

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, к.т.н., доцент кафедры
«Строительные материалы и изделия»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой СПТС

/Г.А. Пикус/
6. 2018 г.

**Применение продуктов вторичной переработки ПЭТ-бутылок для
получения фибробетона**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР**

Руководитель работы,
к.т.н., доцент

/А.В. Киянец/
120 июня 2018 г.

Автор работы
студент группы АС-279

/С.Ю. Валябин/
120 июня 2018 г.

Нормоконтролер,
доцент

/А.В. Киянец/
120 июня 2018 г.

Антиплагиат,
доцент

/А.В. Киянец/
120 июня 2018 г.

ищих разрабо

АННОТАЦИЯ

Валявин С.Ю. Применение продуктов вторичной переработки ПЭТ-бутылок для получения фибробетона Челябинск: ЮУрГУ, АС-279, 2018. - с., 11 табл., 22 рис., 5 формул, 6 граф., 3 диаграммы, библиогр. список – 27 наим.

3-4 с

енения проду

уталат) в бетон

30-35

ы из матери

30-35

2-5 ст

бетона на ос

10-20

2-3 ст

5-10 с

В работе описаны практические эксперименты по определению прочности сжатие, прочности на растяжение при изгибе и истираемости бетона с добавлением разных типов фибр из ПЭТ-бутылок. Описаны испытания по определению прочности фибры и подбора критической длины. Целью работы является исследование значений прочности бетона с добавлением промышленного флекса из ПЭТ-тары, гладкой фибры, нарезанной вручную, и бристой фибры, нарезанной вручную.

(с Г.А.)

ец А.В.)

вин С.Ю.)

Фамилия	Подпись	Дата
Пикус Г.А.		
Киянец А.В.		
Киянец А.В.		
Валявин С.Ю.		

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Стадия	Лист	Листов
ВКР	2	

Применение продуктов вторичной переработки ПЭТ-бутылок для получения фибробетона.

ЮУрГУ СПТС

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
6

Оглавление

Введение.....	8
1. Обзор литературы.....	10
1.1. Фибробетон.....	10
1.2. Производство фибробетона.....	15
1.3. ПЭТ-сырье.....	18
1.4. Иностранный опыт.....	28
2. Исследование свойств бетонных смесей с применение фибры из материалов вторичной переработки ПЭТ-бктылок	35
2.1. Создание образцов	35
2.2. Испытания.....	41
2.2.1. Испытание на сжатие	43
2.2.2. Испытание на растяжение при изгибе.....	45
2.2.3. Определение истираемости	47
2.2.4. Испытание фибры на прочность и на вырыв из бетона.....	50
2.3. Обработка результатов испытания	53
2.3.1. Результаты испытаний на сжатие	53
2.3.2. Результаты испытаний на растяжение при изгибе	59
2.3.3. Результаты испытаний бетона на истираемость.....	65
2.3.4. Результат испытаний фибры на прочность.....	69
3. Заключение	71
Список использованных источников	73
Приложение 1 - Диаграмма разрушение образца бетона при испытании на сжатие.....	76
Приложение 2 – Диаграмма разрушения образца бетона при испытании на растяжение при изгибе...77	77
Приложение 3 – Поверхность бетонного образца армированного фиброй после 4 циклов истириания.78	78
Приложение 4 – Образец бетона с добавлением гладкой фибры после испытаний на растяжение при изгибе.....	79
Приложение 5 – Структура бетонного образца армированного фиброй.....	80
Приложение 6 – Испытательное оборудование MATEST	81

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист

7

Введение

Каждую минуту по всему миру покупается миллион пластиковых бутылок, и к 2021 году их число увеличится ещё на 20%, что приведёт к экологическому кризису столь же серьёзному, как и изменение климата.

Новые данные свидетельствуют о росте использования пластиковых бутылок, более полутриллиона которых будут продаваться ежегодно к концу десятилетия.

Спрос, эквивалентный примерно 20 000 единиц в секунду, обусловлен популярностью бутилированной воды и распространением западной, урбанизированной культуры перекуса «на ходу» в Китае и Азиатско-Тихоокеанском регионе.

В 2016 году по всему миру было продано более 480 млрд пластиковых бутылок, по сравнению с примерно 300 млрд. десятилетие назад. Если их сложить вместе, они будут простираться на расстояние более чем полпути к солнцу. К 2021 году это чисто увеличится до 583,3 млрд. в год, согласно самым последним оценкам.

Большинство пластиковых бутылок, используемых для безалкогольных напитков и воды, изготовлены из полиэтилентерефталата, который активно перерабатывается. Но по мере того, как их использование растёт во всем мире, усилия по сбору и переработке оказываются недостаточными.

Меньше половины бутылок, купленных в 2016 году, были утилизированы, и только 7% собранных были превращены в новые. Вместо этого большинство пластиковых бутылок оказываются на свалке или в океане.

И как же можно повлиять на эту глобальную проблему?

Мне пришла идея - использовать ПЭТ(полиэтилентерефталат) как армирующую добавку в бетон, то есть фибробетон на основе фибры из ПЭТ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 8

Цель работы – исследовать возможные применения продуктов вторичной переработки тары из материалов ПЭТ.

Для достижение данной цели я поставил перед собой следующие задачи:

- Создание опытных образцов;
- Испытание образцов;
- Анализ полученных результатов;
- Технико-экономические обоснования;
- Подбор состава материала или разработка рекомендаций по приготовлению и технологии фибробетона на основе фибры из ПЭТ.

Предметом исследования является взаимодействие между бетоном и продуктов вторичной переработки тары из материалов ПЭТ.

Объектом исследования выступают образцы бетона с добавлением промышленной ПЭТ и гладкой или ребристой фибры из ПЭТ тары, нарезанной вручную.

Теоретическая и методологическая основы исследования. Процесс экспериментального исследования опирался на зарубежные и отечественные труды, на сведения научных исследований, а также на законодательные и нормативные акты.

Научная новизна работы заключается:

- изучении технических характеристик гладкой и ребристой фибры из ПЭТ тары, нарезанной вручную;
- изучении прочностных характеристик бетона с добавление ПЭТ-флекса и гладкой или ребристой фиброй, нарезанной вручную;
- нахождения оптимального процента армирования бетона и размера фибры.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	9
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

1. Обзор литературы

1.1. Фибробетон

Одним из направлений улучшения качества, долговечности несущих конструкций сооружений является поиск, создание и применение конструкционных материалов, обладающих требуемыми характеристиками. Немало современных вещей и открытий применялось и использовалось нашими предками. Много современных «изобретателей» просто улучшили прошлые открытия, добавив имеющийся опыт и современные

К подобным изобретениям, пожалуй, можно отнести и создание строительного материала, который называется фибробетон. Бетон является одним из популярнейших строительных материалов, которые используются в последние три сотни лет во всем мире. Если сравнивать его характеристики с природными материалами, то прочность его будет несколько меньшей, но это окупает простота работы с ним и его стоимость.

Фибробетон - это разновидность мелкозернистого бетона с добавлением фибры. Фибра - мелкодисперсный равномерно распределенный армирующий компонент в объеме бетона. В качестве фибры могут быть использованы стеклянные, синтетические или стальные волокна длиной от 5 до 150 мм и диаметром примерно от 0,2 мм до 1,0 мм.

Данные волокна предназначены для создания специального армирующего эффекта, а именно для упрочнения конструкции, в которой будет использоваться *фибробетон*. Фиброволокна имеют одинаковую длину и толщину, что позволяет распределяться им по бетону очень равномерно, не создавая в одной части материала излишков, а в другой их недостатка. Основным преимуществом использования такого материала стало то, что при его применении не нужно использовать в строительных работах специальных армирующих частей, таких арматурные пруты или сетка. Соответственно, что из данного преимущества вытекает еще несколько, а именно то, что

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 10

значительно снижаются затраты на производство, а во вторых укорачивается временной интервал работ, поскольку не приходится проводить дополнительные работы по выкладке арматуры в бетон.

Краткая история фибробетона

Во всем мире развитие дисперсного армирования как альтернатива стержневому происходило постепенно. И изначально оно рассматривалось в качестве помощи к традиционному. В нашей стране работы, посвященные получению дисперсно-армированных товарных бетонов и растворов с применением волокон, ассоциируют с именем русского инженера Некрасова В.П. .

На заре XX века он провел исследования по применению дисперсного армирования. В качестве фибровой арматуры он использовал отрезки проволоки малых диаметров. Результаты исследований Некрасов подробно изложил в своих работах. Тогда же был получен и первый в мире патент на конструкцию из фибробетона.

Дальнейшее развитие тематики дисперсного армирования было продолжено уже в Советском Союзе в середине прошлого века, о чем свидетельствует заинтересованность наших специалистов в улучшении свойств такого традиционного строительного материала как бетон. Всплеск активности и дальнейшая разработка данной тематики способствовали появлению публикаций и авторских патентов.

Вопрос о качестве и новых возможностях бетона волновал не только наших ученых. В подкрепление к научным разработкам середины 70-х годов (как это было принято в то время) вышло Постановление Совмина СССР «О некоторых мерах по повышению технического уровня производства железобетонных конструкций и более эффективному использованию в строительстве».

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	11
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Благодаря данному документу строители получили базу для внедрения дисперсно-армирующих волокон в качестве упрочняющей добавки для бетона. В дальнейшем это позволило говорить о создании нового высокопрочного материала — фибробетона.

К сожалению, сроки изучения и последующего внедрения новых строительных материалов достаточно длительные. Изначально это связано с нежеланием принимать все новое (мол, и так все хорошо), а также определенными предрассудками по освоению инноваций.

В Советском союзе было много перспективных и передовых разработок, но ученые работали в стол: на внедрение новых передовых материалов могли уйти десятилетия. Определенные трудности во внедрении новых технологий в производстве строительных материалов возникали и при изготовлении бетона, асфальтобетона и железобетона. Даже сегодня во многих наших регионах при изготовлении бетона не используют такие перспективные и давно себя хорошо зарекомендовавшие добавки как поликорбаксилаты и ниткаль. Хотя производители бетона могли бы получить от их применения значительную выгоду.

Тем не менее, стоит признать, что и в теоретической части, и в области лабораторных исследований мы добились действительно выдающихся результатов. Западные производители тем более не дремали. За последнее время проведено значительное количество международных научно-технических симпозиумов, конференций и семинаров, посвященных результатам научных исследований и практическому применению фибробетонов в строительстве США, Великобритании, Канаде, Германии других странах. Особое развитие и применение фибробетон получил в Японии. Японская ассоциация по цементу одной из первых специально учредила комитет по изучению фибробетона. Специалистами японской ассоциации по тоннелестроению было разработано руководство по проектированию и изготовлению сталефибробетона,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	12
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

предназначенного для отделки тоннелей, для конструкций дорог и гидротехнических сооружений. Японское общество инженеров гражданского строительства подготовило руководство по подбору состава и приготовлению сталефибробетона, а также разработало ряд методов его испытаний.

На современной этапе лидерами в производстве фибры являются страны Европы, к которой используется в год более 3 000 000 м³ сталефибробетона, а это более 150 000 т. стальной фибры. На нашем же рынке представлены производители фибры из Бельгии и Германии, России и Украины. В странах ближнего зарубежья данные производства наложены практически самостоятельно. За аналог оборудования взяты импортные станки, в качестве сырья в Белоруссии используется некондиционный корд от шинопроизводства, что не всегда соответствует высокому качеству изготовленной из него фибры. Это связано с тем, что используемая при производстве проволока не всегда имеет одинаковую толщину. Продвижение внедрения дисперсно-армированных бетонов в практику строительства должно быть связано в первую очередь с решением вопросов использования волокнистой (фибровой) арматуры необходимого качества и освоением технологических процессов на действующих заводах строительного комплекса, а также при внедрении данного материала непосредственно на строительных площадках.

Сталефибробетон

Впервые стальные волокна появились на мировом рынке в 1973 г., что стимулировало исследование их применения в дорожных покрытиях, в отделке тоннелей. Опыт таких развитых стран, как США, Великобритания, Германия, Франция и Австралия убедительно доказал технико-экономическую эффективность применения сталефибробетона в строительных конструкциях. В строительной практике США сталефибробетона широко применяют в дорожном и тоннельном строительстве, строительстве морских нефтедобывающих платформ и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	13
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

плотин, а также в устройстве полов промышленных зданий, терминалов и т.п. Считается целесообразным применение сталефибробетонов в каркасных конструкциях зданий, особенно при возможных сейсмических воздействиях. Сталебетон в мировой практике занимает значительную долю в общем объеме используемого бетона, для чего налажено серийное производство стальных фибр порядка 350-400 тысяч тонн в год. Правильно приготовленный сталефибробетон по сравнению с неармированным бетоном имеет ряд преимуществ:

- повышение прочности при сжатии до 25%;
- повышение прочности на растяжение при изгибе до 250%;
- повышение прочности при осевом растяжении до 60-80%;
- повышение сопротивления удару до 10-12 раз;
- повышение модуля упругости до 20%;
- повышение долговечности конструкции и увеличение межремонтного цикла при их эксплуатации в 1,8...2,0 раза;
- повышается морозостойкость , водонепроницаемость, сопротивление знакопеременным температурам, сопротивление абразивному износу и др.;
- фибровое армирование придает бетонной матрице пластический характер разрушения и повышенную трещиностойкость.

Применение сталефибробетонных лотков для водоснабжения и водоотведения взамен типовых железобетонных и позволяет полностью отказаться от использования арматуры, что дает экономию приведенных затрат - до 50%, трудоемкости изготовления - в 2 раза, бетона - в 2 раза, стали-до 15%. Применение сталефибробетона в изделиях круглых колодцев(кольцах, плитах покрытий) позволяет снизить расход бетона по сравнению с аналогичными железобетонными конструкциями на 25- 30% при примерно равном расходе стали. Стоимость сталефибробетонных конструкций снижается от 11 до 27%, а затраты труда - в среднем на 20%.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						14

Показана эффективность применения сталефибробетона для устройства монолитных днищ для емкостных сооружений широкой номенклатуры, включая прямоугольные резервуары, цилиндрические канализационные отстойники диаметром до 4 м, сборные изделия для сооружений водопровода, шпалы, лотки гидравлических русел. Установлена эффективность применения сталефибробетона для ремонта поверхности водосливов плотин и напорных тоннелей, индустриальных полов, наружных стен зданий.

1.2.Производство фибробетона

Если сказать в двух словах, то производство фибробетона заключается в следующем: песок, цемент, вода, крупный заполнитель и определенная часть фиброволокон тщательно перемешивается. Но на самом деле, все не так просто. Основная трудность состоит в том, чтобы равномерно распределить фибрю по всему объему смеси. Для определенного вида фибры существует своя технология и специальное оборудование.

