункера	1 шт
Эл. Двигатель	0,5 кВт
Нижние заслонки	3 шт
Верхняя крышка	1 шт
Длина	3 м
Ширина	1,5 м
Высота	2,5 м
Масса	1800 кг

Наклонный транспортёр гранитного щебня.

Наклонный транспортёр предназначен для подачи щебня с транспортёра приёмного бункера в вибросито. Закрывает кожухом от дождя и снега.

Таблица 5. 2. Технические характеристики наклонного транспортёра щебня

Ширина ленты	400 мм
Длина конвейера	15 м
Скорость движения	2,5 м/с
Производительность	20 м ³ /час
Транспортируемый груз	Щебень
Электродвигатель	3 кВт
Масса	850 кг



Рис. 5.2. Наклонный транспортёр щебня

Вибросито.

Вибросито предназначено для отсева пород гранитного щебня более 5 мм, который поступает с наклонного транспортера.



Рис. 5.3. Вибросито

Таблица 5.3. Технические характеристики вибросита

Производительность	20 м ³ /час
Эл. Двигатель	1,1 кВт
Сырьё	Щебень
Длина	1200 мм
Ширина	800 мм
Высота	1000 мм
Масса	250 кг

Емкость цемента (силос).

Силос цемента предназначен для приемки цемента из цементовозов, хранения и дальнейшей подачи цемента по пневмоподаче в бункер-дозатор цемента над бетоносмесителем. Силос укомплектован фильтром цемента и датчиком избыточного давления.



Рис. 5.4. Емкость цемента (силос)

Таблица 5.4. Технические характеристики силоса цемента

Вместимость силоса	18 тонн
Объем силоса	14 м ³
Запас цемента на	24 час.
Диаметр трубы заправки	102 мм.
Толщина банки	5-8 мм.
Эл. двигатель пневмонасоса	7,5 кВт.
Диаметр банки	1900 мм.
Ширина с лестницей	2600 мм.
Высота с ограждением	8200 мм.
Масса	2000 кг.

Бункер-накопитель.

Бункера-накопители расположены в здании, состоят из двух бункеров, соединенных вместе, каждый из которых разделён на отдельные отсеки. Предназначены для приема щебня раздаточного транспортёра, хранения и дальнейшей подачи в бетоносмеситель. Имеют нижние заслонки.



Рис. 5.5. Бункер-накопитель

Таблица 5.5. Технические характеристики бункера-накопителя (2 шт)

Объём бункера, м ³ /тонн	35/55
Общий объём, м ³ /тонн	70/110
Общий запас	25 час
Длина бункеров	9,6 м
Ширина бункера	1,2 м
Общая ширина бункеров	2,4 м
Высота бункеров	3,4 м
Высота бункеров на опорах	5,2 м
Нижние заслонки	16 шт
Трап для технического обслуживания	1 шт
Масса с трапом и верхней решёткой	12 тонн

Раздаточный транспортер.

Раздаточный транспортер расположен над бункером-накопителем в рамке с перемещающимся плужковым сбрасывателем. Предназначен для приёма просеянной фракции щебня, подачи его и сбрасывания в отсеки бункеров при помощи передвигающегося плужкового сбрасывателя.

Таблица 5.6. Технические характеристики раздаточного транспортера

Ширина ленты	400 мм
Длина конвейера	15 м
Скорость движения	0,8-2,5 м/с
Производительность	20 м ³ /час
Транспортируемый груз	Щебень
Объемная масса	1,6 т/м ³
Максимальный размер куска	до 5 мм
Электродвигатель	3 кВт
Масса (с рамкой и плужковым сбрасывателем)	1100 кг

Бункер-дозатор цемента/песка.

Бункер-дозатор цемента/песка установлен над бетоносмесителем с тензометрическим весовым устройством УВТЭ и предназначен для дозирования нормы цемента/песка, подачи его в шнек. Дозатор работает либо под управлением системы АСУ.



Рис. 5.6. Бункер-дозатор цемента/песка

Таблица 5.7. Технические характеристики бункера-дозатора цемента/песка

Объем весового бункера	0,9 м ³
Наибольший предел дозирования	200кг
Материал	Цемент, песок
Длина	1500 мм
Ширина	1500 мм
Высота	1650 мм
Масса	360 кг

Шнек подачи цемента/песка.

Шнековый конвейер(шнек) предназначен для подачи нормы цемента и песка от бункеров-дозаторов в барабан-смеситель.



Рис. 5.7. Шнек подачи цемента/песка

Таблица 5.8. Технические характеристики шнека подачи цемента/песка

Диаметр трубы	114 мм
Длина трубы	2 м
Тип продукта - сыпучий	Цемент/песок
Производительность	4 м ³ /час
Установленная мощность	1,1 кВт
Масса	50 кг

Бункер-дозатор пигмента/фибры.

Бункер-дозатор пигмента/фибры с тензометрическим весовым устройством УВТЭ предназначен для дозирования нормы пигмента и подачи его в шнек. Дозатор работает либо под управлением локального шкафа управления, ли под управлением системы АСУ.



Рис. 5.8. Бункер-дозатор пигмента/фибры

Таблица 5.9. Технические характеристики бункера-дозатора пигмента/фибры

Объем весового бункера	0,9 м ³
Наибольший предел дозирования	10 кг
Материал	Пигмент/фибра
Длина	1000 мм
Ширина	1000 мм
Высота	1000 мм
Масса	200 кг

Шнек подачи пигмента.

Шнековый конвейер предназначен для подачи нормы пигмента от бункера-дозатора в барабан-смеситель.



Рис. 5.9. Шнек подачи пигмента

Таблица 5.10. Технические характеристики шнека подачи пигмента

Диаметр трубы	114 мм
Длина трубы	2 м
Тип продукта	Пигмент
Производительность	4 м ³ /час
Установленная мощность	1,1 кВт
Масса	50 кг

Металлический стол.

Металлический стол предназначен для подачи нормы фибры от бункера-дозатора в двухвальный бетоносмеситель с горизонтальным расположением валов. Подача осуществляется вручную.

Таблица 5.11. Технические характеристики стола для подачи фибры

Ширина стола	400 мм
Длина стола	2 м
Тип продукта	Фибра
Производительность	4 м ³ /час

Барaban-смеситель.

Барaban-смеситель установлен над бетоносмесителем и предназначен для приёма со шнеков нормы цемента, песка и пигмента, тщательного их перемешивания до однородной массы и подачи её в бетоносмеситель.



Рис. 5.10. Барaban-смеситель

Таблица 5.12. Технические характеристики барабана-смесителя

Объём	240 кг
Масса(перемешиваемая)	200 кг
Эл. двигатель	2,2 кВт
Материал	Цемент, песок, пигмент
Цикл перемешивания	2 мин
Длина	500 мм
Ширина	300 мм
Высота	600 мм
Масса	200 кг

Ёмкость-дозатор воды.

Ёмкость-дозатор воды с тензометрическим весовым устройством УВТЭ предназначен для дозирования нормы воды и подачи её в бетоносмеситель.

Дозатор работает либо под управлением локального шкафа управления, либо под управлением системы АСУ.



Рис. 5.11. Емкость-дозатор воды

Таблица 5.13. Технические характеристики емкости-дозатора воды

Объем весового бункера	120 л
Наибольший предел дозирования	100 кг
Материал	Вода
Длина	980 мм
Ширина	810 мм
Высота	1100 мм
Масса	145 кг

Нижние транспортеры.

Нижние транспортеры установлены под устьем бункеров – накопителей. Предназначены для подачи просеянной фракции щебня из бункеров - накопителей в бетоносмеситель.

Таблица 5.14. Технические характеристики нижних транспортеров

Ширина ленты	400 мм
Длина конвейера	10 м
Скорость движения	0,8-2,5 м/с
Производительность	20 м ³ /час
Транспортируемый груз	Щебень
Объемная масса	1,6 т/ м ³
Максимальный размер куска	5 мм
Электродвигатель	2,2 кВт
Масса	600 кг



Рис. 5.12. Нижние транспортеры

Бетоносмеситель.

Бетоносмеситель предназначен для приёма с нижних транспортёров, взвешивания (дозирования) нормы щебня при помощи весового механизма. Потом из барабана-смесителя высыпается норма смешанных цемента, песка, фибры, пигмента и всё тщательно перемешивается. С ёмкости-дозатора воды добавляется норма воды. В качестве бетоносмесителя предлагается применять двухвальный бетоносмеситель zzbo бп-2г-750 с горизонтальным расположением валов. Двухвальный бетоносмеситель состоит из неподвижного корпуса, внутри которого размещены два горизонтальных вала с закреплёнными на них лопатками и скребковыми лопастями. На валах имеются очистные кольца для самоочистки бетоносмесителя. Валы соединены между собой синхронизатором для защиты привода. Загрузка компонентов бетонной смеси осуществляется непосредственно в корпус бетоносмесителя, для защиты от попадания посторонних предметов предусмотрена защитная решетка. Привод осуществляется от электродвигателя 25 кВт через ременную передачу, оснащённую кожухом, и два редуктора. Скорость вращения смесительных валов 32 оборотов в минуту. Корпус двухвального бетоносмесителя облицован изнутри износостойкой

броней чешуйчатого типа. Броня сменная, крепится на винты. Броня чешуйчатого типа, состоящая из элементов, позволяет менять только износившуюся часть брони, что облегчает ремонт и обслуживание. Выгрузка готовой бетонной смеси из двухвального бетоносмесителя производится через окно в днище корпуса, закрываемое секторным затвором с пневмоприводом. Применение данного бетоносмесителя позволяет добиться равномерного распределения базальтовых волокон в бетонной смеси. Всё тщательно перемешивается, и рабочая смесь подаётся через открывающийся люк на средний наклонный транспортёр и дальше в бункер гиперпресса.