Для изготовления фибробетона с добавкой фибры стальной используют мощный электромагнит, который равномерно растягивает ее в процессе перемешивания раствора. Существуют различные по размерам и мощности электромагнитные установки, которые могут применяться и на крупном бетонном узле, и в полевых условиях при производстве фибробетона в обычном миксере.

Для изготовления бетона со стекловолоконной фиброй чаще всего используется метод пневмонабрызга. Суть этой технологии состоит в том, что происходит синхронное напыление бетонной смеси и фиброволокон, благодаря чему производится изготовление крупногабаритных изделий и изделий сложных геометрических форм, в том числе – криволинейных. Фибрю полипропиленовую, которую добавляют в смеси на цементном вяжущем, можно смешивать любым способом в смесителях и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	15
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

бетоносмесителях принудительного и гравитационного типа, в том числе – в установленных на машину миксерах. Она отлично перемешивается и не образует комков благодаря нанесенному на ее поверхность замасливающему составу.

Возможны следующие алгоритмы работы с полипропиленовым фиброволокном:

- фибра смешивается с сухими компонентами (песок, цемент, щебень), затем вводится вода и, при необходимости, химические добавки, после чего смесь снова тщательно перемешивается. При этом следует помнить, что время смешивания раствора с фиброволокном увеличивается на 15% по сравнению с необходимым для замешивания обычной смеси временем.
- вначале смешиваются сухие компоненты, затем добавляется вода для затворения, и только после того, как вода впиталась в смесь, в работающий смеситель добавляется фибра. Время смешивания также должно быть увеличено на 15%.
- фибра полипропиленовая добавляется в готовый раствор и перемешивается. В случае, когда подвозка бетона осуществляется в автомобильном миксере, после его заполнения бетонным раствором добавляется фибра. Время перемешивания при этом будет равно времени, проведенному автомобилем в пути. Если фиброволокно вводится непосредственно на стройплощадке, то его добавляют в доставленную автобетоновозом смесь и перемешивают в течение 7-8 минут.

Производство фибробетона с другими видами волокон аналогично вышеперечисленным способам. Стоит заметить, что вручную, в корыте, большинство видов фибры довольно затруднительно равномерно распределить в бетонном растворе.

Стоит отметить, что армирование бетона фиброй отнимает меньше времени, чем армирование с использованием сеток и каркасов. При этом затраты на строительный материал существенно уменьшаются. Используя фибру в

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						16

качестве добавки в раствор, мы добиваемся низкого расхода бетона. Качественный современный материал облегчает также процесс ремонтных работ. Бетонное изделие, разрушаясь, не распадается на отдельные части. Фибра наделяет бетон вязкостью, то есть его частицы скрепляются между собой волокнами.

За счет того, что производство фибробетона с технической точки зрения - простой процесс, расход времени на строительные работы также уменьшается. Приготовление фибробетона: в смеситель с цементным раствором выдается фиброволокно; после этого начинается интенсивное перемешивание компонентов, которое не больше 15 минут, за это время фибра успевает разойтись по всей массе смеси из бетона.

Как известно, фибра отлично взаимодействует со смесью, в которой, кроме бетона, присутствуют вяжущие компоненты. Применение волокнистых материалов для приготовления газо- или пенобетонной смесей широко распространено. При введении фибры в газобетон наблюдается рост устойчивости процесса поризации. Прочность пеноблоков увеличивается, если волокно входит в состав пенобетона.

Фибробетон как разновидность бетона - полностью безопасный для здоровья человека материал. Он отлично пропускает электромагнитное излучение, что позволяет использовать его в строительстве жилых домов. Конструкции из такой смеси гораздо легче конструкций, армированных традиционным способом, поэтому применение фиброцемента уместно в зданиях с тонкими стенами. Этот материал широко используется в различных работах. Область использования фибробетона очень широка. Благодаря высокой стойкости к износу и воздействию различных видов нагрузок, материал находит все большее применение в промышленном и бытовом строительстве. Из него получается качественное долговечное покрытие дорог, тротуаров, легкие и прочные бордюры. Экологическая чистота, надежность и эстетичность сделали фибробетон востребованным материалом для индивидуального строительства. Из него изготавливают не только наружные конструкции,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						17

хозяйственные постройки, террасы, но и полы первых этажей, подвальных помещений и гаражей. Одно из важных свойств стеклофибробетона – высокая пропускная способность для электромагнитного излучения, что является немаловажным фактором в жилищном строительстве.

1.3.ПЭТ-сырье

Пластик стал настоящей эпидемией XXI века. Он встречается повсюду: пластиковая посуда, пакеты, упаковка, игрушки, мебель, отделка домов и машин, горшки, цветы, техника и многое другое. Без всяких сомнений, можно сказать, что человек, живущий в большом городе, каждый день сталкивается с данным материалом. Задумывались ли вы, куда девается такой большой объем вещей из пластика? Большую часть попадает в Мировой океан, и лишь небольшая доля (всего 5%) уходит на переработку. Экология окружающей среды очень сильно страдает от загрязнения пластиком.

Предлагаем вашему вниманию несколько интересных фактов о производстве, переработке и использовании пластика, прочтение которых, как правило, заставляет задумываться и хотя бы немного поменять свой взгляд на его потребление.

- ✓ За последние 10 лет было произведено больше пластика, чем за предыдущие 100 лет.
- ✓ В большинстве случаев вся пластиковая продукция используется всего 1 раз, а потом просто выкидывается.
- ✓ Только 5% пластика идет на повторную переработку.
- ✓ Ежеминутно во всем мире используется около 1 миллиона полиэтиленовых пакетов.
- ✓ Из-за такого большого количества мусора в Мировом океане морские животные и птицы начали «питаться» им. Ситуация дошла до того, что уже у 44% морских птиц и 22% китообразных в желудках находится пластик. Он в свою очередь является частой причиной их смерти.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						18

- ✓ Как известно, пластиковая продукция разлагается от 500 до 1000 лет. Соответственно, весь пластик, который был изготовлен человеком существует и по сей день в той или иной форме (не считая сожженного).
- ✓ Для производства пластиковых вещей используется около 8% всей добываемой в мире нефти.

Существуют два основных источника полимерных отходов. Прежде всего, это отходы пластикового производства: кромка пленки, кусковые отходы, отходы производства одноразовой посуды, обрезки пластиковых труб, пластиковых окон, другие отходы первичного производства. Промышленные отходы обычно отличаются высоким качеством: в них отсутствуют примеси, они сортированы и практически не требуют проведения подготовительных операций перед переработкой. Переработке подвергаются до 90% промышленных полимерных отходов.

Стоит заметить, что промышленные ПЭТ-отходы не представляют большой угрозы для экологии. В решении вопроса организации сбора и подготовки промышленные отходы ПЭТ занимают преимущественное положение, т. к. они являются отходами компактных источников, легко поддаются селективному сбору, не требуют сортировки и их подготовка и переработка может быть осуществлена достаточно легко. Производственные отходы в компактных источниках практически не содержат поверхностные загрязнения и являются однородными по составу продуктом.

Однако существует и другой тип отходов - отходы потребления, или бытовые отходы: использованные пакеты, пластиковые бутылки, полиэтиленовая упаковка, пленка, одноразовая посуда, корпуса бытовой техники и инструмента, пластмассовые ящики, использованные пластиковые трубы, оконные профили. Такие бытовые ПЭТ отходы представляют большую угрозу для экологии, в частности, пластиковая бутылка, которой буквально

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					19

завалены крупные города и зоны отдыха. По некоторым оценкам, процент полимеров в общем объеме бытовых отходов составляет более 60%.

Основной источник отходов потребления - это различного рода свалки, где специальные "полигонные бригады" собирают и сортируют бутылки, пакеты и пакетики, корпуса электроники. В отличие от производственных отходов, полигонные полимеры загрязнены, смешаны с другими пластиками и требуют тщательной подготовки перед процедурой переработки. Среди бытового мусора чемпионом среди полимеров является так называемая пластиковая бутылка (ПЭТ).

На сегодняшний день изготовление пищевой тары является наиболее существенной областью применения ПЭТ гранулята. Пионерами в деле создания первых промышленных аппаратов по выдуву выступили компании "Sidel" (Франция) и "Krupp Corpoplast" (Германия).

Преимущества ПЭТ многочисленны. Обычная полулитровая ПЭТ-бутылка весит около 28 г, в то время как стандартная бутылка того же объема, сделанная из стекла, может весить около 350 г. ПЭТ абсолютно прозрачен, бутылка, изготовленная из этого материала, выглядит чистой, привлекательной. Кроме того, ПЭТ можно окрасить, например, в зеленый или коричневый цвет, для того, чтобы внешний вид продукции максимально соответствовал запросам потребителей. Использование пластиковых бутылок помогает устраниć такой неприятный эффект, как бой тары при транспортировке, свойственный стеклотаре, при этом ПЭТ, как и стекло, прекрасно (и полностью) перерабатывается. В целом, в настоящее время ПЭТ-упаковка с ее безграничным инновационным потенциалом и широкими возможностями в смысле дизайна рассматривается, скорее, не как конкурент стеклотаре, а как материал, способный открыть совершенно новые рынки и породить абсолютно новые потребительские приоритеты.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	20
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Существенными недостатками ПЭТ-тары является ее относительно низкие барьерные свойства. Она пропускает в бутылку ультрафиолетовые лучи и кислород, а наружу - углекислоту, что ухудшает качество и сокращает срок хранения продукта. А также в пустом виде она поддается физической деформации. [3]

В результате вторичной переработки полиэтилентерефталата механическим способом получают ПЭТ — хлопья (флексы). Требования к флексам определяются потребителем и формируются в зависимости от производимого из них продукта – волокна, пленки или преформ. Как правило, нормируются:

- влажность,
- насыпная плотность,
- характеристическая влажность.

Полимерные отходы должны быть рассортированы на четыре цветовые группы: темные цвета (черный, коричневый, темно-коричневый); сине-зеленые цвета (синий, зеленый, голубой, серый, фиолетовый); белый (неокрашенный); другие цвета (красный, оранжевый, желтый, кремовый).

Полимерное сырье не должно содержать посторонних примесей в виде макулатуры, тряпья, металла, дерева, резины, стекла. А оборудование для ПЭТ должно обеспечивать качественную мойку и дробление с минимальным содержанием пыли.

Переработку пластиковых бутылок можно разделить на два этапа:

- подготовка ПЭТ — бутылок;
- производство хлопьев.

Очистка отходов от загрязнений может быть осуществлена различными способами: путем обработки материалов в воде или водных растворах моющих

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	21
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

средств, а также в неводных растворах, гравитационным разделением. Наиболее простым и экономичным является отмывка отходов ПЭТ в водных и неводных средах на аппаратах непрерывного или периодического действия. Обычно, очистка ПЭТ-отходов производится в две-три ступени, затем очищенный материал измельчается и сушится.

Еще недавно считалось, что чем больше воды используется в процессе очистки вторичного ПЭТ, тем лучше отмывается материал. Поэтому широкое распространение получили «мокрые» дробилки (материал попадает в воду уже на этапе предварительного дробления), пропитывающие шнеки (транспортируют предварительно замоченный в воде материал), многоэтапные моечные комплексы периодического действия. В итоге требуемая чистота материала достигалась беспрецедентно большим потреблением воды, а следовательно и использованием сложнейшей системы водоочистки.

Компания B+B Anlagenbau GmbH недавно предложила оригинальную «сухую» технологию очистки ПЭТ-отходов. Разработанное компанией устройство очищает материал на 96 % уже на сухом этапе переработки, что позволяет снизить потребление воды, как минимум, в три раза (как следствие, снижаются и расходы на водоочистку). Высокая степень очистки достигается за счет использования повышенного трения предварительно измельченных ПЭТ-отходов (хлопьев), что приводит косыпанию и дальнейшему извлечению основной массы поверхностных загрязнений (песок, пыль, бумага, часть клея и т.п.).

Сбор отходов и их сортировка

ПЭТ-бутылки обычно сортируются по цвету. Все этикетки, крышки, кольца необходимо по возможности убрать на этом этапе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	22
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Избавлять бутылки от ненужного можно вручную, можно механизировать процесс – дробленое сырье пропускают через агрегат флотации.

Оптимальным объектом для переработки является спрессованная кипа (пресс-пакет) из бесцветных ПЭТФ бутылок (окрашенные бутылки должны быть отсортированы и переработаны отдельно).

Особенно тщательно необходимо удалять бутылки из поливинилхлорида (ПВХ), т.к. даже незначительные количества ПВХ могут вызвать материальную деградацию и даже повредить оборудование в процессе переработки. Приемлемое содержание ПВХ в перерабатываемом ПЭТ — 0,25 %. В настоящее время автоматизированное сортирующее оборудование позволяет отделять ПЭТ от других пластмасс.

Производителями оборудования предлагаются стандартные установки по обнаружению и извлечению ПВХ и других нецелевых полимеров, линии автоматической сортировки ПЭТ-бутылок и полимеров, пакетировочные прессы, динамические сепараторы.

Прессование отходов

Необходимость прессовать возникает при удаленности места переработки от места сбора и хранения. Перевозить воздух невыгодно – а непрессованные ПЭТ-бутылки именно воздухом и являются. Поэтому перед перевозкой бутылки следует пропустить через пакетировочный пресс. Рекомендуется перед прессованием откручивать колпачки: в этом случае потребуется меньшее усилие.

Измельчение

Измельчители пластмасс превращают бывшие бутылки в полупродукт. Разного цвета бутылки и обрабатывать нужно по отдельности, конечный

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						23

продукт будет сдаваться также по цвету. Самые дорогие – прозрачные флексы, дешевле – синие, еще дешевле – зеленые, самые дешевые – коричневые.

Для измельчения бутылок используется измельчитель роторного типа. Измельчитель оснащен высоконапорным вентилятором для удаления измельченного продукта из зоны резания и транспортировки его в приемное устройство, или в моечную машину. Размер полученных на измельчителе хлопьев определяется классификационной решеткой (от 3 до 25 мм). Физико-химические свойства исходного ПЭТФ при таком измельчения практически не изменяются.

Отходы загружаются в измельчитель одновременно с водой. В результате интенсивного ударного воздействия происходит отделение загрязнений с поверхности изделий и их перевод в моющую среду. Соотношение подаваемых отходов и воды составляет 1:10–1:15. Как правило, вода для промывки подается в аппараты противотоком.

Мойка хлопьев

ПЭТ-хлопья нужно очистить от загрязнений. Флексы загружают в специальный моечно-сушильный комплекс, предназначенный для полимеров, в котором происходит отделение хлопьев от посторонних примесей.

Частицы пробок, колечек на моечном оборудовании отделяются практически на 100 %, поэтому их можно предварительно не разделять.

С использованием грузоподъемных механизмов дробленые ПЭТ хлопья загружаются в ванну замачивания. В этой ванне происходит процесс замачивания ПЭТ хлопьев. Данная ванна используется как флотационная емкость для сепарации материалов с разными относительными плотностями, как например, РР и РЕ колпачки, этикетка и отрывные кольца. Данные материалы удаляются с поверхности воды, в то время как обработанный

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						24

материал тонет и передается со дна ванны посредством внешнего наклонного шнека в динамическую центрифугу.

Динамическая центрифуга

Мойка-очиститель – динамическая центрифуга, оснащена специальными ситами и лопатками, которые обеспечивают жесткую мойку хлопьев. Она используется для удаления этикеточной бумаги, которая превращается в очень маленькие кусочки, которые с помощью комбинации эффекта использования воды и механических лопастей выдавливаются через сито, а так же для удаления липких загрязнений, таких как клей, сок или остатки сахара. По центрифуге хлопья подаются вверх и пневмотранспортом транспортируются в циклон, из которого попадают в ванну горячей мойки.

Ванна горячей мойки

Вода, нагретая в ванне встроенными электрическими тэнами до 60-ти градусов цельсия, а также система барботажа и встроенные лопатки, т.е. совместное воздействие горячей воды с использованием тринатрий фосфата и трения, а также взаимодействие частиц между собой при вращении обеспечивают хорошую отмывку от загрязнения. Так же данная ванна как и предыдущая используется как флотационная емкость. Затем обработанный материал передается со дна ванны посредством внешнего наклонного шнека в динамическую центрифугу, а оттуда посредством пневмотранспорта транспортируется в циклон из которого попадают в ванну холодной мойки.

Ванна холодной мойки

На этой стадии в ванне холодной мойки происходит окончательная мойка. Из ванны холодной мойки внешним наклонным шнеком продукт подается в динамическую центрифугу.

Динамическая центрифуга

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 25

Основная функция заключается в центробежном отжиме от воды из ПЭТ хлопьев и подготовке их к стадии сушки. Из центрифуги продукт подается системой пневмотранспорта в циклон накопитель.

Загрязнения, отмытые с ПЭТ-флексов (хлопьев) оседают на дне и сетках центрифуг. Образовавшийся осадок удаляется из всех ванн и центрифуг периодически при полном их осушении. Частота осушения и чистки ванн и центрифуг зависит от степени загрязнения перерабатываемого сырья. При переработке относительно чистых бутылок операции по осушению и чистке должны производиться после 4-6 смен, а при переработке сильно загрязненного материала — в конце каждой смены. Поступление свежей воды составляет приблизительно 2-4 литра в минуту.

Промывную воду обычно фильтруют и снова вводят в цикл.

Сушка и упаковка ПЭТ-хлопьев

Из циклона-накопителя ПЭТ хлопья (флексы) подаются в дозатор, а из него равными порциями (для улучшения качества сушки) в систему трубопроводов общей длиной 6 метров, по которому горячим воздухом в системе пневмотранспорта подаются уже в сухом виде в бункер-накопитель, откуда поступают на фасовку. В секции сушки установлена одна воздуходувка, в которой воздух нагревается 8-ю электрическими нагревателями. Температура воздуха контролируется и регулируется на главной панели управления. Защитные элементы предотвращают перегрев при сбое системы. Влажный воздух выдувается наружу. Излишки тепла выводятся водяным охлаждением и пневмотранспортом.

Сушка измельченных отходов после их отмычки осуществляется в сушилках, работающих по принципу взвешенного слоя, ленточных, полочных и т. д.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	26
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Материал сушат до остаточной влажности 0,02-0,5% по ГОСТ 11736. Тщательная сушка принципиальна, поскольку наличие остаточной влажности при последующей переработке при повышенных температурах приводит к частичному гидролизу цепей и необратимому ухудшению физико-химических свойств полимера. В связи с тем, что очистка и отмывка отходов позволяют значительно повысить свойства получаемых из них изделий, постоянно совершенствуются технологии этих процессов.

Насыпная плотность ПЭТ-хлопьев размером 5–10 мм составляет 200–300 кг/м³.

Из одной бутылки можно получить от 35 до 40 граммов хлопьев. Коэффициент использования грязной ПЭТ-бутылки – 0,7.

Проблемы при переработке ПЭТ

Вторичным ПЭТ-полимерам при переработке свойственны те же проблемы, что и исходной ПЭТ-основе: низкий порог неньютоновского поведения (когда скорость сдвига оказывается на изменении вязкости полимера), чувствительность к нагреву и, наконец, необходимость просушки.

Более того, в процессе сушки и переработки вторичный материал претерпевает некоторую потерю вязкости, что вызвано не только температурными и деформирующими воздействиями в процессе пластикации полимера, но и присутствием загрязнителей (влаги, клея, красителей и т. д.). Эти факторы приводят к снижению молекулярной массы полимера.

Недостаточная сушка может значительно ухудшить свойства как первичного, так и вторичного материала.

Другая проблема переработки ПЭТ-отходов связана с вероятным присутствием в них ПВХ. Даже при тщательной сортировке ПЭТ-бутылок есть вероятность попадания ПВХ и ПЭ примесей в состав вторичного материала.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	27
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

При температуре переработки ПЭТ ПВХ разлагается, выделяя соляную кислоту, которая вызывает интенсивную деструкцию полимера. Поэтому нужно максимально снизить присутствие ПВХ в составе ПЭТ-отходов. Допустимое содержание ПВХ не превышает 50 промилле.

1.4.Иностранный опыт

На бескрайних просторах сети Интернет, я вел поиск каких либо статей, заметок или книг по тебе «ПЭТ фибра». Но статей на русском языке мне отыскать не удалось. Тогда я обратился к английскому языку, и нашел некоторые статьи посвященные исследованиям применения фибры из ПЭТ материала.

Работники бразильского университета отмечают, что ПЭТ – лучший и самый устойчивый пластик для производства упаковки. Он обладает высокой механической и химической стойкостью, что делает ПЭТ идеальным материалом для производства упаковки для напитков во всем мире. Однако из-за большого потребления и неадекватной утилизации этого материала, стал актуальным поиск альтернатив использования ПЭТ мусора. Их работа была направлена на разработку методологии конкретной дозировки с целью частичной замены мелкого заполнителя ПЭТом. Была оценена прочность на сжатие бетона с добавлением 2,5% и 7,5% ПЭТ, заменяющего мелкий заполнитель. Было обнаружено, что результаты испытаний бетона с 2,5% ПЭТ оказались удовлетворительными. Результаты испытаний бетона с 7,5% ПЭТ оказались неудовлетворительны. Таким образом, можно сделать вывод, что производство бетона, отвечающего нормативным требованиям прочности на сжатие, возможно при замене 2,5% мелкого заполнителя на ПЭТ. [10]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	28
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

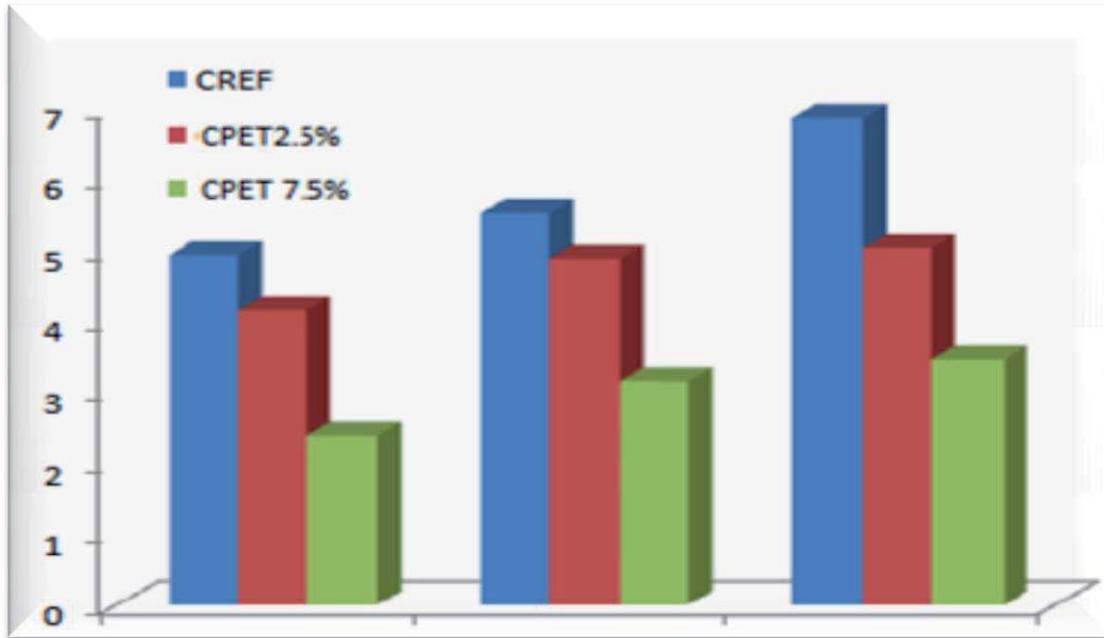


Рисунок 1. Результаты прочности на сжатие в бетоне (синий), в бетоне с заменой 2,5% (красный) и в бетоне с заменой 7,5% (зеленый) мелкого заполнителя на ПЭТ. Бразилия.

В статье из Португалии сообщается о прочностном поведении бетона, содержащего три типа переработанного полиэтилентерефталата (ПЭТ). Также результаты анализируются для определения влияния ПЭТ-агрегата на прочность на изгиб и прочность на раскол и прочность на сжатие, и узнать удовлетворяет прочность бетона прочности европейских стандартов, для бетона, изготовленного с использованием ПЭТ-агрегата.

В эксперименте применялись три типа ПЭТ-агрегатов. Были изготовлены образцы с 5%, 10% и 15% содержанием ПЭТ-агрегата. Испытывались образцы по истечении 7, 28 и 91 суток. Прочность на сжатие бетона, содержащего все типы ПЭТ-агрегата, ведет себя как в обычном бетоне, хотя включение любого типа ПЭТ-заполнителя значительно снижает прочность на сжатие полученного бетона. Ввод ПЭТ-агрегата улучшает поведение жесткости полученного бетона. Такое поведение зависит от формы ПЭТ-заполнителя и максимизируется для бетона, содержащего грубый, шелушащийся ПЭТ-агрегат. Прочность на разрыв и прочность на изгиб пропорциональны снижению прочности на сжатие бетона, содержащего пластиковые агрегаты. [11]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						29

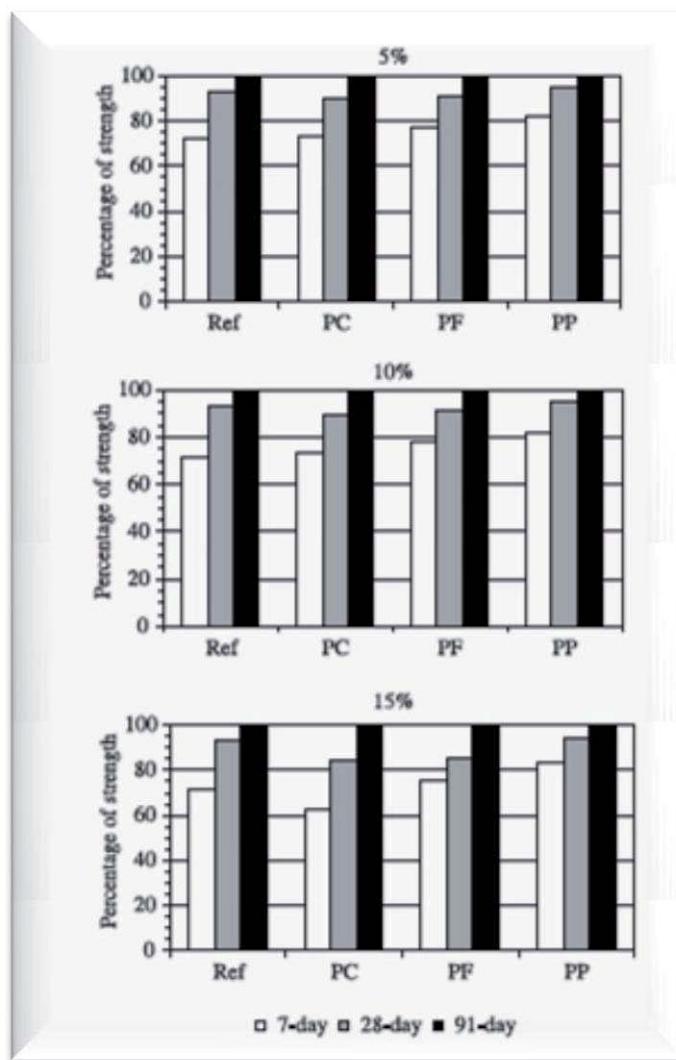


Рисунок 2. Процент прочности на сжатие 7 и 28 дневного бетона, содержащий ПЭТ-агрегаты, и контрольного бетона по отношению к 9-дневной прочности для разных процентов замеса. Португалия.

Работники Варшавского технологического университета выпустили статью о применении ПЭТ в бетоне. В статье излагается что, ПЭТ-отходы можно использовать как частичную или полную замену заполнителя в бетонной композиции или в виде фибробетона. Основным недостатком таких применений они называют гидролиз сложноэфирных связей полиэтилентерефталата в сильнощелочной среде цементной матрицы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					30



Рисунок 3. Волокна, полученные из отходов ПЭТ-бутылок. Польша.

Результаты исследований показали, что введение ПЭТ-волокон не ухудшают механическую прочность бетонного композита. Однако наличие полимерных волокон ухудшает осадку конуса бетонной смеси, что может вызвать трудность при перемешивании или укладке бетонной смеси. [12]



Рисунок 4. Испытание на осадку конуса бетонной смеси без волокон ПЭТ (слева) и 0,1% (по объему) волокна ПЭТ (справа). Польша.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
31

Работники университета Баба Гулам Ша Бадша (Индия) также исследовали поведение различных сортов бетона, марок M20, M25 и M30, с добавлением некоторого количества ПЭТ-волокон (2%, 3%, 4% и 5%). Они отметили, что бетон является общепринятым конструкционным материалом и его непрерывное использование ограничило многих инженеров-строителей добавить некоторые соответствующие компоненты взамен цементу или любому другому ингредиенту. Так же они отмечали, что загрязнение окружающей среды от различных небиоразлагаемых отходов не только создают опасность для окружающей среды, но также может повлечь за собой серьезные последствия для жизни людей.