Рис. 5.13. Бетоносмеситель zzbo бп-2г-750

Таблица 5.15. Технические характеристики бетоносмесителя

Объем по загрузке	0,8 м ³
Объем готового замеса по бетону	0,5 м ³
Объем готового замеса по раствору	0,6 м ³
Производительность	20 м ³ /час
количество циклов за час	60 циклов
Время перемешивания смеси	30 - 60 с
Крупность заполнителя	70 мм
Частота вращения валов	32 об/мин
Напряжение	380 В, 50 Гц
Мощность	25 кВт
Масса	3400 кг
Габаритные размеры:	
Длина	3020 мм
Ширина	1980 мм
Высота	2240 мм

Наклонный транспортер.

Наклонный транспортер готовой смеси установлен между двумя нижними транспортёрами под бункерами-накопителями и предназначен для подачи готовой смеси от бетоносмесителя в бункера гиперпресса.

Таблица 5.16. Технические характеристики наклонного транспортера

Ширина ленты	400 мм
Длина конвейера	14 м
Скорость движения	0,8-2,5 м/с
Производительность	20 м ³ /час
Транспортируемый груз	Рабочая смесь
Объемная масса	1,6 т/ м ³
Максимальный размер куска	5 мм
Электродвигатель	2,2 кВт
Масса	850 кг

Перекидной транспортёр.

Перекидной транспортёр предназначен для принятия рабочей смеси с наклонного транспортёра и при помощи плужковых сбрасывателей доставляет её в бункер гиперпресса.

Таблица 5.17. Технические характеристики перекидного транспортера

Ширина ленты	400 мм
Длина конвейера	2,8 м
Скорость движения	0,8-2,5 м/с
Производительность	20 м ³ /час
Транспортируемый груз	Рабочая смесь
Объемная масса	1,6 т/ м ³
Максимальный размер куска	5 мм.
Электродвигатель	2,2 кВт
Масса	250 кг

Маслостанция.

Маслостанция предназначена для подачи рабочего давления масла по маслопроводам ко всем гидроцилиндрам технологической цепочки: нижними

заслонками бункеров-накопителей, бункеров-дозаторов цемента, песка, фибры и пигмента, нижняя заслонка барабан-смесителя, люк и весовой механизм бетоносмесителя, Укладчик 1, Подъемник, Толкатель, Съёмник, Промежуточный возвратный ярус, Возвратный ярус, Укладчик 2, Упаковщик.



Рис. 5.14. Маслостанция

Таблица 5.18. Технические характеристики маслостанции

Номинальное давление	80 Бар (Атм)
Производительность насоса	40 л/мин
Объем масляного бака	500 л
Эл. двигатель	5,5 кВт
Обороты Эл. двигателя	1500 об/мин
Габариты (L x B x H) мм	1000 x 500 x 1000
Масса (без масла)	250 кг
Используемое масло	индустриальное

Прессовое оборудование.

Гиперпресс "ВОГЕАН-4" двухстороннего прессования предназначен для производства гиперпрессованного облицовочного кирпича и тротуарной плитки методом полусухого гиперпрессования.



Рис. 5.15. Гиперпресс "ВОГЕАН-4"

Таблица 5.19. Технические характеристики гиперпресса "ВОГЕАН-4"

Производительность	1200 шт./час
Максимальное усилие двухстороннее прессование	480 тонн
Максимальный размер изделия (гладкий)	250x120x90
Максимальный размер изделий (для колки)	250x240x90
Установленная мощность	30 кВт
Цикл	15 секунд
Количество тротуарной плитки за 1 цикл	4 шт
Длина	1500 мм
Ширина	1000 мм
Высота	2100 мм
Масса с маслостанцией	4500 кг

Укладчик-автомат (Укладчик 1).

Укладчик 1 предназначен для съема 8шт. тротуарной плитки с приемного стола гиперпресса и переноса и укладки тротуарной плитки на металлический поддон. Всего на металлическом поддоне укладывается по 64 шт. тротуарной плитки (в два ряда).

Укладчик 1 состоит из: каретки, которая перемещается от приемного стола гиперпресса до металлического поддона и Сжимателя, который сжимает и разжимает тротуарную плитку, каретки, которая перемещает тротуарную плитку вверх или вниз.



Рис. 5.16. Укладчик-автомат (Укладчик 1)

Таблица 5.20. Технические характеристики укладчика-автомата

Производительность	64шт./192сек
Количество за Цикл	8 шт
Цикл	24 сек
Каретка 2	1 шт
Каретка 3	1 шт
Сжиматель	1 шт
Длина	4000 мм
Ширина	1336 мм
Высота	2200 мм
Масса	800 кг

Узел-автомат (Съёмник).

Съёмник предназначен для приёма металлического поддона с 64 шт. готового изделия от Укладчика 1, перемещению его вниз при помощи каретки и передаче его при помощи каретки на промежуточный возвратный ярус. Съёмник состоит из рамы–паза в котором происходит подъем вверх – вниз рамки, на которой установлены линии колес:

- а) для приёма металлического поддона с готовой тротуарной плиткой от Укладчика 1;
- б) для перемещения металлического поддона с готовой тротуарной плиткой от Укладчика 1;
- в) передвижения металлического поддона с готовой тротуарной плиткой на промежуточный возвратный ярус.

Таблица 5.21. Технические характеристики съёмника

Производительность	64шт./192сек
Количество на ярус за Цикл	64шт. на метал. поддоне
Цикл доставки с яруса	192 сек
Эл. Двигатель	5,5 кВт
Каретка	1 шт
Каретка	1 шт
Длина	1640 мм
Ширина	2564 мм
Высота	4235 мм
Масса	850 кг

Узел-автомат (Промежуточный возвратный ярус).

Промежуточный возвратный ярус предназначен для приёма металлического поддона с готовой тротуарной плиткой от Съёмника. И поднятия его вверх при помощи каретки и для дальнейшего перемещения металлического поддона с готовой тротуарной плиткой к Укладчику 2 и после съёма плитки Укладчиком 2 дальнейшего перемещения пустого металлического поддона на возвратный ярус.

Промежуточный возвратный ярус, Укладчик 2, Упаковщик устанавливаются на общей раме: 4600 мм. х 1336 мм. х 2200 мм.



Рис. 5.17. Промежуточный возвратный ярус

Таблица 5.22. Технические характеристики промежуточного возвратного яруса

Производительность	64шт./192сек
Цикл доставки	192 сек
Каретка	1 шт
Каретка	1 шт
Длина	1200 мм
Ширина	2672 мм
Высота	2200 мм
Масса	350 кг

Возвратный ярус.

Возвратный ярус предназначен для приёма пустого металлического поддона от промежуточного возвратного яруса и доставки его при помощи каретки к Гиперпрессу и Укладчику 1.

Таблица 5.23. Технические характеристики возвратного яруса

Производительность доставки пустых метал. поддонов.	1шт./192сек
Каретка 1	1 шт.
Длина	11000 мм
Ширина	1194 мм
Высота	280 мм
Масса	900 кг

Укладчик-автомат (Укладчик 2).

Укладчик 2 предназначен для съема готового изделия с металлического поддона, расположенного на промежуточном возвратном ярусе и укладки его на деревянный поддон, который установлен на поворотном кругу.

Укладчик 2 состоит из:

- каретка, которая перемещается от Промежуточного возвратного яруса до деревянного поддона, установленного на поворотном кругу и обратно;
- сжиматель, который сжимает и разжимает плитки;
- каретка, которая перемещает плитку вверх или вниз;
- поворотный круг на 90 градусов, на который установлен деревянный поддон.



Рис. 5. 18. Укладчик-автомат (Укладчик 2)

Таблица 5.24. Технические характеристики Укладчика 2

Производительность	64шт./192сек
Количество за перенос	64 шт
Цикл переноса на деревянный поддон	192 сек
Каретка 9	1 шт
Каретка 10	1 шт
Сжиматель плитки	1 шт
Длина	1600 мм
Ширина	1336 мм
Высота	2200 мм
Масса	700 кг

Упаковщик-автомат (Упаковщик).

Упаковщик предназначен для упаковки полиэтиленовую пленку стопы по 770 шт. плиток, которые поступают от Укладчика 2 на поворотный круг Упаковщика при помощи каретки.



Рис. 5. 19. Упаковщик-автомат (Упаковщик)

Таблица 5.25. Технические характеристики Упаковщика

Производительность	12шт./25,6мин
Вид упаковки	плёнка
Узел вращения	1 шт
Эл. двигатель	1 кВт
Длина	1800 мм
Ширина	1336 мм
Высота	2200 мм
Масса	300 кг

Линия отправки стопы на деревянном поддоне в пленке на склад.

По линии отправки стопа 770 шт. изделий на деревянном поддоне при помощи каретки перемещается от Укладчика 2 по цепному транспортёру или рельсовому пути, где при помощи автокара снимается и перевозится на склад.