Бетонные марки M20, M25 и M30 были получены с использованием различных пропорций ингредиентов для разработанной смеси. ПЭТ-волокна добавляли к бетону по весу цемента в процентах от 2% до 5% для образцов куба размером 150мм x 150мм x 150мм.

Затем механические свойства, такие как прочность на сжатие, сравнивались с обычном бетоном.

S.No	Volume fraction PET	Compressive strength at 7 days (N/mm ²)	Compressive strength at 28days (N/mm ²)	Compressive strength at 56days (N/mm ²)
1	0%	19.99	30.96	32.88
2	2%	22.66	32.29	34.51
3	3%	24.58	34.22	36.74
4	4%	22.36	31.85	33.55
5	5%	22.22	31.62	33.48

Рисунок 5. Средняя прочность на сжатие для бетона марки M20 (7, 28 и 56 дней). Индия.

S.No	Volume fraction PET	Compressive strength at 7 days (N/mm ²)	Compressive strength at 28days (N/mm ²)	Compressive strength at 56 days (N/mm ²)
1	0%	24.44	32.37	33.77
2	2%	25.02	33.03	34.51
3	3%	27.03	34.81	36.14
4	4%	24.53	32.29	34.51
5	5%	24.51	30.81	33.85

Рисунок 6. Средняя прочность на сжатие для бетона марки M25 (7, 28 и 56 дней). Индия.

S.No	Volume fraction PET	Compressive strength at 7 days (N/mm ²)	Compressive strength at 28 days (N/mm ²)	Compressive strength at 56 days (N/mm ²)
1	0%	28.88	39.11	42.66
2	2%	30.44	40.66	43.58
3	3%	32.0	43.70	46.07
4	4%	30	39.27	43.55
5	5%	29.92	34.26	43.48

Рисунок 7. Средняя прочность на сжатие для бетона марки M30 (7, 28 и 56 дней). Индия.

Приводятся некоторые из выводов, которые можно показать на этапах исследования при рассмотрении различных сортов бетона и включении требуемого количества ПЭТ-волокон. Оптимальная прочность на сжатие бетона была достигнута с добавлением 3% ПЭТ-волокон. [13]

Работники еще одного университета из Индии так же отмечали, что полиэтилентерефталат (ПЭТ) является выдающимся материалом, который широко используется в качестве сырья для производства тары. Целью исследования было определить возможность повторного использования ПЭТ в виде замены заполнителей в портландцементе. В этом исследовании бетон с 0%, 5%, 10%, 15% и 20% ПЭТ отходов.

В выводах они отмечали, что твердое вещество (бетон) с отходами ПЭТ, значительно снижает вес цемента, и это помогает в приготовлении бетонной технологии с уменьшенным удельным весом. Так же бетон с добавлением ПЭТ показал увеличение прочности на сжатие и растяжение по сравнению с бетоном без добавления ПЭТ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 34
------	------	----------	---------	------	--------------------------	------------

2. Исследование свойств бетонных смесей с применение фибры из материалов вторичной переработки ПЭТ-бктылок.

Эксперимент проводился в несколько этапов:

- Создание образцов из бетона без добавления фибры;
- Испытания образцов из бетона без добавления фибры;
- Создание образцов из бетона с добавлением промышленной фибры;
- Испытания образцов из бетона с добавлением промышленной фибры;
- Создание образцов из бетона с добавлением гладкой фибры нарезанной вручную;
- Испытания образцов из бетона с добавлением гладкой фибры нарезанной вручную;
- Создание образцов из бетона с добавлением ребристой фибры нарезанной вручную;
- Испытания образцов из бетона с добавлением ребристой фибры нарезанной вручную;
- Анализ полученных результатов.

2.1. Создание образцов

Для испытаний были изготовленные образцы из бетона класса В30 следующего состава:

Таблица 1 – Состав бетона

Наименование ингредиента.	Кол-во на м3, кг.	Кол-во на весь эксперимент, кг.
Цемент М400	465	144.15
Песок	423	131.13
Щебень фракции 5-20 мм	1254	388.74
Вода	207	64.17
Общий вес материалов на эксперимент:		<u>728.19</u>

В качестве вяжущих материалов следует применять портландцементы и шлакопортландцементы по ГОСТ 10178, сульфатостойкие и пущолановые цементы по ГОСТ 22266 и другие цементы по стандартам и техническим условиям в соответствии с областями их применения для конструкций конкретных видов.

Вид и марку цемента следует выбирать в соответствии с назначением конструкций и условиями их эксплуатации, требуемого класса бетона по прочности, марок по морозостойкости и водонепроницаемости, величины отпускной или передаточной прочности бетона для сборных конструкций на основании требований стандартов, технических условий или проектной документации на эти конструкции с учетом требований ГОСТ 23464, а также воздействия вредных примесей в заполнителях на бетон.

В качестве крупных заполнителей для тяжелых бетонов используют щебень из природного камня по ГОСТ 8267, щебень из гравия по ГОСТ 10260, щебень из попутно добываемых пород и отходов горнообогатительных предприятий по ГОСТ 23254, гравий по ГОСТ 8268, а также щебень из шлаков ТЭЦ по ГОСТ 26644.

В качестве мелких заполнителей для бетонов используют природный песок и песок из отсевов дробления и их смеси, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8736, а также золошлаковые смеси по ГОСТ 25592.

Крупный заполнитель в зависимости от предъявляемых к бетону требований выбирают по следующим показателям: зерновому составу и наибольшей крупности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, вредных примесей, форме зерен, прочности, содержанию зерен слабых пород, петрографическому составу и радиационно-гигиенической характеристике. При подборе состава бетона учитывают также плотность, пористость, водопоглощение, пустотность. Крупные заполнители должны иметь среднюю плотность от 2000 до 2800 кг/куб.м. [ГОСТ 26633-91]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						36



Рисунок 8. Просеивание щебня.



Рисунок 9. Просеивание песка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 37
------	------	----------	---------	------	--------------------------	------------

Таблица 2 - Форма и номинальные размеры образцов

Метод	Форма образца	Номинальные размеры образца, мм.	Кол-во образцов на весь эксперимент, шт.
Определение прочности на сжатие	Куб	100x100x100	77
Определение прочности на растяжение при изгибе	Призма квадратного сечения	100x100x400	42
Определение истираемости бетона сухим абразивом на круге истирания	Куб	70x70x70	42
Общее кол-во образцов:			<u>161</u>

Пробы бетонной смеси для изготовления контрольных образцов при производственном контроле прочности бетона отбирают в соответствии с требованиями ГОСТ 10181, ГОСТ 18105 и ГОСТ 7473 из рабочего состава бетонной смеси.

Объем пробы бетонной смеси должен превышать требуемый для изготовления всех серий контрольных образцов не менее чем в 1,2 раза.

Отобранная проба бетонной смеси должна быть дополнительно вручную перемешана перед формированием образцов.

Бетонные смеси, содержащие воздухововлекающие и газообразующие добавки, перед формированием образцов не следует дополнительно перемешивать.

Образцы изготавливают в поверенных (калиброванных) формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685.

Перед использованием форм их внутренние поверхности должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона.

Укладку бетонной смеси в форму и ее уплотнение следует проводить не позднее чем через 20 мин после отбора пробы.

Уплотнение бетонной смеси механическими методами проводят с использованием виброплощадки или глубинного вибратора.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 с использованием виброплощадки форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

На образцы непосредственно после их изготовления должна быть нанесена маркировка, идентифицирующая принадлежность образца и дату его изготовления. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

Способ и режим твердения образцов бетона, предназначенных для производственного контроля прочности, следует принимать по ГОСТ 18105.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключающим испарение из них влаги, в помещении с температурой воздуха (20 ± 5) °C.

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 ч и не позднее чем через 72 ч, прочности на растяжение - не ранее чем через 72 ч и не позднее чем через 96 ч.

После распалубливания образцы помещают в камеру с нормальными условиями твердения: с температурой (20 ± 2) °C и относительной влажностью воздуха $(95\pm 5)\%$. Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						39

менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которые он установлен, должна быть не более 30% площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны орошаться водой. Допускается хранение образцов под слоем влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

При транспортировании образцов необходимо предохранять их от повреждений, изменения влажности и замораживания. Прочность бетона образцов к началу их транспортирования должна быть не менее 2,0 МПа.



Рисунок 10. Формы для заливки образцов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	40
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	



Рисунок 11. Хранение образцов в камере нормального твердения.

2.2.Испытания

В помещении для испытания образцов следует поддерживать температуру (20 ± 5) °С и относительную влажность воздуха не менее 55%. Образцы должны быть выдержаны до испытания при указанных условиях в распалубленном виде в течение 24 ч, если они твердели в воде, и в течение 4 ч, если они твердели в воздушно-влажностных условиях или в условиях тепловой обработки.

Образцы, предназначенные для определения передаточной или распалубочной прочности бетона на сжатие в горячем состоянии, а также предназначенные для определения прочности на растяжение, следует испытывать без предварительной выдержки.

Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде трещин, околов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, околы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм (кроме

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

бетона крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат. Наплывы бетона на ребрах опорных поверхностей образцов должны быть удалены абразивным камнем. Результаты осмотра и измерений записывают в журнал испытаний. При наличии дефектов фиксируют схему их расположения.

На образцах выбирают и отмечают опорные грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы. Опорные грани образцов-кубов и образцов-призм, предназначенных для испытания на растяжение при раскалывании, должны быть выбраны так, чтобы оси колюющих прокладок, передающих усилие, были перпендикулярны слоям укладки бетонной смеси.

Плоскость изгиба образцов-призм при испытании на растяжение при изгибе должна быть параллельна слоям укладки.

Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1%. Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в журнал испытаний.



Рисунок 12. Снятие линейных размеров и разметка образца.

Иzm.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
42

Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч.

Перед установкой образца в испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины.

Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

2.2.1. Испытание на сжатие

При испытании на сжатие образцы-кубы и образцы-цилиндры устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту испытательной машины (пресса), или специальное центрирующее приспособление.

Если испытательная машина (или пресс) имеет один шаровой шарнир, радиус которого не обеспечивает поворот опорной плиты в процессе нагружения образца, то рекомендуется для передачи сжимающего усилия по оси образца устанавливать дополнительную опорную плиту с шарниром, обеспечивающим ее поворот. Дополнительную опорную плиту устанавливают так, чтобы плита испытательной машины (пресса) с шарниром и дополнительная опорная плита прилегали к противоположным граням образца.

После установки образца на опорные плиты испытательной машины или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	43
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки ($0,6\pm0,2$ МПа/с).

В случае разрушения образца по одной из неудовлетворительных схем результат не учитывают, о чем делают запись в журнале испытаний.

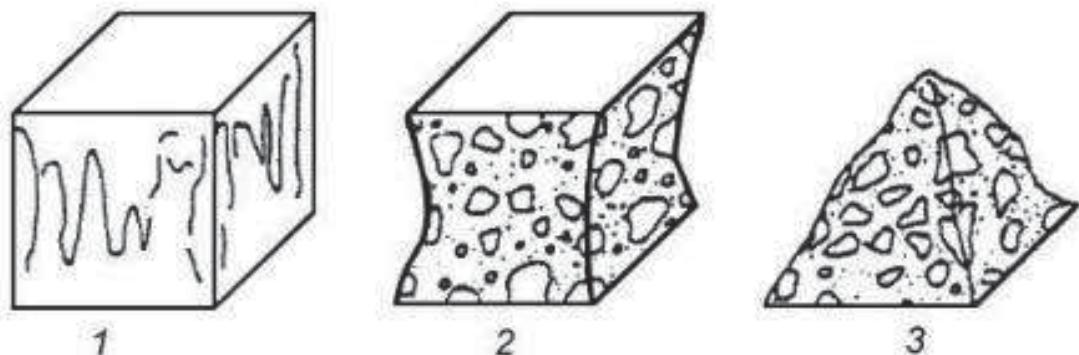


Рисунок 13. Удовлетворительные разрушения образцов-кубов.

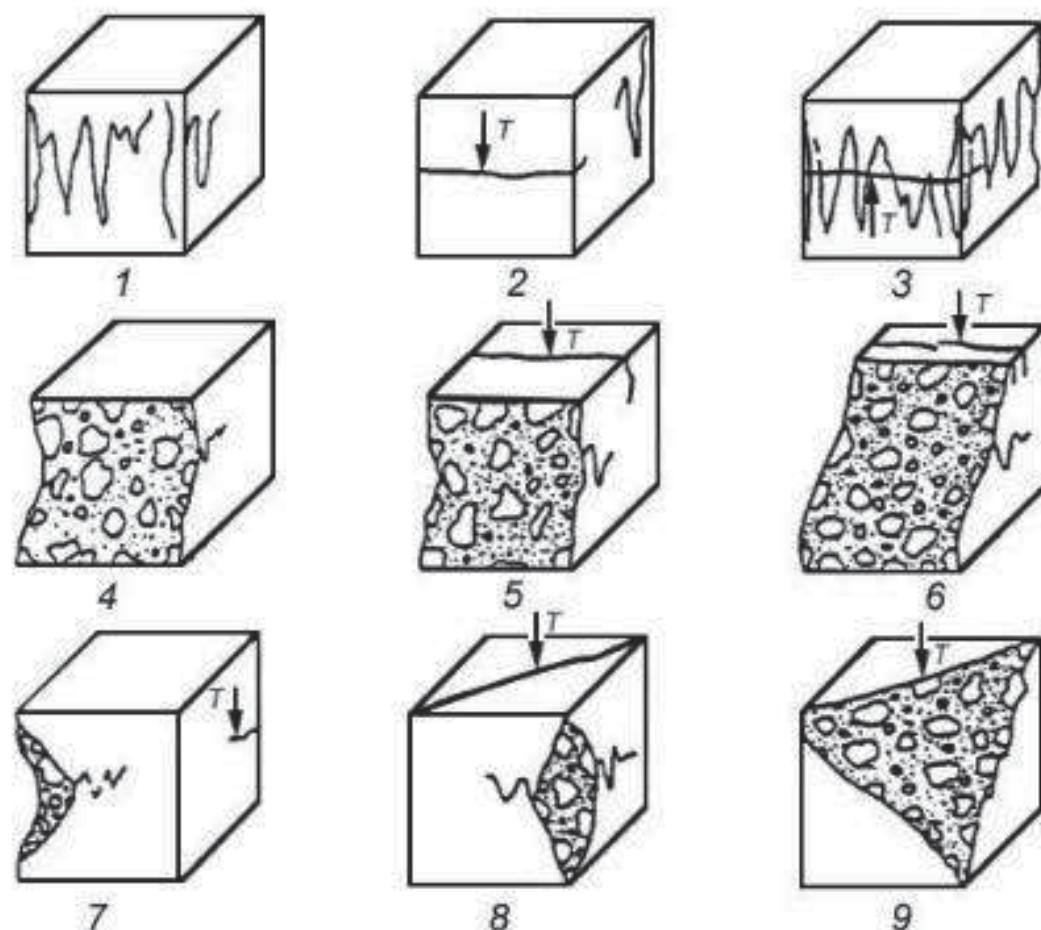


Рисунок 14. Неудовлетворительные разрушения образцов-кубов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					44



Рисунок 15. Испытание образцов кубов 100x100x100.