Применяемые материалы. Для изготовления тротуарной плитки 200мм x 100мм x 70мм предлагается следующий состав: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н – 500 кг, песок $M_{кр}=2,6$ – 560 кг, щебень фракций до 10 мм – 1200 кг, базальтовая фибра диаметром 13—17 мкм и длиной 6—18 мм фирмы ООО «НПО Вулкан» - 7, 5 кг, В/Ц=0,4.

Таблица 5.26. Технические характеристики линии отправки стопы на склад

Количество тротуарной плитки «брусчатка» в стопе (1 м ³)	770 шт. h= 65 мм
Цикл отправки	25,6 минут
Каретка	1 шт
Длина	7000 мм
Ширина	1200 мм
Высота	350 мм
Масса	350 кг

Технологическая схема по производству мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона представлена на рис. 5.20. и составляет 7 этапов:

1 стадия. Гранитный щебень загружаются ковшевым погрузчиком в приёмный бункер-питатель.

С приёмного бункера-питателя он по транспортеру, расположенному под бункером-питателем, передается на наклонный транспортер (на улице).

По наклонному транспортёру щебень подаётся в вибросито.

В вибросите происходит отсев щебня фракцией до 5 мм.

С вибросита просеянная фракция щебня подаётся на раздаточный транспортёр, который установлен на верху бункеров–накопителей.

С раздаточного транспортёра просеянная фракция щебня при помощи передвигающего плужкового сбрасывателя поступает на обе стороны транспортёра и заполняет бункеры-накопители.

2 стадия. Цементовоз доставляет цемент и по пневмоподаче подаёт его наверх силоса цемента, где заполняет его цементом.

С силоса цемента по пневмоподаче цемент подаётся в весовой бункер-дозатор цемента, который установлен над бетоносмесителем.

Бункер-дозатор цемента дозирует норму цемента и подаёт её в шнек цемента.

По шнеку цемент подаётся в барабан-смеситель.

3 стадия. Рабочие заполняют пигментом, песком бункер-дозаторы.

Бункер-дозаторы пигмента, песка дозируют их норму и подают в шнек пигмента, песка.

По шнеку они подаются в барабан-смеситель.

4 стадия. В барабан-смесителе цемент, пигмент, песок тщательно перемешиваются и образуют однородную сухую смесь.

5 стадия. С бункеров-накопителей, по транспортёрам измельчённый гранитный щебень подаётся и с барабан-смесителя сухая смесь подаётся в двухвальный бетоносмеситель zzbo бп-2г-750 с горизонтальным расположением валов.

С ёмкости-дозатора воды подаётся норма воды в бетоносмеситель.

Бункер-дозатор фибры дозирует норму и подает ее на металлический стол. Для предотвращения комкования фибры рабочий вручную размельчает ее на металлическом столе и сталкивает ее по наклонной части стола в бетоносмеситель.

В бетоносмесителе все компоненты тщательно перемешиваются до однородной рабочей смеси. Выгрузка готовой бетонной смеси из двухвального бетоносмесителя производится через окно в днище корпуса, закрываемое секторным затвором с пневмоприводом.

6 стадия. Из бетоносмесителя, по транспортёру, рабочая смесь подаётся в бункер гиперпресса «ВОГЕАН-4». С бункера гиперпресса рабочая смесь питателем подаётся в форму гиперпресса и заполняет её. Происходит двухстороннее гиперпрессование 2 тротуарных плиток за один цикл с давлением 240 кг/см². Продолжительность прессования составляет 15 секунд. Формование изделий в прессе происходит в автоматическом режиме, с одновременным контролем режима прессования. Пульт управления электронный для управления всеми механизмами и гидрораспределителями с электромагнитным управлением. Питатель доставляет рабочую смесь в форму и одновременно перемещает изготовленные тротуарные плитки на

приёмный стол. После чего готовая продукция укладывается на металлический поддон.

7 стадия. С приемного стола металлический поддон с готовой тротуарной плиткой скатывается на рамку съёмника и при помощи подъёмного механизма опускается вниз. Там при помощи каретки передвигается на промежуточный возвратный ярус.

Пустая рамка съёмника при помощи подъёмного механизма поднимается вверх, до нужного яруса на нужном отсеке, за следующим металлическим поддоном с готовой тротуарной плиткой. И так цикл за циклом.

На промежуточном возвратном ярусе, металлический поддон с готовой тротуарной плиткой, при помощи каретки, передвигается к укладчику 2, который заберёт готовую тротуарную плитку. Пустой металлический поддон, при помощи каретки, передвинется на возвратный ярус.

Получив пустой металлический поддон, возвратный ярус при помощи каретки, передвигает его к гиперпрессу.

Укладчик 2 переносит готовую тротуарную плитку с металлического поддона, который был на промежуточном возвратном ярусе на деревянный поддон, который установлен на поворотном кругу укладчика 2. Поворот делается на 90 градусов. Плитка складывается в стопу по 770 шт.

Каретка линии отправки на склад, передвигает деревянный поддон с стопой по 770 шт. готовой тротуарной плитки на поворотный круг упаковщика.

Поворотный круг упаковщика вращается и оборачивает стопу по 770 шт. в полиэтиленовую плёнку.

Каретка линии отправки на склад, передвигает деревянный поддон, с стопой по 770 шт. готовой тротуарной плитки, упакованной в полиэтиленовую плёнку, на склад.

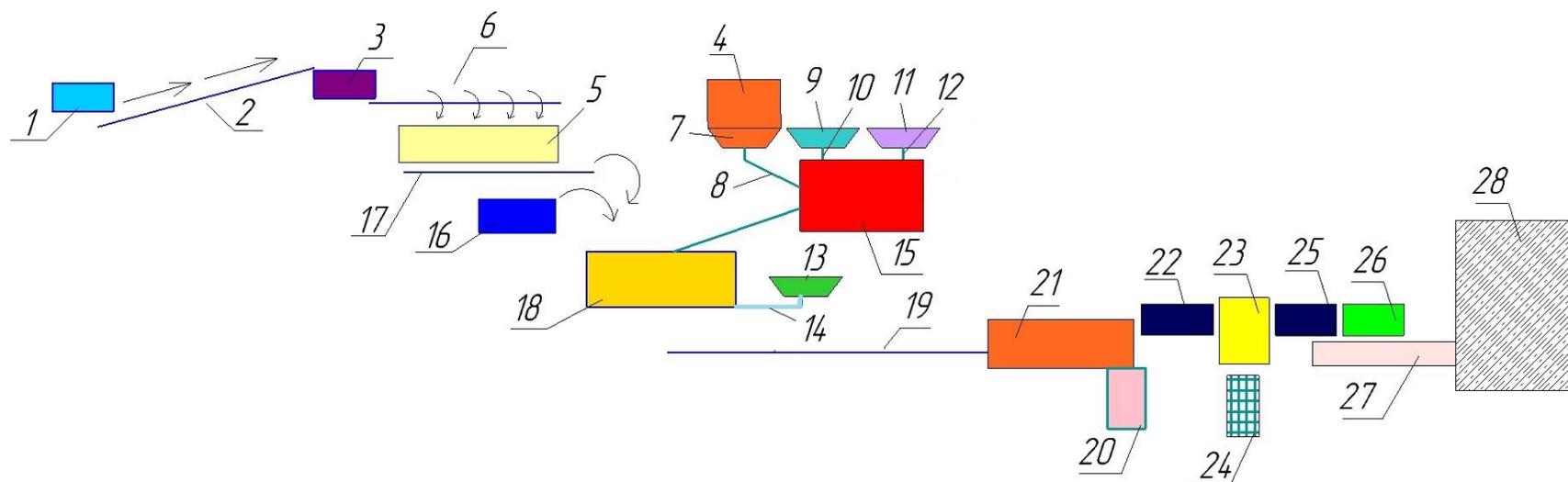


Рис. 5.20. Технологическая линия производства тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона: 1 - приёмный бункер-питатель; 2 - наклонный транспортёр: для подачи гранитного щебня от приёмного бункера-питателя в вибросито; 3 - вибросито; 4 - ёмкость под цемент(силос) с пневмоподачей и пневмонасосом; 5 - бункер-накопитель просеянной фракции щебня ёмкостью с нижними заслонками и верхними решётками; 6 - раздаточный транспортёр просеянной фракции щебня по бункерам-накопителям; 7 - бункер-дозатор цемента емкостью 0,9 м³; 8 - шнек подачи цемента в барабан-смеситель; 9 - бункер-дозатор пигмента емкостью 0,9 м³; 10 - шнек подачи пигмента в барабан-смеситель; 11 - бункер-дозатор песка емкостью 0,9 м³; 12 - шнек подачи песка в барабан-смеситель; 13 - бункер-дозатор фибры емкостью 0,9 м³; 14 –металлический стол; 15 - барабан-смеситель для смешивания цемента с пигментом и песком емкостью 0,14 м³; 16 - ёмкость-дозатор воды емкостью 0,12 м³; 17 - транспортёр для подачи просеянной фракции щебня из бункера-накопителя в бетоносмеситель; 18 - бетоносмеситель zzbo бп-2г-750; 19 - транспортёр для подачи рабочей смеси от бетоносмесителя в бункера гиперпресса; 20 - маслостанция с электронным пультом управления для приготовления рабочей смеси, управление заслонками, весами и транспортерами, всеми каретками для передвижения поддонов и другими механизмами;

21 - гиперпресс «ВОГЕАН-4»; 22 - укладчик-автомат (укладчик 1) для укладки тротуарной плитки от гиперпресса на металлический поддон; 23 - узел-автомат (съёмник); 24 - возвратный ярус пустых металлических поддонов к гиперпрессу; 25 - укладчик-автомат (укладчик 2) для укладки в стопу по 770 шт. на деревянный поддон; 26 - упаковщик-автомат (упаковщик) для упаковки в полиэтиленовую пленку стопу по 770 шт. на деревянном поддоне; 27 - линия отправки стопы по 770 шт. (на деревянном поддоне, в полиэтиленовой плёнке) на склад; 28 – склад.