2.2.2. Испытание на растяжение при изгибе

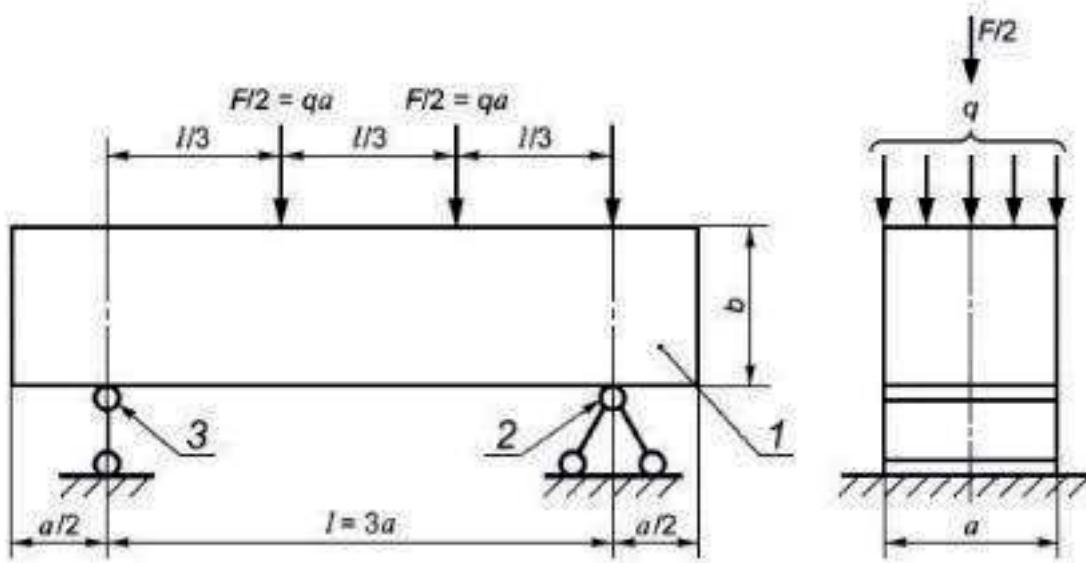
Образец-призму устанавливают в испытательную машину по схеме на рисунке 16 и нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки ($0,05\pm0,01$) МПа/с.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
45



a - ширина и высота образца; F - нагрузка; q - распределенная нагрузка; l - пролет; 1 - образец; 2 - шарнирно-неподвижная опора; 3 - шарнирно-подвижная опора

Рисунок 16. Схема испытания на растяжение при изгибе.

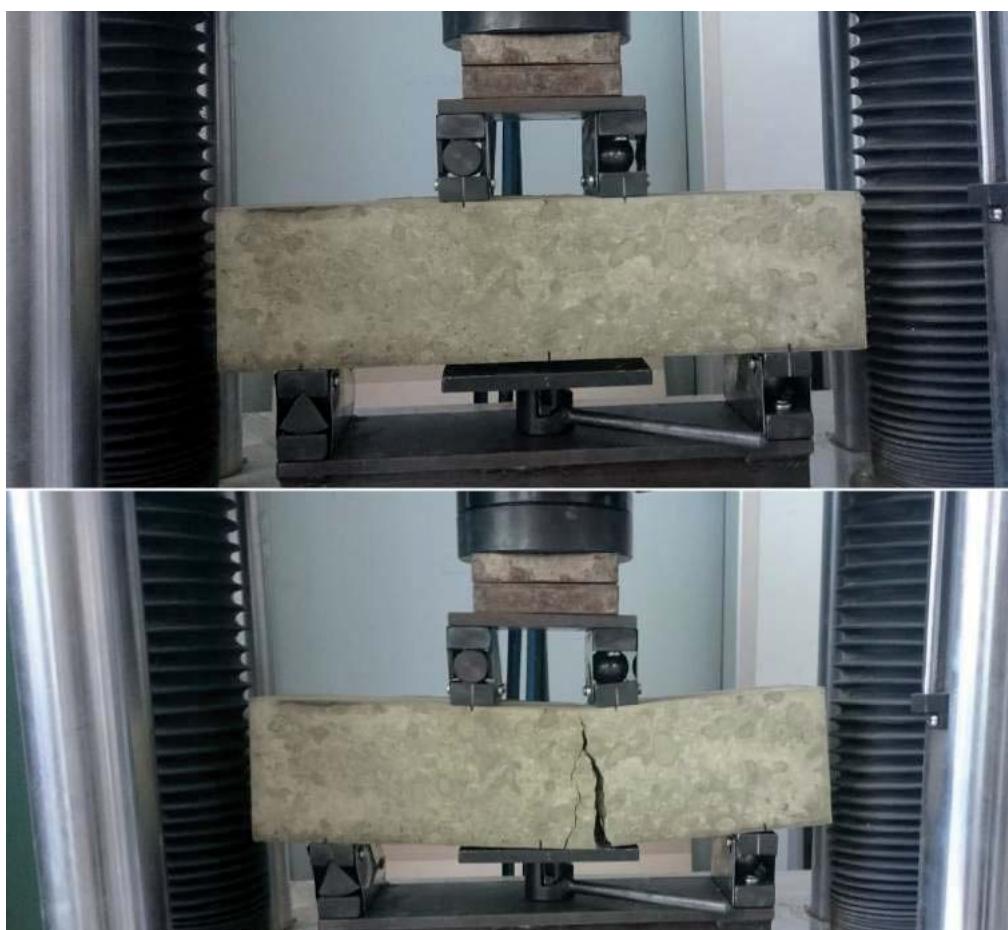


Рисунок 17. Испытание образцов-призм на растяжение при изгибе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
46

2.2.3. Определение истираемости

Истираемость бетона следует определять в возрасте, соответствующем достижению бетоном проектной марки по прочности, если в нормативных документах на изделия или конструкции не предусмотрен другой возраст.

Образцы для испытаний на круге истирания должны иметь форму куба с ребром длиной 70 мм или цилиндра диаметром и высотой 70 мм.

При определении истираемости бетона с зернами заполнителя крупностью до 20 мм образцы изготавливают в формах.

Образцы испытывают сериями. Число образцов в серии должно быть не менее трех.

Массу образцов и их размеры определяют с погрешностью не более 0,2%.

Температура воздуха в помещении, где проводят испытания, должна быть (25 ± 10) °C, а относительная влажность $(50\pm20)\%$.

Круг истирания должен быть оборудован приспособлениями для свободной (в вертикальной плоскости) установки образцов и их загружения вертикальной нагрузкой, а также счетчиком оборотов с автоматическим выключением истирающего диска через каждые 30 м пути истирания.

Шлифзерно 16 по ГОСТ 3647-80 с насыпной плотностью $(1,72\pm0,05)$ г/см должно соответствовать требованиям к маркам 23А или 24А по ОСТ 2 МТ 71-5-78.

Допускается применение вместо шлифзера 16 нормального вольского песка по ГОСТ 6139-91. В этом случае следует экспериментально устанавливать переводные коэффициенты по приложению 1.

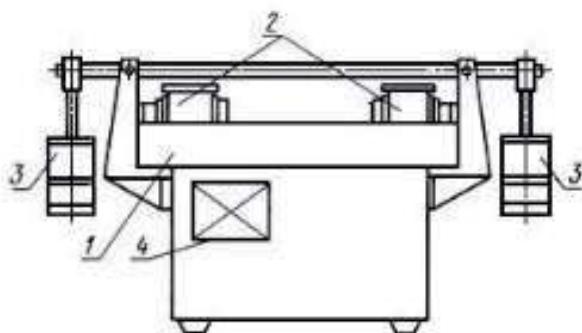
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	47
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Испытание бетона на круге истирания проводят на воздушно-сухих образцах, предварительно выдержаных не менее 2 сут в помещении с температурно-влажностными условиями, либо на образцах, предварительно насыщенных водой по ГОСТ 12730.3-78.

Истиранию подвергают нижнюю грань образца. Перед испытанием образцы взвешивают и измеряют площадь истираемой грани по методике ГОСТ 10180-90.

Отклонение от плоскости поверхности истираемой грани образцов не должно превышать 0,05 мм на 100 мм длины. Отклонение от плоскости определяют по ГОСТ 10180-90.

Боковые грани образцов-кубов, перпендикулярные истираемой грани, перед испытанием нумеруют 1, 2, 3, 4 и в последовательности этой нумерации образец поворачивают при проведении испытаний.



1 - истирающий диск; 2 - испытуемые образцы; 3 - нагружающее устройство; 4 - счетчик оборотов

Рисунок 18. Круг истирания типа ЛКИ-3.

Образцы устанавливают в специальные гнезда круга истирания. После установки проверяют возможность свободного перемещения образцов в гнездах в вертикальной плоскости.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	48
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

К каждому образцу (по центру) прикладывают сосредоточенное вертикальное усилие (300 ± 5) Н, что соответствует давлению (60 ± 1) кПа.

На истирающий диск равномерным слоем насыпают первую порцию (20 ± 1) г шлифзера 16 (на первые 30 м пути истирания каждого образца).

Одновременно на круге истирания типа ЛКИ-3 испытывают - два образца.

После установки образца(ов) и нанесения на истирающий диск абразива включают привод круга и производят истирание.

Через каждые 30 м пути истирания, пройденного образцами (28 оборотов на истирающем круге типа ЛКИ-3 или ЛКИ-2), истирающий диск останавливают. С него удаляют остатки абразивного материала и истертого в порошок бетона и насыпают на него новую порцию абразива и снова включают привод истирающего круга. Указанную операцию повторяют пять раз, что составляет один цикл испытаний (150 м пути испытания).

После каждого цикла испытаний образец(цы) вынимают из гнезда, поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости (вокруг вертикальной оси) и проводят следующие циклы испытаний. Всего проводят 4 цикла испытаний для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м).



Рисунок 19. Круг истирания типа ЛКИ-3.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист

49

2.2.4. Испытание фибры на прочность и на вырыв из бетона.

Совместная работа фибры и матрицы под нагрузкой является объектом многочисленных исследований. В некоторых из них экспериментально-теоретические модели фибробетонных систем основываются на тех допущениях, что фибра и матрица обладают упругостью до самого разрушения, а зона контакта фибра-матрица представляется сплошной и однородной. При этом считается, что распределение растягивающих напряжений в фибре происходит по линейному закону от нулевых значений на концах волокна до максимальных значений на некотором удалении от них, а касательные напряжения на этих же участках считаются постоянными.

Такие допущения, с одной стороны, значительно упрощают понимание процессов, происходящих в фибробетонном материале под действием внешних сил, но в тоже время вполне пригодны для предсказания прочностных характеристик большинства дисперсно армированных цементных систем.

Рассмотрим явление, происходящее при взаимодействии матрицы с короткими прямыми фибрами в процессе растяжения усилием P фибробетонного образца. Для этого выделим из растягиваемого образца элементарную область, состоящую из одного волокна и прилегающего к нему объема матрицы.

Волокно длиной l_f и площадью поперечного сечения S имеет сцепление с матрицей. Под влиянием силы P в контактной зоне системы волокно-матрица возникают касательные по отношению к волокну напряжения.

Для проведения испытаний были нарезаны гладкие и ребристые фибры длинной 10-15 см. Для того чтобы фибра точно порвалась, а не вышла из бетона на концах некоторых фибр были проделаны отверстия, для дополнительного закрепления.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	50
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Так же были подготовлены формы для заливки. После того как все фибры были уложены в форму был приготовлен цементно-песчаного раствора и залит в форму. После чего были провибрированы на виброплощадке.



Рисунок 20. Залитые формы образцов для испытания фибры на прочность.



Рисунок 21. Образец для испытания фибры на прочность.