Расчет стоимости внедрения технологической линии по производству мелкоштучных изделий представлен в табл. 5. 27.

Таблица 5.27. Стоимость технологической линии

№	Наименование	Кол-во	Электр-ия кВт*ч	Цена	Сумма
1	Приёмный бункер-питатель: 400 мм. L= 2,4 м. ёмкостью 5 м ³ (на улице) с открывающимися крышками и нижними заслонками. Размер: 2,4м. х 1,5 м. х 2,4 м.	1 шт.	6,6	600000	600000
2	Наклонный транспортёр: 400 мм. L= 15м. подачи щебня от приёмного бункера-питателя на вибросито.	15 п.м.	9	15000	225000
3	Вибросито.	1шт.	11	100000	100000
4	Ёмкость по цемент(силос) емкостью 14 м ³ /18 тонн с пневмоподачей на улице: D=1,9 м., H=8,2 м. Запас на 24 часа	1 шт.	15	700000	700000
5	Бункер-накопитель инертных материалов (щебень.) ёмкостью 35 м ³ / 55 тонн в здании с заслонками. Размер: 9,6м. х 1,2м. х 5,2м. Общий запас на 25 часов	2 шт.		520000	1040000
6	Раздаточный транспортёр: 400 мм. L= 15 м. щебня по бункерам	15 п.м.	9	20000	300000
7	Бункер-дозатор цемента емкостью 0,9 м ³ в здании.	1 шт.		200000	200000
8	Шнек подачи цемента в барабан-смеситель	1 шт.	3,3	150000	150000
9	Бункер-дозатор песка емкостью 0,9 м ³ в здании.	1 шт.		200000	200000
10	Шнек подачи песка в барабан-смеситель	1 шт.	3,3	150000	150000
11	Бункер-дозатор фибры емкостью 0,9 м ³ в здании.	1 шт.		200000	200000
12	Наклонный металлический стол для подачи фибры	1 шт.		150000	150000

13	Бункер-дозатор пигмента емкостью 0,9 м ³ в здании	1 шт.		200000	200000
14	Шнек подачи пигмента в барабан-смеситель (весовой)	1 шт.	3,3	150000	150000
15	Барабан-смеситель цемента, песка и пигмента, емкостью 0,14 м ³	1 шт.	4,5	200000	200000
16	Ёмкость-дозатор воды емкостью 0,12 м ³	1 шт.		150000	150000
17	Транспортёр: 400 мм. L= 10 м. подачи щебня из бункера-накопителя в бетоносмеситель 10 м. х 2 шт. = 20 п.м.	20 п.м.	6,6	15000	300000
18	Бетоносмеситель zzbo бп-2Г-750	1 компл		600000	600000
19	Наклонный транспортёр: 400 мм. L= 14 м. подачи рабочей смеси от бетоносмесителя в бункер Гиперпресса	17 п.м.	6,6	15000	210000
20	Перекидной транспортёр: 400 мм. L= 2,8 м. подачи рабочей смеси от среднего транспортёра в бункера гиперпрессов при помощи плужковых сбрасывателей.	2,8 п.м.	6,6	20000	56000
21	Маслостанция с электронным пультом управления для приготовления рабочей смеси, управление заслонками, весами и транспортерами, всеми каретками для передвижения поддонов и другими механизмами	3 компл	396	200000	600000
22	Гидравлический гиперпресс «ВОГЕАН-4» с электронным пультом управления, маслостанцией.	1 компл	720	6250000	6250000
23	Укладчик-автомат (Укладчик 1)	1 комп.		1500000	1500000
24	Узел-автомат (Съёмник)	1 компл.		700000	700000
25	Узел-автомат (Промежуточный возвратный ярус	1 компл		500000	500000
26	Возвратный ярус пустых металлических поддонов от промежуточного возвратного яруса к гиперпрессу и Укладчику	1 компл		550000	550000
27	Укладчик-автомат (Укладчик 2)	1 компл		1500000	1500000
28	Упаковщик-автомат (Упаковщик)	1 компл	6,6	600000	600000
29	Линия отправки стопы на деревянном поддоне в полиэтиленовой пленке на склад	1 компл	4,4	600000	600000
Итого				1211,8	18381000

Стоимость оборудования для технологической линии гиперпрессования достаточно высока, по сравнению с рядовыми вибропрессами. Однако, производительность линии гиперпрессования выше более чем в 2 раза, по сравнению с вибропрессами Кондор, Мастек и т. д.

Затрата на производство тротуарной плитки:

цемент – $0,65 \cdot 4,4=2,86$ руб.;

песок – $0,728 \cdot 0,2=0,146$ руб.;

щебень – $1,56 \cdot 0,9=1,436$ руб.;

вода – $0,26 \cdot 0,001133=0,003$ руб.;

фибра – $0,01 \cdot 145=1,45$ руб.;

пигмент – $0,01 \cdot 80=0,8$ руб.;

стоимость электроэнергии – $0,126 \cdot 3,67=0,463$ руб.

Себестоимость изделия = $2,86 + 0,146 + 1,436 + 0,003 + 1,45 + 0,8=6,7$ руб.

Стоимость одной тротуарной плитки составит 20 рубля за шт. За год производительность линии составляет 3,34 млн. шт. Отсюда следует прибыль за первый год составит:

$3340000 \cdot 20 - 3340000 \cdot 6,7 - 1546420 - 18381000=24494580$ руб.

Таким образом, реконструкция производственной линии ОАО «ЖБИ №3 г. Самара окупается в течении 1 года и делает проект рентабельным. 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. На основании проведенных изысканий был получен Акт внедрения (приложение 5) на реконструкцию технологической линии ОАО «ЖБИ №3 г. Самара.

Выводы по пятой главе:

1. Разработан проект технологической линии ОАО «ЖБИ №3 г. Самара по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона.

2. Экономическая эффективность от применения технологической линии по производству тротуарной плитки из гиперпрессованного фибробетона составляет 24494580 руб.

3. Увеличение экономической эффективности за счет повышения долговечности тротуарной плитки и снижение эксплуатационных расходов.

Заключение

Итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что увеличение интенсивности гиперпрессования способствует интенсификации деструктивных процессов структуры гиперпрессованного бетона, пагубно сказывающиеся на его прочностных характеристиках и долговечности.

2. Выдвинута рабочая гипотеза о снижении влияния деформации упругого последействия на прочностные характеристики гиперпрессованного бетона с применением 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 (мгновенной) прочности.

3. Установлено снижение величины деформаций упругого последействия за счет снижения величины водоцементного отношения и увеличения начальной (мгновенной) 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, вторым по значимости - дисперсное армирование. Наименьшее влияние оказывает гиперпрессование.

5. Выявлено, что дисперсное армирование гиперпрессованного бетона 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. В результате проведенных исследований применение дисперсного армирования в гиперпрессованных бетонах позволяет повысить их долговечность и принять марку по морозостойкости F_{T400} и выше.

6. Разработан проект технологической линии по производству мелкоштучных изделий из гиперпрессованного фибробетона. Экономический эффект от внедрения данной технологии составляет 24494580 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 высокой плотностью, прочностью и долговечностью за счет снижения влияния деформации упругого последействия.

Список литературы

1. Акимов Т. И. Цементный бетон: учебное пособие /Т. И. Акимов, Ю. Э. Васильев. – М.:МАДИ,2007. – 146 с.
2. Афанасьев Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы /Н. Ф.Афанасьев, М. К. Целуйко. – Киев: Будивэльник, 1989. – 128с.
3. Афанасьева В. Ф. Применение суперпластификатора С-3 на Ростокинском заводе ЖБК / В. Ф. Афанасьева, А. М. Кожуринчев // Бетон и железобетон. – 1981. –N9. – С. 22-23.
4. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981 – 464 с.
5. Бабков В. В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В. В. Бабков, В. Н. Мохов, С. М. Капитонов, П. Г. Комохов. – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
6. Бабков В. В. Особенности структурообразования высокопрочного цементного камня в условиях длительного твердения / В. В. Бабков, Р. Р. Сахибгареев, А. Е. Чуйкин, Р. А. Анваров, П. Г. Комохов // Строительные материалы. – 2003. –N10. – С.42-43.
7. Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368с.
8. Баженов Ю. М. Структурные характеристики бетонов / Ю. М. Баженов, Г. И. Горчаков, Л. А. Алимов, В. В. Воронин // Бетон и железобетон. 1972. – N 9. – С. 19-21.
9. 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.
10. Берг О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко. – М.: Стройиздат,1971. – 208 с.