После того как образцы набрали необходимую прочность, они были подвержены растяжению.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист

51

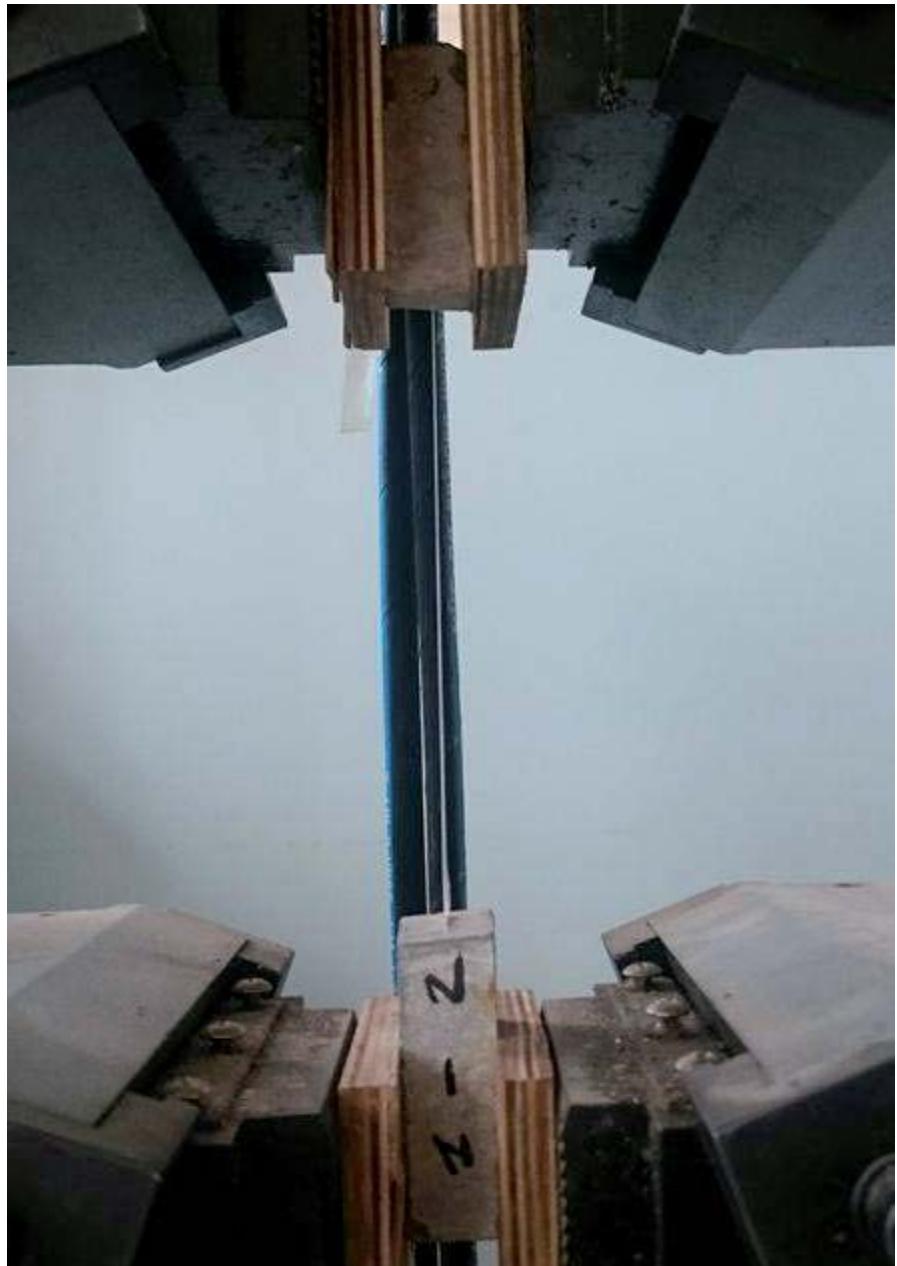


Рисунок 22. Испытание образца фибры на прочность.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

Лист
52

2.3. Обработка результатов испытания

2.3.1. Результаты испытаний на сжатие

На основе результатов, полученных после испытаний образцов бетона, размерами 100x100x100 мм, подсчитываем прочность бетона на сжатие.

Прочность бетона на сжатие R , МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R = \alpha \cdot \frac{F}{A} \cdot K_w \quad (1)$$

где:

F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм^2 ;

α – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания (не применяется).

Результаты испытаний всех образцов представлены ниже в таблицах 3, 4, 5, 6.

Таблица 3 - Результаты испытаний на сжатие образцов бетона без примесей.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм^2	Масштабный коэффициент, α .	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.
	a	b	c				
1	100	99.9	100.9	10079.91	0.95	515100	48.55
2	100.5	100.2	98.3	9849.66	0.95	515716	49.74
3	100	101.1	99.2	10029.12	0.95	476966	45.18
4	100.1	100	97.7	9770	0.95	509819	49.57
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							49.29

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						53

Таблица 4 - Результаты испытаний на сжатие образцов бетона с промышленным флексом.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, α.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.	Масса образца, кг.
	a	b	c					
Образцы 1-1 (25)								
1	100	100	100	10000	0.95	502110	47.70	2.36
2	101	100	101	10100	0.95	475743	44.75	2.44
3	100	101	100	10100	0.95	502543	47.27	2.40
4	100	100	99	9900	0.95	411869	39.52	2.41
5	101	100	100	10000	0.95	479991	45.60	2.38
6	100	101	103	10403	0.95	460972	42.10	2.46
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							46.33	2.41
Образцы 1-2 (50)								
1	99	100	103	10300	0.95	455207	41.99	2.43
2	100	101	100	10100	0.95	405678	38.16	2.42
3	101	100.5	101	10150.5	0.95	407189	38.11	2.44
4	101	100	101.5	10150	0.95	355941	33.31	2.41
5	99.5	101	101.5	10251.5	0.95	397473	36.83	2.43
6	101	100	101	10100	0.95	370488	34.85	2.41
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							38.77	2.42
Образцы 1-3 (75)								
1	99.5	100	99	9900	0.95	380775	36.54	2.31
2	100	100	102	10200	0.95	359038	33.44	2.44
3	101	101	101	10201	0.95	383291	35.70	2.45
4	99	100	100	10000	0.95	408197	38.78	2.34
5	100	100	101	10100	0.95	395601	37.21	2.39
6	100	100	102	10200	0.95	358390	33.38	2.42
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							37.06	2.39

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						54

Таблица 5 - Результаты испытаний на сжатие образцов бетона с гладкой фиброй.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Маштабный коэффициент, α.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.	Масса образца, кг.
	a	b	c					
Образцы 2-1								
1	99.9	100.8	101.1	10190.88	0.95	510106	47.55	2.446
2	99.9	100.3	101.7	10200.51	0.95	485030	45.17	2.47
3	100.9	99.9	101.1	10099.89	0.95	452465	42.56	2.456
4	99.7	100.2	99.6	9979.92	0.95	510318	48.58	2.4
5	100.2	99	102.5	10147.5	0.95	524657	49.12	2.472
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>47.61</u>	2.45
Образцы 2-2								
1	100.6	99	99.9	9890.1	0.95	439435	42.21	2.38
2	100.7	100.6	101.6	10220.96	0.95	509456	47.35	2.446
3	101.3	100	101.8	10180	0.95	466805	43.56	2.424
4	100.6	99.4	100.5	9989.7	0.95	407333	38.74	2.382
5	99.6	100.1	101.6	10170.16	0.95	462988	43.25	2.356
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>44.09</u>	2.40
Образцы 2-3								
1	101	99.7	100.3	9999.91	0.95	436836	41.50	2.418
2	99.9	99	100.4	9939.6	0.95	368836	35.25	2.376
3	100.5	99.5	98.9	9840.55	0.95	432883	41.79	2.384
4	99.8	100.6	99.7	10029.82	0.95	404309	38.30	2.402
5	99.8	100	101.1	10110	0.95	430364	40.44	2.43
6	100.9	99.6	99.2	9880.32	0.95	328301	31.57	2.386
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>39.46</u>	2.40
Образцы 2-4								
1	100.1	100.7	100	10070	0.95	485823	45.83	2.376
2	101	99.3	100.4	9969.72	0.95	471991	44.98	2.42
3	100.6	100	98.3	9830	0.95	469823	45.41	2.364
4	101.1	100.1	97.7	9779.77	0.95	369828	35.92	2.338
5	100.5	100	99	9900	0.95	490076	47.03	2.406
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>45.81</u>	2.38
Образцы 2-5								
1	100	100.6	99.8	10039.88	0.95	477613	45.19	2.396
2	100.8	100.6	99.9	10049.94	0.95	484674	45.82	2.434
3	99.2	100.8	99.2	9999.36	0.95	443753	42.16	2.36
4	100	100.7	100.6	10130.42	0.95	475956	44.63	2.438
5	100	100.8	100.5	10130.4	0.95	469544	44.03	2.398
6	100.2	100.8	100.9	10170.72	0.95	473867	44.26	2.424
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>44.79</u>	2.41

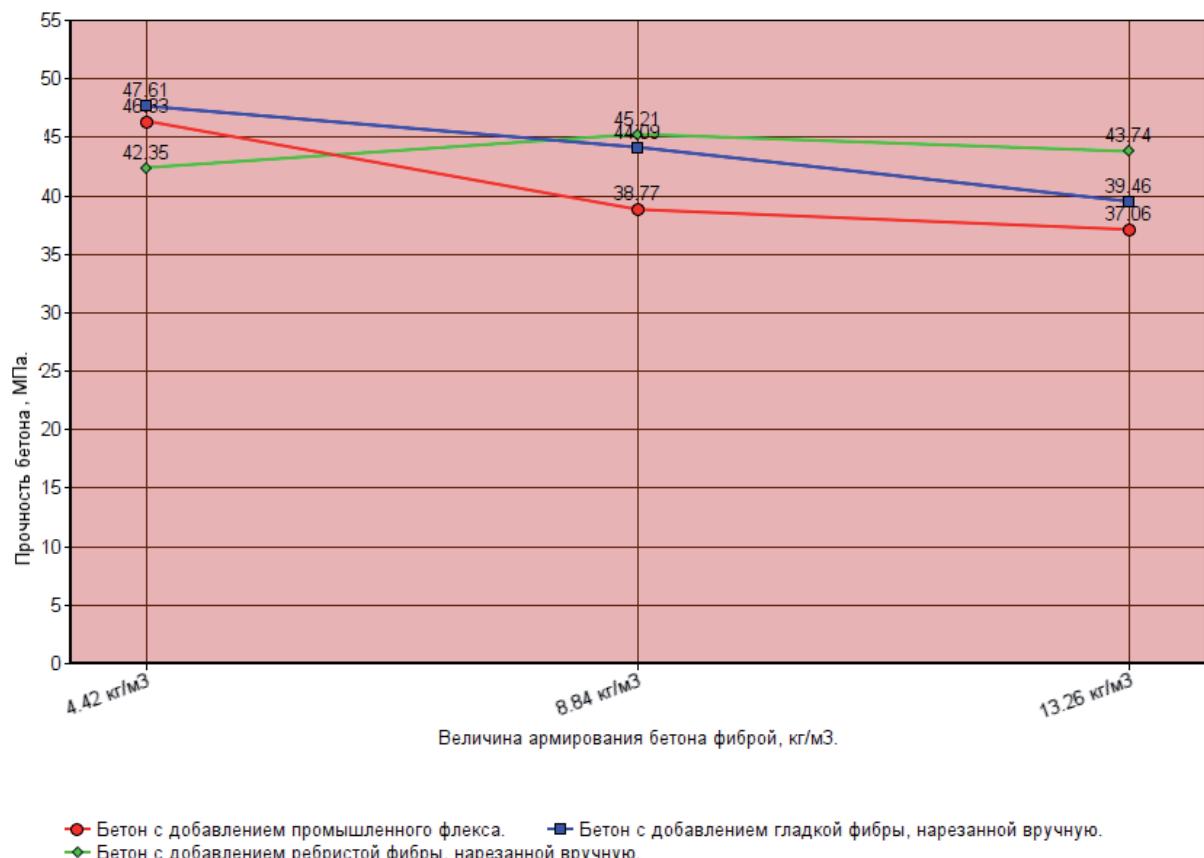
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						55

Таблица 6 - Результаты испытаний на сжатие образцов бетона с ребристой фиброй.

№ п/ п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, α.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.	Масса образца, кг.
	a	b	c					
Образцы 3-1								
1	100.1	99.9	99	9890.1	0.95	456931	43.89	2.364
2	99.9	100.5	99.2	9969.6	0.95	456936	43.54	2.372
3	101.3	100.3	99.4	9969.82	0.95	418419	39.87	2.378
4	100.2	100.8	99.3	10009.44	0.95	389195	36.94	2.346
5	100.3	100.4	100.4	10080.16	0.95	446563	42.09	2.402
Среднеарифметическое значение прочности:							42.35	2.37
Образцы 3-2								
1	100.7	100.9	100.7	10160.63	0.95	469328	43.88	2.43
2	101.5	100.1	98.9	9899.89	0.95	437061	41.94	2.352
3	101.3	99.3	98.2	9751.26	0.95	472428	46.03	2.37
4	100	99.6	100	9960	0.95	469330	44.77	2.416
5	101.2	99.3	100.4	9969.72	0.95	504632	48.09	2.43
6	100.8	99.8	98.3	9810.34	0.95	446851	43.27	2.34
Среднеарифметическое значение прочности:							45.21	2.39
Образцы 3-3								
1	100.5	100.4	99.2	9959.68	0.95	473795	45.19	2.414
2	101.2	100.6	100.9	10150.54	0.95	475598	44.51	2.454
3	101.2	100	97.9	9790	0.95	453262	43.98	2.388
4	99.9	101.1	103.6	10473.96	0.95	463710	42.06	2.458
5	100.2	101	99.8	10079.8	0.95	455497	42.93	2.432
6	101	100.1	101.2	10130.12	0.95	448652	42.07	2.46
Среднеарифметическое значение прочности:							43.74	2.43
Образцы 3-4								
1	100.1	100	98.3	9830	0.95	455569	44.03	2.37
2	100.4	100.2	100.5	10070.1	0.95	477904	45.08	2.418
3	100.4	100.1	100.1	10020.01	0.95	441885	41.90	2.394
4	100.4	100.3	103.6	10391.08	0.95	439509	40.18	2.476
5	101	100.1	99.4	9949.94	0.95	412011	39.34	2.402
Среднеарифметическое значение прочности:							42.80	2.41
Образцы 3-5								
1	100.6	99.3	101.1	10039.23	0.95	457946	43.33	2.438
2	100.7	100.1	103.4	10350.34	0.95	451749	41.46	2.478
3	101	100.1	99.8	9989.98	0.95	452687	43.05	2.414
4	101.3	100.3	97.5	9779.25	0.95	424538	41.24	2.358
5	100.7	99.5	100.8	10029.6	0.95	479848	45.45	2.418
6	101.2	100.3	100.6	10090.18	0.95	451173	42.48	2.402
Среднеарифметическое значение прочности:							43.16	2.42

На основе полученных экспериментальных данных составляем графики зависимости прочности бетона на сжатие от различных факторов.