11. Борисов А. А. Высокопрочные бетоны на рядовых цементах с суперпластификатором на дисперсных носителях: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.05 /Борисов Аркадий Анатольевич. – П, 1997. – 22 с.
12. Борисов А. А. Классификация реакционной активности цементов в присутствии суперпластификаторов / А. А. Борисов, В. И. Калашников, П. В. Ащеулов//Строительные материалы. 2002.– N1. – С.10-12.
13. Боровских И. В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Бороховских Игорь Викторович. – К, 2009. – 162с.
14. Бочаров Н. А. Бетоны повышенной прочности с суперпластификатором С-3 / Н. А. Бочаров, А. С. Ефимова, Г. Ф. Воеводова, Н. Б. Варенцова // Бетон и железобетон. 1980. –N6. – С.18-20.
15. Булгакова М. Г. Влияние суперпластификаторов на характеристики бетона / М. Г. Булгакова, Н. Н. Скоблинская, Ф. М. Иванов //Бетон и железобетон. 1982.–N11. –С.6-7.
16. Бутт Ю. М. Исследование влияния структуры цементного камня на морозостойкость / Ю. М. Бутт // Бетон и железобетон. 1972. – N1. – С.21-23.
17. Гладков Д. И. К оценке морозостойкости бетона / Д. И. Гладков, Л. А. Сулейманова //Строительные материалы. 2006. – N6. – С.102-103.
18. Гольденберг Л. Б. Влияние добавок на свойства песчаных бетонов / Л. Б. Гольденберг, С. Л. Оганесянц //Бетон и железобетон. 1981. – N10. – С. 15-16.
19. Горчаков Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г. И. Горчаков, М. М. Капкин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 195 с.
20. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М.: Стандартиформ, 2014. – 29 с.
21. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартиформ, 2006. – 30 с.

22. ГОСТ 22685-89. Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2006. – 10 с.
23. Грушко И. М. Повышение прочности и выносливости бетона / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, Э. Д. Чихладзе. – Харьков: Высшая школа, 1986 г. – 152 с.
24. Дворкин О. Л. Проектирование и анализ эффективности составов бетона: монография/ О. Л. Дворкин, Л. И. Дворкин, М. В. Горячих, В. Н. Шмигальский. – Ровно, 2008. – 177 с.
25. Демьянова В. С. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций/ В. С. Демьянова, В. И. Калашников, И. Е. Ильина //Строительные материалы. 2002. –N9. – С.4-6.
26. Демьянова В. С. Дисперсно-армированный сталефибробетон / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, Г. Н. Казина, С. М. Саденко // Строительные материалы. 2006. –N9. – С.54-55.
27. Добшиц Л. М. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений и пути ее повышения: дисс.... док. техн. наук: 05.23.05 / Добшиц Лев Михайлович. – М., 2000. – 385 с.
28. Добшиц Л. М. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений / Л. М. Добшиц, И. Г. Портнов, В. И. Соломатов. – М.: Стойиздат, 1999. – 236с.
29. Долгополов Н. Н. Применение суперпластификатора в производстве напорных труб и шпал / Н. Н. Долгополов, О. И. Крикунов, Ш. Т. Бабаев, В. М. Климова, М. А. Суханов, Р. Н. Лоретова // Бетон и железобетон. 1982. – N7. – С.11-12.
30. Журба О. В. Легкие бетоны на основе регенерированного пенополистирольного сырья: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Журба Ольга Васильевна. – У., 2007. –144 с.
31. Зайцев Ю. В. Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушений / Ю. В. Зайцев. – М.: Стройиздат, 1982. – 198 с.

32. Зоткин А. Г. Прогнозирование прочности бетона с суперпластификатором с учетом эффекта объема цементного камня / А. Г. Зоткин, П. А. Саенко // Бетон и железобетон. 2008. – N8. – С.14-16.
33. Иванова О. С. Кинетика нарастания прочности бетона при замораживании и оттаивании / О. С. Иванова // Бетон и железобетон. 1969, – N11. – С.6-9.
34. Иванов Ф. М. Добавка для бетонных смесей – суперпластификатор С-3 / Ф. М. Иванов, В. М. Москвин, В. Г. Батраков, Е. И. Досовицкий, С. С. Каприелов, В. А. Бабаев // Бетон и железобетон. 1978. – N10. – С.13-16.
35. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона: монография / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – Казань: Изд-во Палеолит, 2006. – 244с.
36. Калашников В. И. Самоуплотняющийся высокопрочный бетон: IX Международная научно-практическая конференция 30 мая – 1 июня 2007г. Сборник трудов / В. И. Калашников. – Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2007. – С.30-40.
37. Калугин И. Г. Пенобетоны, дисперсно-армированные базальтовыми волокнами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Калугин Илья Георгиевич. – К., 2011. – 152с.
38. Каприелов С. С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Ю. Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. 1992. – N7. – С.4-7.
39. Коротких Д. Н. Многоуровневое дисперсное армирование структуры мелкозернистого цементного бетона и повышение его трещиностойкости: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Коротких Дмитрий Николаевич. – В., 2001. – 188 с.
40. Коупленд Л.Е. Химия гидратации портландцемента при обычной температуре / Л. Е. Коупленд, Д. Л. Кантро. – Химия цементов: Пер. с англ.– М.: Стройиздат, 1969. –С.233-278.

41. Крылов Н.А. К оценке морозостойкости бетона / Н. А. Крылов, Л. А. Сулейманова, А. Г. Сулейманов // Строительные материалы. – 2006. – N 6. – С.102-103.
42. Курбатов Л. Г. Об эффективности бетонов, армированных стальными фибрами / Л. Г. Курбатов, Ф. Н. Рабинович// Бетон и Железобетон. – 1980. – N3. – С.6-7.
43. Лоховицкий Г. З. Теория гидропрессованного бетона / Г. З. Лоховицкий // Бетонные и железобетонные конструкции: Сб. тр. /ТНИСГЭИ. – Тбилиси, 1948. – С.7-12
44. Маилян Л. Р. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства / Л. Р. Маилян, А. В. Налимова, А. Л. Маилян, Э. С. Айвазян // Интернет-журнал «Инженерный Вестник Дона», 2011. – N 4.
45. Миронов С. А. Морозостойкость бетона различной прочности / С. А. Миронов, О. С. Иванова, С. Х. Ярлушкина, Л. Е. Журавлева//Строительные материалы. – 1980. –N10. – С.14-16.
46. Моргун Л. В. Влияние дисперсного армирования на агрегативную устойчивость пенобетонных смесей/ Л. В. Моргун, В. Н. Моргун // Строительные материалы. – 2003. – N 1. – С.33-35.
47. Моргун Л. В. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка технологии высокопрочных фибропенобетонов / Л. В. Моргун //Строительные материалы. – 2005. –N6. – С.59-63.
48. Недосеко И. В. Сталефибробетон в производстве малоформатных изгибаемых элементов / М. А. Ивлев, И. В. Недосеко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск. МГТУ им. Г. И. Носова, 2011. - С.244-248.
49. Несветаев Г. В. Система критериев для оценки эффективности суперпластификаторов и комплексных добавок на их основе: IX Международная научно-практическая конференция 30 мая – 1 июня 2007г.

Сборник трудов / Г. В. Несветаев. – Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2007. – С.64-71.

50. Новицкий А. Г. Использование базальтовой фибры для армирования бетонов: Доклады X Всероссийской научно-практической конференции (г. Белокураха)/ А. Г. Новицкий, М. В. Ефремов. –М.: ЦЭИ «Химмаш», 2010. – С.12-13.

51. Овсюкова Ю. В. Химико-технологические факторы повышения конструкционной прочности цементного камня и бетона: дисс. ... канд.техн. наук: 05.23.05 / Овсюкова Юлия Владимировна. – П., 2011.– 188 с.

52. Парфенов А. В. Ударная выносливость бетонов на основе стальной и синтетической фибры: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Парфенов Александр Владимирович. – У., 2005. –23с.

53. Петрова Т. М. Принципы выбора комплексных добавок для беспропарочной технологии производства бетона и железобетона / Т. М. Петрова, А. Ф. Серенко, М. И. Милачев, Д. М. Милачев // Строительные материалы. 2007. –N10. – С.62-63.

54. Полуэктова В. А. Регулирование реологических свойств и агрегативной устойчивости водных минеральных суспензий суперпластификатором на основе флороглюцинфурфурольных олигомеров: дисс.... канд. техн. наук: 02.00.11 / Полуэктова Валентина Анатольевна. –Б., 2006. – 162с.

55. Попов В, П. Неразрушающий оперативный метод контроля морозостойкости бетонов гидротехнических сооружений / В. П. Попов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 8. – С. 139-142.

56. Пухаренко Ю. В. Принципы формирования структуры и прогнозирования прочности фибробетонов / Ю. В. Пухаренко //Строительные материалы. – 2004. –N10. – С.47-51.

57. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны / Ф. Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.