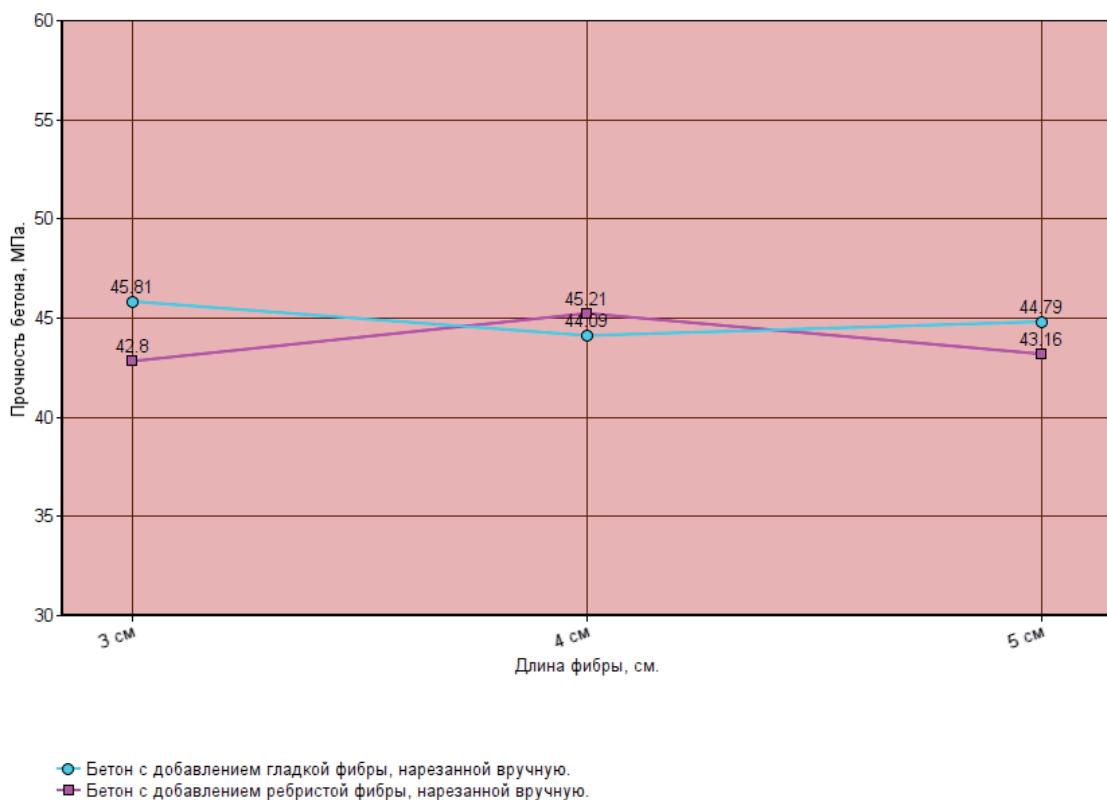
График 1 - зависимость значения прочности бетона на сжатие от величины армирования



Как и предполагалось, образцы, при увеличении величины армирования, снижают свою прочность на сжатие. Только наименьше армированные образцы с ребристой фиброй показали прочность на сжатие ниже, чем образцы с увеличенных армированием.

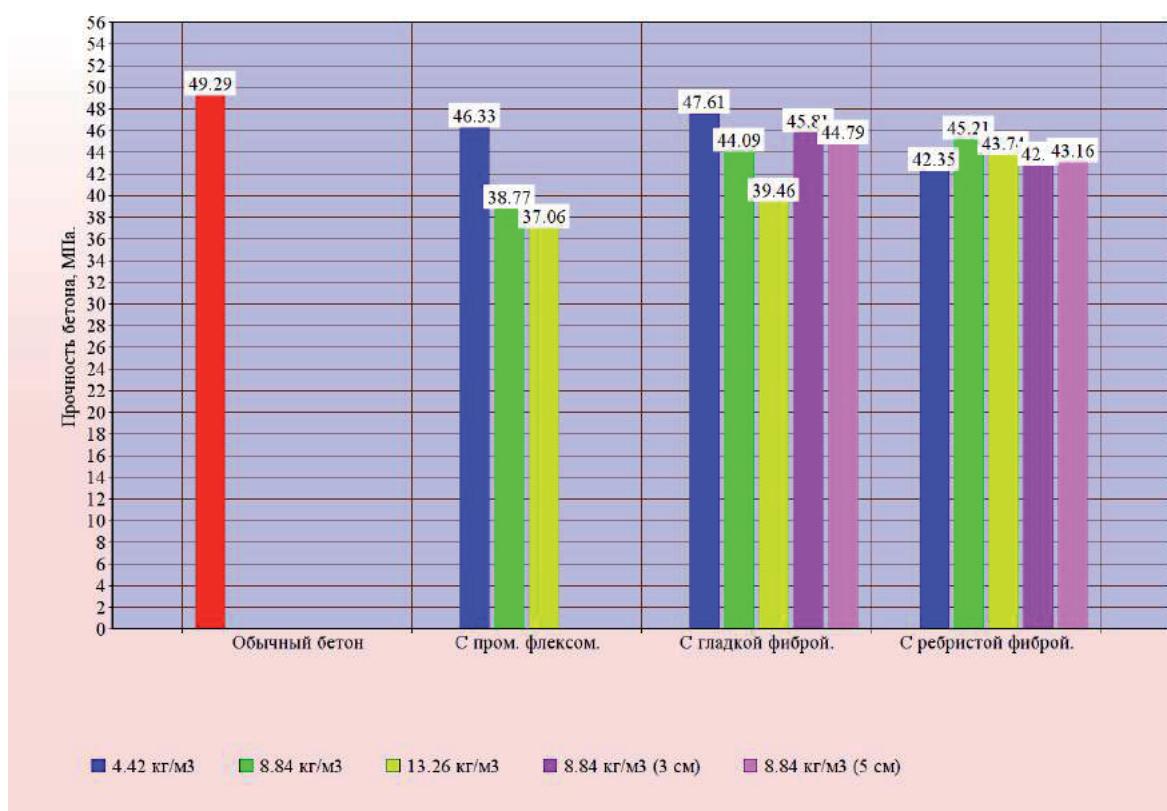
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

График2 - зависимость значения прочности бетона на сжатие от длины фибры



По графику 2 видно что результаты прочности на сжатие образцов бетона с фиброй отличающейся по длине находятся в пределе от 42 до 46 МПа.

Диаграмма 1 - сравнение прочности бетона на сжатие



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

По диаграмме 2 наблюдаем, что все образцы добавлением фибры показали уменьшение прочности на сжатие по сравнению с образцами без добавок. В процентах ухудшение идет от 3 до 25%.

2.3.2. Результаты испытаний на растяжение при изгибе

На основе результатов, полученных после испытаний образцов бетона, размерами 400x100x100 мм, подсчитываем прочность бетона на растяжение при изгибе.

Прочность бетона на сжатие R , МПа, вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле

$$R_{tb} = \delta \cdot \frac{F \cdot l}{a \cdot b^2} \cdot K_w \quad (2)$$

где:

F – разрушающая нагрузка, Н;

a , b , l – ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами соответственно при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм^2 ;

δ – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания (не применяется).

Результаты испытаний всех образцов представлены ниже в таблицах 7, 8, 9, 10.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	59
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

Таблица 7 - Результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов бетона без примесей.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, δ.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.
	a	b	c				
1	400	100	101	10100	0.92	12720	3.44
2	400	100	100	10000	0.92	13610	3.76
3	400	100	102	10200	0.92	12440	3.30
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>3.60</u>

Таблица 8 - Результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов бетона с промышленным флексом.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, δ.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.
	a	b	c				
Образцы 1-1 (25)							
1	400	100	100	10000	0.92	16740	4.62
2	400	100	99	9900	0.92	18050	5.08
3	400	100	100	10000	0.92	20560	5.67
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>5.38</u>
Образцы 1-2 (50)							
1	400	100	101	10100	0.92	15330	4.15
2	400	100	97	9700	0.92	8700	2.55
3	400	100	99	9900	0.92	13610	3.83
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>3.99</u>
Образцы 1-3 (75)							
1	400	100	100	10000	0.92	11300	3.12
2	400	99.5	99	9850.5	0.92	9000	2.55
3	400	99	101	9999	0.92	11370	3.11
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							<u>3.11</u>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						60

Таблица 9 - Результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов бетона с гладкой фиброй.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, δ.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.
	a	b	c				
Образцы 2-1							
1	400	100	98	9800	0.92	21920	6.30
2	400	100	96	9600	0.92	16180	4.85
3	400	99	99	9801	0.92	15600	4.44
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							
Образцы 2-2							
1	400	101	96	9696	0.92	15780	4.68
2	400	99	95	9405	0.92	14980	4.63
3	400	100	96	9600	0.92	13620	4.08
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							
Образцы 2-3							
1	401	101	98	9898	0.92	14160	4.03
2	400	100	99	9900	0.92	13300	3.75
3	400	101	98	9898	0.92	14680	4.18
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							
Образцы 2-4							
1	401	100	97	9700	0.92	14800	4.34
2	401	100	95	9500	0.92	11530	3.53
3	400	100	99	9900	0.92	14360	4.04
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							
Образцы 2-5							
1	400	100	98	9800	0.92	13830	3.97
2	401	101	99	9999	0.92	16530	4.61
3	401	100	97	9700	0.92	15560	4.56
<i>Среднеарифметическое значение прочности:</i>							

Таблица 10 - Результаты испытаний на растяжение при изгибе образцов бетона с ребристой фиброй.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, мм ²	Масштабный коэффициент, δ.	Разрушающая нагрузка, Н.	Прочность бетона, МПа.
	a	b	c				
Образцы 3-1							
1	400	100.5	98	9849	0.92	20040	5.73
2	401	100	98	9800	0.92	18050	5.19
3	400	100	97	9700	0.92	18030	5.29
Среднеарифметическое значение прочности: <u>5.46</u>							
Образцы 3-2							
1	401	100	98	9800	0.92	16190	4.65
2	401	101	99	9999	0.92	14700	4.10
3	401	101	99	9999	0.92	14980	4.18
Среднеарифметическое значение прочности: <u>4.41</u>							
Образцы 3-3							
1	401	100	97	9700	0.92	15360	4.51
2	401	100	100	10000	0.92	14490	4.00
3	401	100	98	9800	0.92	15480	4.45
Среднеарифметическое значение прочности: <u>4.48</u>							
Образцы 3-4							
1	400	102	99	10098	0.92	17340	4.79
2	400	101	98	9898	0.92	17320	4.93
3	400	99	96	9504	0.92	15030	4.55
Среднеарифметическое значение прочности: <u>4.86</u>							
Образцы 3-5							
1	400	101	99	9999	0.92	14970	4.17
2	400	100	100	10000	0.92	16240	4.48
3	400	101	98	9898	0.92	15640	4.45
Среднеарифметическое значение прочности: <u>4.47</u>							

На основе полученных экспериментальных данных составляем графики зависимости прочности бетона на растяжение при изгибе от различных факторов.

График 3 - зависимость значения прочности бетона на растяжение при изгибе от величины армирования

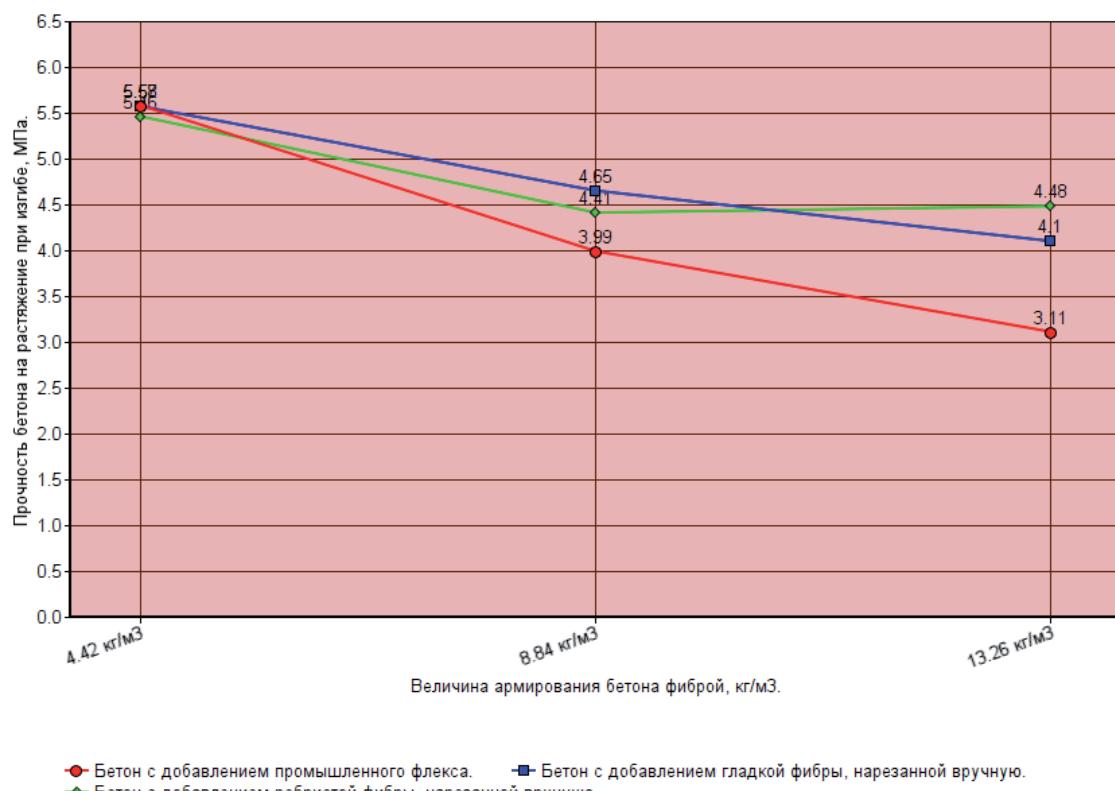
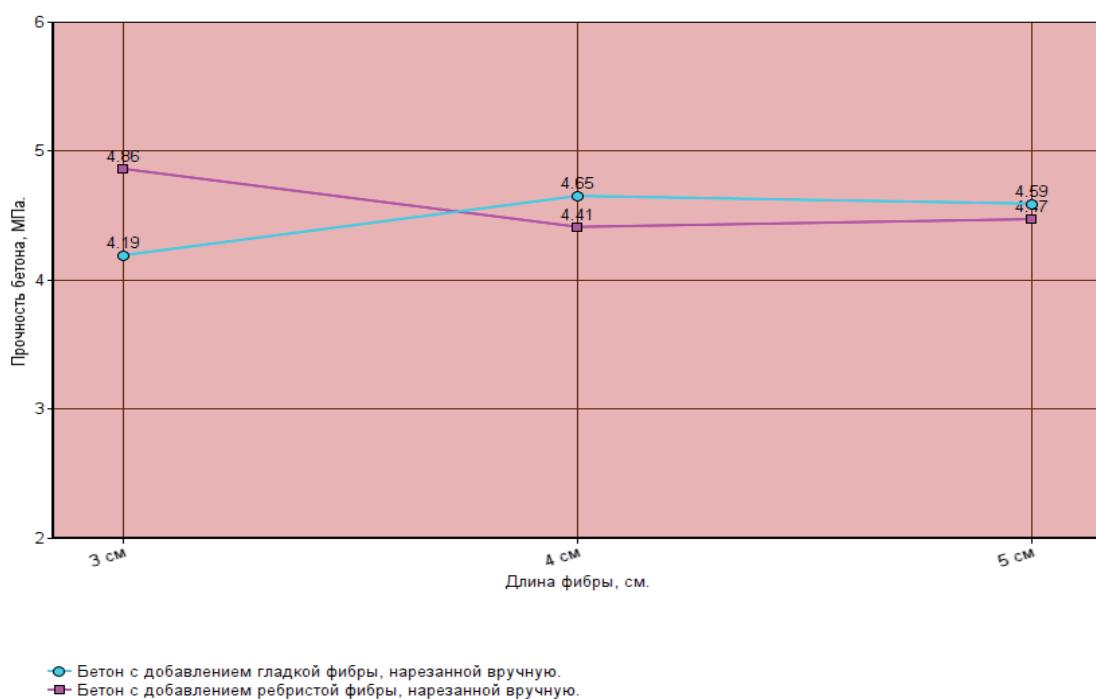


График 3 показывает, что так же как и при испытаниях на сжатие прочность уменьшается прямоопропорционально увеличению величины армирования бетона.