58. Рабинович Ф. Н. О свойствах цементного камня, армированного ориентированными стекловолокнами / Ф. Н. Рабинович //Бетон и железобетон. – 1976. –N10. –С.20-23.
59. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами/ Ф. Н. Рабинович// Обзор ВНИИЭСМ. – М.,1976. – 73с.
60. Рабинович Ф.Н. О пределе трещиностойкости мелкозернистого бетона, армированного стальными фибрами / Ф. Н. Рабинович, В.П. Романов // Механика композитных материалов. – 1985. – N2. – С.277-283.
61. Ракитченко К. С. Фибробетон с использованием композиционных вяжущих и сырьевых ресурсов КМА для ремонта мостовых конструкций: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Ракитченко Константин Сергеевич. – Б., 2011.– 151 с.
62. Рамачандран В. С. Добавки в бетон / В. С. Рамачандран, Р. Ф. Фельдман, М. Коллепарди// Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1988. – 575с.
63. Ратинов В. Б. Химия в строительстве / В. Б. Ратинов,Ф. М. Иванов.– М.: Стойиздат, 1977. – 220с.
64. Ратинов В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М.: Стойиздат, 1989. – 188 с.
65. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. - М.: Горячая линия Телеком, 2006. - 452 с.: ил.
66. Саламанова М. Ш. Прессованные цементобетонные изделия с использованием мелкозернистых бетонов на модифицированном заполнителе: дисс...канд. техн. наук: 05.23.05 / Саламанова Мадина Шахидовна. –М., 2011.– 188с.
67. Сальников А. В. Влияние комплексного модификатора на свойства цементного вяжущего / А. В. Сальников, В. Г. Хозин, Н. Н. Морозова, В. С. Демьянова //Строительные материалы. – 2004. – N8. – С.36-37.

68. Саталкин А. В. Исследование свойств прессованного бетона / А. В. Саталкин. – М.: Союзстрой, 1938. – 38 с.
69. Сеськин И. Е. Влияние технологии уплотнения бетона прессованием на работу конструкций: монография / И. Е. Сеськин. – С.: СамГУПС, 2006. – 227 с.
70. Сеськин И. Е. Технологические аспекты формирования прочности и деформативности гиперпрессованного бетона / И. Е. Сеськин // Бетон и железобетон. – 2008. – N4. – С.5-9.
71. Сеськин И. Е. Особенности структурообразования и формирования прочности гиперпрессованного цементного камня / И. Е. Сеськин // Строительные материалы. – 2008. – N3. – С.56.
72. Сеськин И. Е. Прочность прессованного дисперсно-армированного бетона в изделиях: 15-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении» / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов. – Брянск: БГТА, 2012. – С.208-212.
73. Сеськин И. Е. К вопросу формирования прочности прессованного фибробетона: «Технические науки – от теории к практике»: материалы X международной заочной научно-практической конференции. (28 мая 2012 г.) / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов. – Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. – С.107-112.
74. Сеськин И. Е. Прочность гиперпрессованного фибробетона / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов // Строительные материалы. – 2012. – N10. – С.72-73.
75. Сеськин И. Е. Влияние суперпластификатора С-3 на формирование прочности гиперпрессованного бетона / И. Е. Сеськин, А. С. Баранов // Строительные материалы. – 2013. – N1. – С.32-33.
76. Сизов В. П. О методах испытания морозостойкости бетона / В. П. Сизов // Бетон и железобетон. – 1999. – N 2. – С.24-26.
77. Симакина Г. Н. Высокопрочный дисперсно-армированный бетон: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / Симакина Галина Николаевна. – П., 2006. – 161 с.

78. Смирнова О. М. Свойства тяжелого бетона дисперсно-армированного синтетическим микроволокном / О. М. Смирнова, А. Е. Андреева //Строительные материалы. – 2016. – N11. – С.17-20
79. Сопов В. П. Активные и неактивные поры в бетоне: IX Международная научно-практическая конференция 30 мая – 1 июня 2007г. Сборник трудов / В. П. Сопов, Л. Н. Решетник, Н. И. Жанюк. – Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2007. – С.163-168.
80. Струговец И. Б. Водопрopusкные трубы на основе модифицированного сталефибробетона: дисс...канд.техн. наук: 05.23.05 / Струговец Игорь Борисович. – У, 2005. – 279 с.
81. Татаринцева О. С. Определение сроков эксплуатации базальтоволокнистых теплоизоляционных материалов / О. С. Татаринцева, Т. К. Углова, Г. С. Игонин, Т. Н. Игоина, Н. В. Бычин // Строительные материалы. 2004. – N 11. – С.14-15.
82. ТУ 5745-001-97474489-2007. Рекомендации по применению комплексной добавки «Пластификатор С-3». – 2007. – 8 с.
83. Усачев С. М. Совершенствование технологии пресованных бетонов путем оптимизации баланса внутренних и внешних сил: дисс. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / Усачев Сергей Михайлович. – В, 2006. – 210 с.
84. Ушеров-Маршак А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы / А. В. Ушеров-Маршак //Строительные материалы. 2006. – N10. – С.8-12.
85. Федоров А. Е. Физико-химические основы процессов развития напряжений и деформаций в цементном камне и их влияние на структуру, свойства и долговечность бетона: дисс. ... док.техн.наук: 05.23.05 / Федоров Александр Ефимович. – М, 1983. – 361 с.
86. Федынин Н. И. Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / Н. И. Федынин, М. И. Диамант. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
87. Чернышев Ю. П. Пластичный бетон / Ю. П. Чернышев, Л. А. Козлова. – Донецк: Донбас, 1987. – 64с.

88. Чуйкин А. Е. Структура, прочность и долговечность материалов на основе пресованных цементных композиций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Чуйкин Александр Евгеньевич. – У, 2000. – 209 с.
89. Чумаков Ю. М. Влияние суперпластификаторов на свойства бетона / Ю. М. Чумаков, Б. Д. Тринкер, Г. Г. Демина, Г. Н. Маньковская, А. Б. Тринкер // Бетон и железобетон. –1980. –N10. – С.16-17.
90. Чумаченко Н. Г. Проектирование строительных материалов с заданными свойствами / Н. О. Кулакова, С. А. Пиявский, Н. Г. Чумаченко // Информационные технологии в работе с одаренной молодежью. Под редакцией М.И. Бальзанникова, С.А.Пиявского, В.В. Козлова. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, – 2015. – С. 503-505.
91. Шаровар М. К. Применение суперпластификаторов в бетоны для монолитных и сборных железобетонных конструкций: IX Международная научно-практическая конференция 30 мая – 1 июня 2007г. Сборник трудов / К. М. Шаровар. – Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2007. – С.95-98.
92. Шейкин А. М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий / А. М. Шейкин. – М.: Транспорт, 1991. – 151с.
93. Шейкин А. М. Морозостойкость мелкозернистых бетонов / А. М. Шейкин // Бетон и железобетон. – 1973. – N5. – С.14-16.
94. Шейкин А. М. Структура и свойства цементных бетонов / А. М. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М.:Стройиздат, 1979. – 344с.
95. Шейкин А. М. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с суперпластификатором С-3 для дорожного строительства / А. М. Шейкин, М. Я. Якобсон // Бетон и железобетон. 1993. –N10. – С.8-11.
96. Шестоперов С. В. Долговечность бетона / С. В. Шестоперов. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 480с.

97. Элбакидзе М. Г. Прессование и гиперпрессование цементного теста, раствора и бетона / М. Г. Элбакидзе, И. Р. Енукашвили // Известия ТНИИСГЭИ, 1971. – т. 21. – 82 с.
98. Янбых Н. Н. Морозостойкость дорожных бетонов с химическими добавками при действии хлористых солей – антиобледенителей: дисс. ... канд.техн. наук: 05.23.05 / Янбых Николай Никитович. – М, 1982. – 291 с.
99. Alsadey S. Influence of superplasticizer on strength of concrete / S. Alsadey // International journal of research in engineering and Technology. –2012. Vol. 1, – N 3. – p.164-166.
100. Angelakopoulos H. Steel fibre reinforced roller compacted concrete Roads / H. Angelakopoulos, K. Neocleous, K. Pilakoutas // Department of Civil & Structural Engineering The University of Sheffield, Sheffield. – Vol.6, 2009. – N1.–P.45-55.
101. Bentur A. Fiber reinforced cementitious composites. Second edition / A. Bentur, S. Mindess// Modern concrete technology series. –New York, 2007. – P.625.
102. Choi Yeol. Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC / Yeol Choi, Robert L. Yuan // Cem. And Concr. Res. – 2005. 35, N 8. – P.1587-1591.
103. Druta C. Tensile strength and bonding characteristics of self-compacting concrete: A Thesis Submitted to the graduate faculty of the Louisiana state university and agricultural and mechanical college in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science in engineering science in department of engineering science / C. Druta. –B. s., Polytechnic university of Bucharest, August 2003. – P.125
104. Falkner H. Steel fibre and polymere concrete / H. Falkner // Basics, model code 2007 and applications. –Braunschweig: Technical University at Braunschweig, 2007.–P.381-400

105. Henderson G. L. Freeze-Thaw Resistance of Concrete With Marginal Air Content / G. L. Henderson // Research, Development, and Technology. – Georgetown Pike. – December 2006. – P.96
106. Hudoba I. Utilization of concrete as a construction material in the concept of Radioactive Waste Storage in Slovak Republic / I. Hudoba //ActaMontanisticaSlovaca.–2007. –N 12. – P.157-161.
107. Janssen D. J. Resistance of Concrete to Freezing and Thawing / D. J. Janssen, M. B. Snyder // Strategic Highway Research Program. National Research Council. – Washington. – 1994. – 217 p.
108. Kharitonov, A. Glass Fibre Reinforced Concrete as a Material for Large Hanging Ceiling Designs in Underground Station Restorations / A. Kharitonov, N. Shangina // Proceedings of the International Conference, Concrete in the Low Carbon Era, University of Dundee, 9-11 July 2012, pp. 823-831.
109. Lamboy G. Effects of Strength, Permeability, and Air Void Parameters on Freezing-Thawing Resistance of Concrete with and without Air Entrainment. Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (F-T) Durability / G.Lamboy, K. Wang // Journal of ASTM International Selected Technical Papers STP1511 Guest Editor Kejin Wang. Iowa State University of Science & Technology, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, Ames, Iowa. – May 2010, –P.135-154.
110. Magnusson J. Fibre Reinforced Concrete Beams Subjected to Air Blast Loading. Division of Concrete Structures / J. Magnusson // Royal Institute of Technology. Stockholm, –2006, –17p.
111. Mao J., Ayuta K., Qi H., Lui Z. Experimental Study on Freeze-Thaw Damage Mechanism of Lightweight Aggregate Concrete. Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (F-T) Durability / J. Mao, K. Ayuta, H. Qi, Z. Lui// Iowa State University of Science & Technology, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, Ames, Iowa. – May 2010, –P.103-118.

112. Markovic I. High-Performance Hybrid-Fibre Concrete: Diplomirani gradjevinski inženjer za konstrukcije / I. Markovic // Servië: Servië Universiteit van Belgrado. – 2006, – 228 p.
113. Powers T.K. Physical structure of portland cement paste: The chemistry of cement. Edited by H. F. W. Taylor / T. K. Powers // Department of chemistry university of Aberdeen, Scotland Academic Press London and New York, – 1964. – P.300-320.
114. Radlinski M. Evaluation of the Critical Air-Void System Parameters for Freeze-Thaw Resistant Ternary Concrete Using the Manual Point-Count and the Flatbed Scanner Methods. Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (F-T) Durability / M. Radlinski, J. Olek, Q. Zhang, K. Peterson // Iowa State University of Science & Technology, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, Ames. – Iowa. – May 2010, –P.64-84.
115. Ramakrishan V. Performance evaluation of 3-D basalt fiber reinforced concrete & basalt rod reinforced concrete / V. Ramakrishan, S. Neeraj // South Dakota School of Mines & Technology, Rapid City. – November 1998, – 96 p.
116. Sahmaran M. Assessing the Durability of Engineered Cementitious Composites Under Freezing and Thawing Cycles. Recent Advancement in Concrete Freezing-Thawing (F-T) Durability / M. Sahmaran, M. Lachemi, V. C. Li // Iowa State University of Science & Technology, Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, Ames, Iowa. – May 2010, –P.85-102.
117. Sharma U. K. Tie-confined fibre-reinforced high-strength concrete short columns / U. K. Sharma, P. Bhargava, S. A. Sheikh // Magazine of Concrete Research. – December 2007. –N 10. –P.757-769.
118. Tomas U. Ganion Jr. Influence of Polymer Fiber on Strength of Concrete / Tomas U. Ganion Jr // International Journal of Advanced Science and Technology. – June 2013, Vol. 55. – P.53-66.

119. Varshney A. Effect of novel superplasticizer on workability and strength of ready mixed concrete / A. Varshney, P. Singh, K. Prajapati // Eur. Chem. Bull. – 2013, 2(6), –P.304-310.

120. Yazan K. Effects of retempering with superplasticizer on properties of prolonged mixed mineral admixture containing concrete at hot weather condmons: THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / K. Yazan // Department of Civil Engineering. –November 2005.– 125 p.

121. <http://www.vogean.com/cms/giperpressovanny-kirpich.php>.

$$X := \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \\ 12 \\ 24 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 26.5 \\ 31.9 \\ 32.5 \\ 36.9 \end{pmatrix}$$

$$x_{\min} := \min(X)$$

$$x_{\max} := \max(X)$$

$$x := x_{\min}, x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5} .. x_{\max}$$

$$f(x, A, B, C) := A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

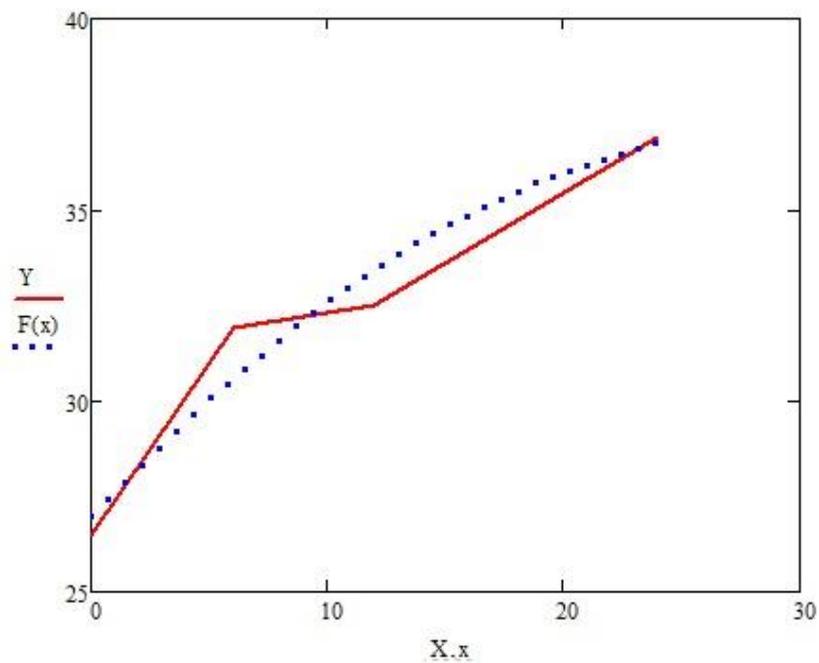
$$ff(x, k) := k_0 \cdot x^2 + k_1 \cdot x + k_2$$

$$k := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$K := \text{genfit}(X, Y, k, ff)$$

$$K = \begin{pmatrix} -0.01111 \\ 0.67333 \\ 26.98 \end{pmatrix}$$

$$F(x) := ff(x, K)$$

$$\text{corr}(Y, F(X))^2 = 0.94834$$


$$X := \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \\ 12 \\ 24 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 36.7 \\ 41 \\ 42.5 \\ 45.6 \end{pmatrix}$$

$$x_{\min} := \min(X)$$

$$x_{\max} := \max(X)$$

$$x := x_{\min}, x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5} .. x_{\max}$$

$$f(x, A, B, C) := A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

$$ff(x, k) := k_0 \cdot x^2 + k_1 \cdot x + k_2$$

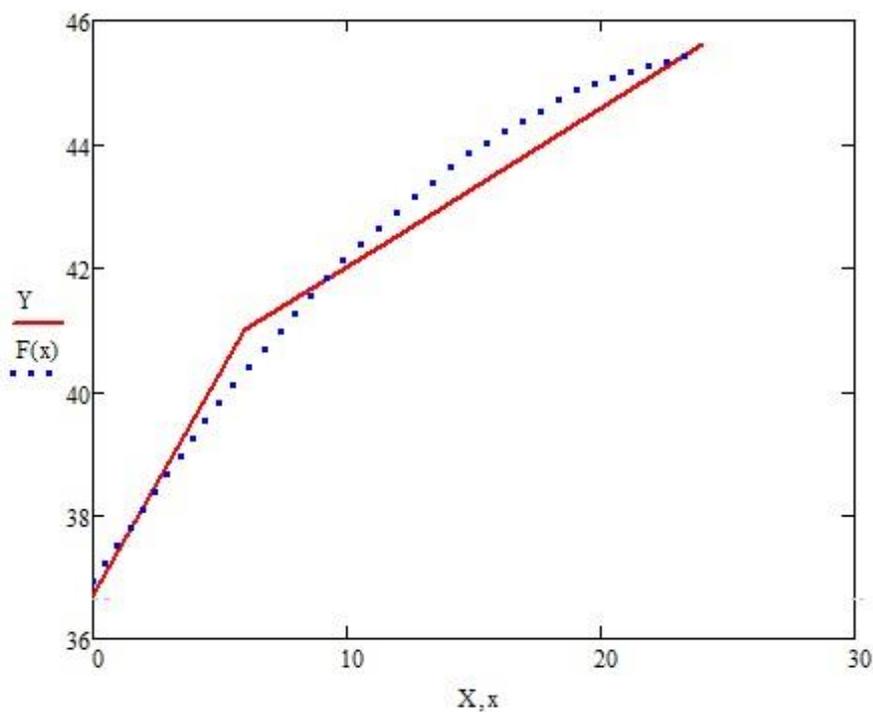
$$k := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{K}} := \text{genfit}(X, Y, k, ff)$$

$$K = \begin{pmatrix} -0.01206 \\ 0.64735 \\ 36.93182 \end{pmatrix}$$

$$\underline{\underline{F}}(x) := ff(x, K)$$

$$\text{corr}(Y, F(X))^2 = 0.98402$$



$$X := \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \\ 12 \\ 24 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 24.8 \\ 32.1 \\ 35 \\ 37.7 \end{pmatrix}$$

$$x_{\min} := \min(X)$$

$$x_{\max} := \max(X)$$

$$x := x_{\min}, x_{\min} + \frac{x_{\max} - x_{\min}}{5} .. x_{\max}$$

$$f(x, A, B, C) := A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

$$ff(x, k) := k_0 \cdot x^2 + k_1 \cdot x + k_2$$

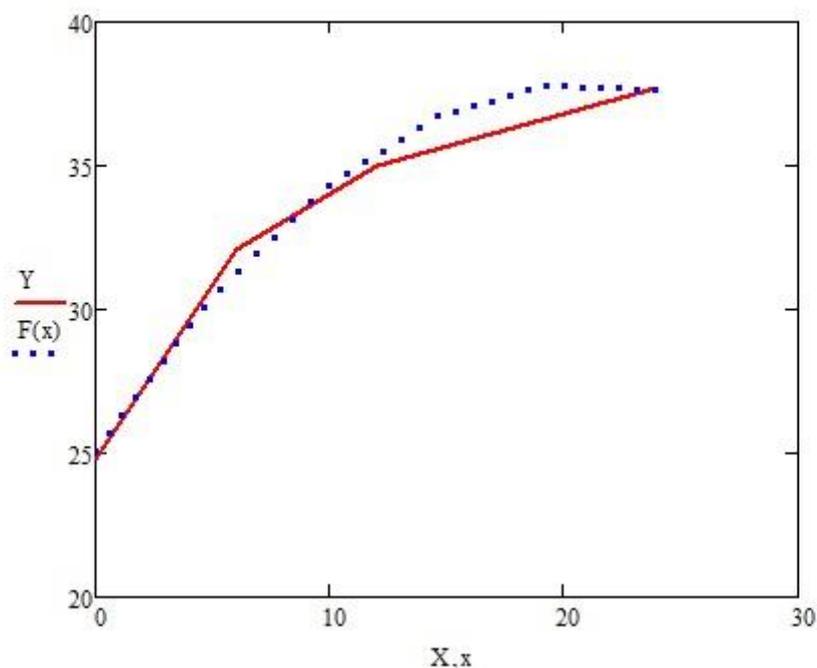
$$k := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\underline{K} := \text{genfit}(X, Y, k, ff)$$

$$K = \begin{pmatrix} -0.02923 \\ 1.22371 \\ 25.07545 \end{pmatrix}$$

$$\underline{F}(x) := ff(x, K)$$

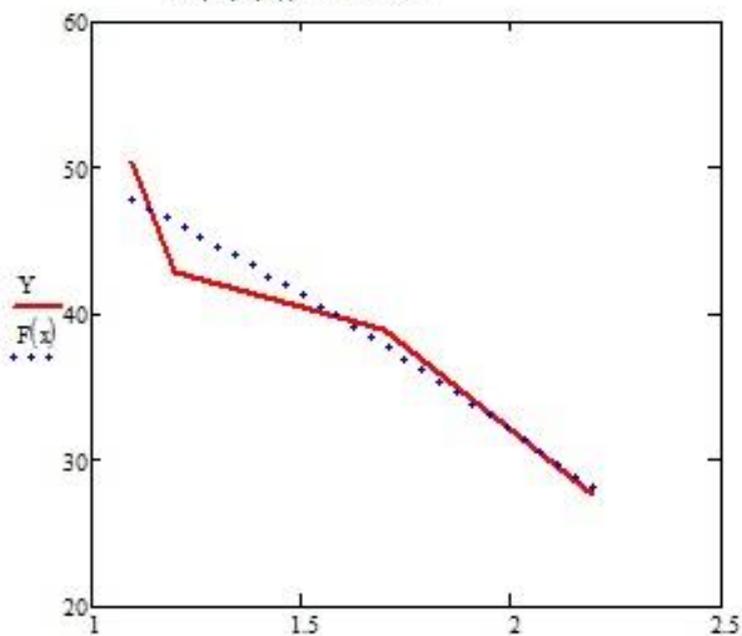
$$\text{corr}(Y, F(X))^2 = 0.99$$



```

X := (2.2)
      (1.7)
      (1.2)
      (1.1)
Y := (27.65)
      (38.9)
      (42.8)
      (50.4)
xmin := min(X)
xmax := max(X)
x := xmin, xmin + (xmax - xmin) / 5 .. xmax
f(x, A, B, C) := A * x^2 + B * x + C
ff(x, k) := k0 * x^2 + k1 * x + k2
k := (0)
      (0)
      (0)
K := genfit(X, Y, k, ff)
K = (-2.58731)
     (-9.48573)
     (61.35446)
ff(x) := ff(x, K)
corr(Y, ff(X))^2 = 0.92546

```





**ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«СТРОИТЕЛЬСТВО»
РОССИЙСКОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ**

Россия, 443099, г. Самара, ул. А. Толстого, 19, офис 11
Тел./факс: (846) 332-36-73, E-mail: ria-npc@yandex.ru
ИНН 6317036840, КПП 631701001

Р/с 40702810554110006827 в Поволжском Банке Сбербанка РФ
БИК 043601607, Кор/счет 30101810200000000607

Исх. № 21-Н от 20.05.2016
на № _____ от _____

«Утверждаю»
директор ООО НПЦ
«Строительство» РИА
Попов В. П.
20 мая 2016 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов диссертационной работы Баранова А. С.
«Прочность и долговечность прессованного фибробетона в мелкоштучных
изделиях»

Мы, нижеподписавшиеся: гл. инженер ООО НПЦ «Строительство» РИА, к.т.н. Попов Д. В. и гл. специалист ООО НПЦ «Строительство» РИА, к.т.н. Спрыжков А. М. и ст. преподаватель каф. «Строительство» ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» Баранов А. С. составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Баранова А. С. использовались при разработке проектной документации на реконструкцию технологической линии ОАО «ЖБИ №3» (г. Самара). В настоящее время проектная документация передана заказчику и выполняются работы по практической реализации проекта.

От ООО НПЦ
«Строительство» РИА:
гл. инженер, к.т.н.
 Попов Д. В.
гл. специалист, к.т.н.
 Спрыжков А. М.

От каф. «Строительство»
СамГУПС
ст. преподаватель
 Баранов А. С.

Приложение 6

"УТВЕРЖДАЮ"
Директор «СтройблокЯр»



Карманов А. А.

“ ” _____ 2014 г.

А К Т об использовании результатов кандидатской диссертационной работы Баранова Александра Сергеевича

Комиссия в составе: председатель Карманов А. А., члены комиссии: Путько В. Ф., Сеськин И. Е. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы “Технологические аспекты формирования прочности и долговечности вибропрессованного фибробетона” использованы организацией «СтройблокЯр» при производстве тротуарной плитки (30x300x300) в следующем виде:

1. Экспериментальных данных по увеличению прочности изделий из вибропрессованного пластифицированного фибробетона
2. Экспериментальных данных по повышению долговечности изделий из вибропрессованного фибробетона

Использование указанных результатов позволяет: повысить долговечность и прочность изделий при сжатии и растяжении; снизить расход цемента.

Председатель комиссии

() Карманов А. А.

Члены комиссии:

() Путько В. Ф.

() Сеськин И. Е.



«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор СамГУПС по науке и
инновациям, д.т.н., профессор
В. Ф. Нутко



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор по коммерческим
вопросам ООО «ДСК №1»
А. А. Зайцев



**Акт
внедрения результатов НИР на тему: «Технологические аспекты
формирования прочности и долговечности прессованного фибробетона»**

Мы, ниже подписавшиеся, от ООО «ДСК №1»: А. А. Зайцев – директор по коммерческим вопросам; от Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС): И. Е. Сеськин – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы» (СКМ), А. С. Баранов – аспирант кафедры «СКМ», составили настоящий акт о том, что в период с января по апрель 2013 г. по результатам проведенных научно-исследовательских разработок установлено увеличение прочности на 50 % изделий из прессованного фибробетона с использованием добавки - суперпластификатора С-3.

По результатам экспериментальных исследований выполнено производство бортовых бетонных камней (БР 100.20.8) на заводе «ДСК №1» в объеме 1,6 м³.

Применение суперпластификатора С-3 при производстве бортовых камней из прессованного фибробетона позволяет снизить расход цемента на 15 %. Экономия расхода цемента в бетоне составила 75 кг на 1 м³.

От СамГУПС:
Кан. техн. наук, профессор
И. Е. Сеськин
Аспирант
А. С. Баранов



От ООО «ДСК №1»:
Директор по коммерческим
вопросам
А. А. Зайцев



«УТВЕРЖДАЮ»
И.о. ректора СамГУПС
И. К. Андрончев
_____ 2013 г.



АКТ

Об использовании результатов диссертационной работы Баранова А. С. «Технологические аспекты формирования прочности и долговечности прессованного фибробетона» в учебном процессе.

Кафедра «Строительные конструкции и материалы» включила теоретические исследования прочности прессованного фибробетона в лабораторные занятия по дисциплине «Строительные материалы», посвященные подбору состава тяжелого бетона и испытанию бетона. Результаты практических разработок по теме диссертационной работы используются в дипломном проектировании студентами дневного отделения специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство».

Заведующий кафедрой

«Строительство железных дорог,
путь и путевое хозяйство



В. А. Покацкий

Заведующий кафедрой

«Строительные конструкции и материалы»



И. Е. Сеськин