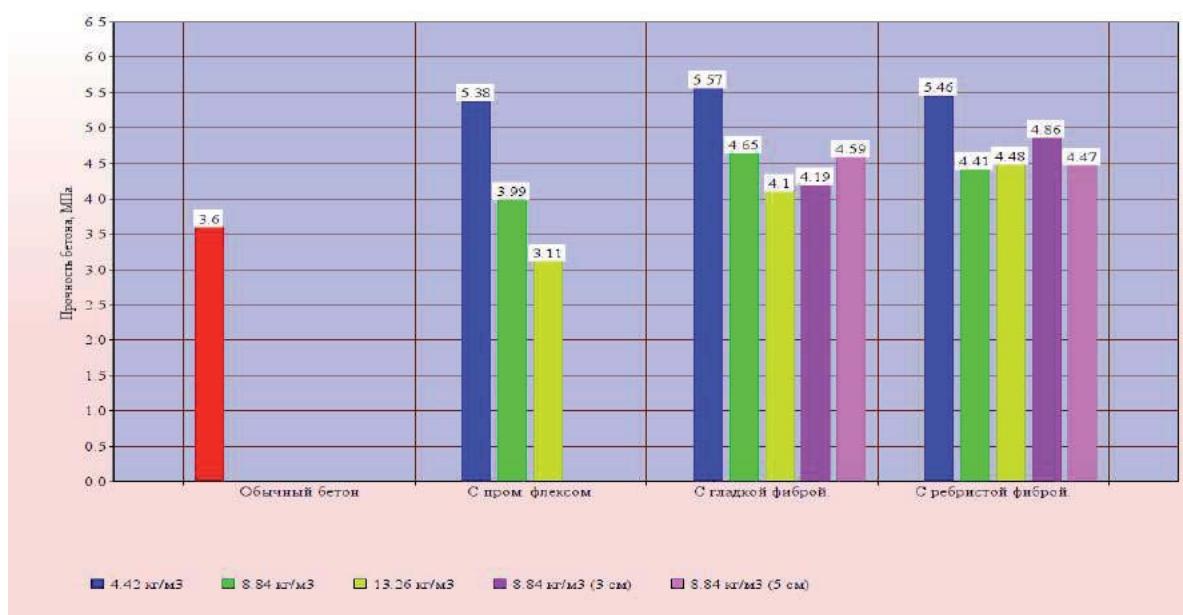
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

График 4 - зависимость значения прочности бетона на растяжение при изгибе от длины фибры



По графику 4 видно что результаты прочности на растяжение при изгибе образцов бетона с фиброй отличающейся по длине находятся в пределе от 4 до 5 МПа. Наибольший показатель прочности показали образцы с ребристой фиброй при длине 3 см, и эта прочность равна 4,86 МПа. Наименьший показатель прочности показали образцы с гладкой фиброй длиной 3 см с показателем прочности 4,19 МПа.

Диаграмма 2 - сравнение прочности бетона на растяжение



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

По диаграмме 2 наглядно видно, что все образцы, кроме образцов с промышленным флексом при наибольшей величине армирования, показали увеличение прочности по сравнению с образцами бетона без добавления фибры. Образцы бетона с добавлением промышленного флекса при наибольшей величине армирования показал снижение прочности на растяжение при изгибе на 13%. Увеличение прочности остальных образцов находится в пределах от 10 до 55 %.

2.3.3. Результаты испытаний бетона на истираемость

На основе результатов, полученных после испытаний образцов бетона, размерами 70x70x70 мм, подсчитываем истираемость бетона.

Истираемость бетона на круге истирания G_i в $\text{г}/\text{см}^2$, характеризуемую потерей массы образца, определяют с погрешностью до $0,1 \text{ г}/\text{см}^2$ для отдельного образца по формуле

$$G_i = \frac{m_1 - m_2}{F} \quad (3)$$

где

m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после 4 циклов испытания, г;

F – площадь истираемости грани образца, см^2 .

Результаты испытаний всех образцов представлены ниже в таблице 11.

Таблица 11 - Результаты испытаний образцов бетона на истираемость.

№ п/п	Размер, мм.			Площадь рабочего сечения образца, см^2	Начальная масса образца, г.	Масса образца после испытания, г.	Истираемость бетона, $\text{г}/\text{см}^2$.
	a	b	c				
№0							
1	71.1	70.4	62.7	50.0544	734	710	0.48
2	70.4	71.7	60.3	50.4768	702	674	0.55
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.52</u>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					65

№1-1							
1	70.1	71.3	73.2	49.9813	874	844	0.60
2	70.4	71.2	71.2	50.1248	844	820	0.48
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.54</u>
№1-2							
1	70.8	70.8	72.4	50.1264	860	832	0.56
2	70.9	70.8	73.8	50.1972	886	858	0.56
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.56</u>
№1-3							
1	70.1	69.5	70.4	48.7195	832	806	0.53
2	70.6	70	72.2	49.42	858	830	0.57
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.55</u>
№2-1							
1	71.2	70.2	73.4	49.9824	848	822	0.52
2	71.3	69.6	72.1	49.6248	848	820	0.56
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.54</u>
№2-2							
1	68.3	71	68.8	48.493	796	770	0.54
2	70.8	70.5	72.8	49.914	830	800	0.60
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.57</u>
№2-3							
1	70	70.4	69.2	49.28	834	812	0.45
2	69.6	71.5	74.3	49.764	858	836	0.44
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.44</u>
№2-4							
1	70.5	70.4	70.6	49.632	848	822	0.52
2	70.1	71.4	68.6	50.0514	822	790	0.64
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.58</u>
№2-5							
1	70.1	70.8	72.1	49.6308	850	818	0.64
2	70.4	71.1	71.4	50.0544	850	820	0.60
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.62</u>
№3-1							
1	71.7	70.6	70.4	50.6202	834	810	0.47
2	71.5	70.1	71	50.1215	842	816	0.52
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.50</u>
№3-2							
1	71.2	71.5	70.6	50.908	848	818	0.59
2	70.9	71.3	71.9	50.5517	848	820	0.55
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.57</u>
№3-3							
1	69.8	70.5	72.8	49.209	872	848	0.49
2	70.3	71.4	68.4	50.1942	796	772	0.48
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.48</u>

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

№3-4							
1	71.2	70.6	69.9	50.2672	844	814	0.60
2	70.8	71.2	73.4	50.4096	884	852	0.63
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.62</u>
№3-5							
1	70.6	71.7	70.1	50.6202	854	822	0.63
2	71.8	71.3	69.9	51.1934	854	824	0.59
<i>Среднеарифметическое значение истираемости:</i>							<u>0.61</u>

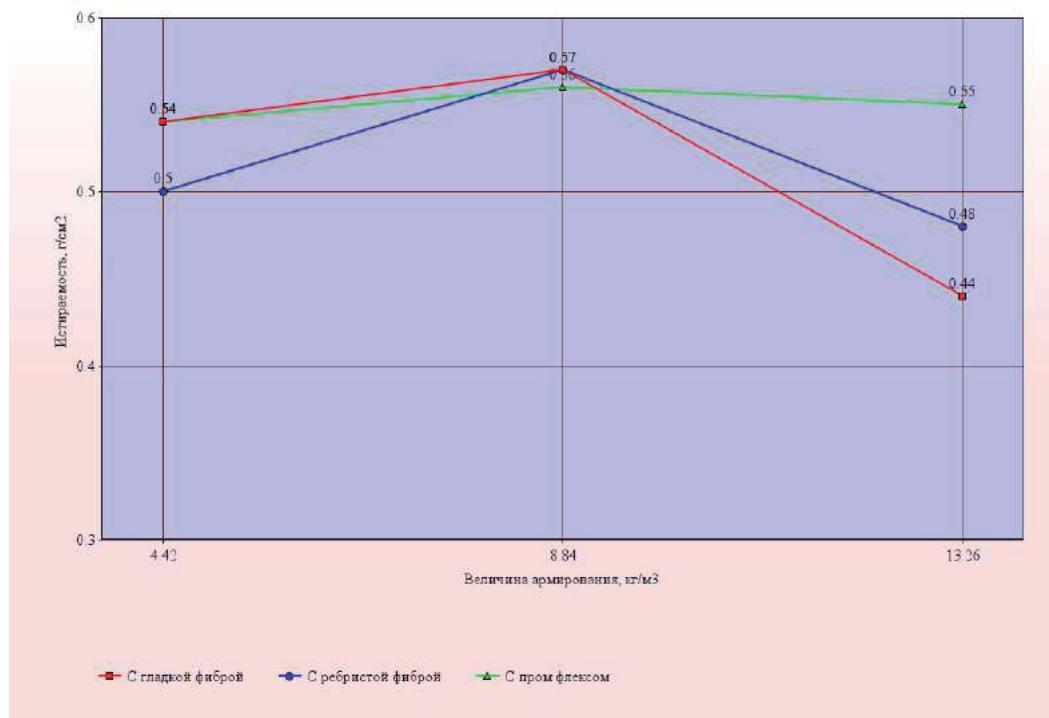
На основе полученных экспериментальных данных составляем графики зависимости истираемости бетона от различных факторов.

График 5 - зависимость значения истираемости бетона от длины фибры



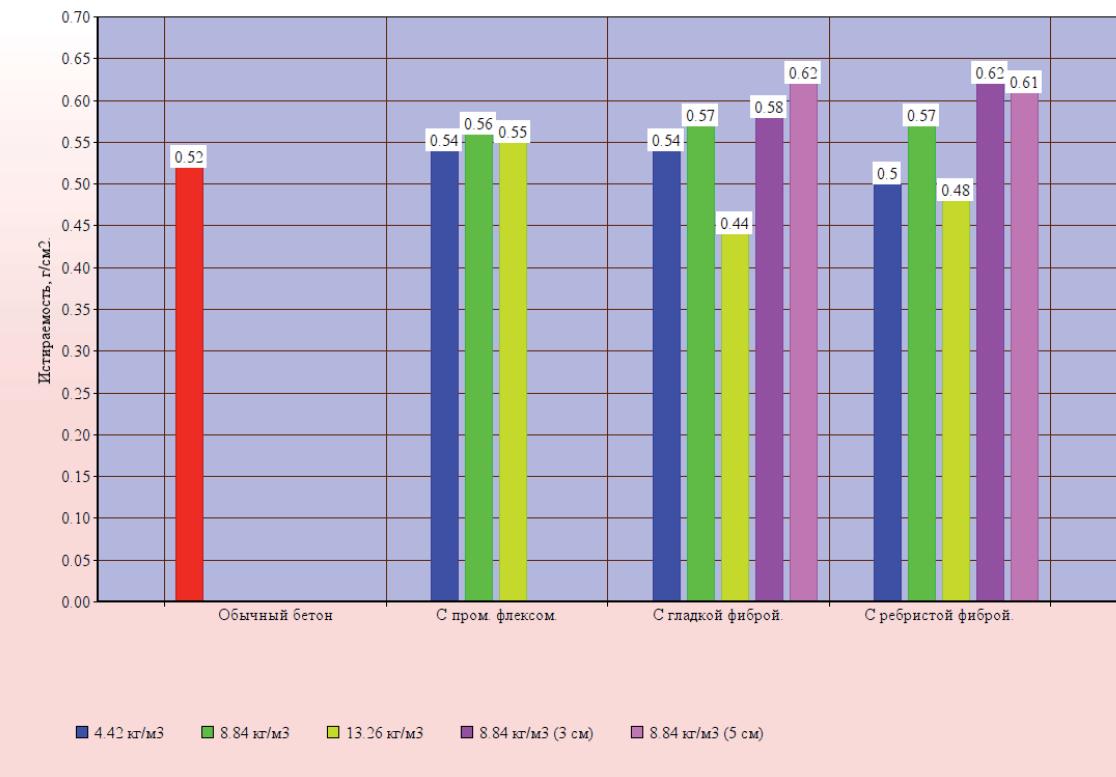
Наименьшее значение истираемости бетона показали образцы с длинной фибры в 4 см.

График 6 - зависимость значения истираемости бетона от величины армирования



По графику 6 видим что показатель истираемости достигает наибольших результатов в образцах со средней величиной армирования. И наименьших результатов при наибольшей величине армирования.

Диаграмма 3 - сравнение истираемости бетона



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Но по сравнению с образцами бетона без добавок практически все образцы показали увеличение показателя истираемости. Только образцы с гладкой и ребристой фиброй при наибольшем армировании показали значение истираемости бетона ниже чем бетон без добавок.

2.3.4. Результат испытаний фибры на прочность

После проведения испытаний получили следующие результаты:

- Фибра рвется при нагрузке $R = 200\text{H}$;
- Фибра вышла из тела бетона без разрушения при нагрузке в $\sigma = 110\text{H}$.

Далее ведем расчет по формулам:

$$P_{\text{выт}} = \sigma \cdot S \quad (4)$$

где S – площадь поперечного сечения фибры, мм^2 ;

$$P_3 = \tau \cdot u \cdot l \quad (5)$$

где τ – касательные напряжения;

u – периметр поперечного сечения фибры, мм ;

l – длина фибры, которая находится в бетоне, мм .

Из формулы 4 найдем сопротивлении фибры разрыву:

$$\sigma = \frac{P_{\text{выт}}}{S} = \frac{200 \text{ H}}{0.1 \text{ mm}^2} = 2000 \frac{\text{H}}{\text{mm}^2}$$

Из формулы 5 найдем касательные напряжения:

$$\tau = \frac{P_3}{u \cdot l} = \frac{100 \text{ H}}{2 \cdot 5.52 \text{ mm} \cdot 23 \text{ mm}} = 0.43 \frac{\text{H}}{\text{mm}^2}$$

Чтобы фибра не выходила из тела бетона, а рвалась приравняем формулы 4 и 5 и найдем критическую длину половины фибры.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						69

$$l_x = \frac{\sigma \cdot S}{\tau \cdot u} = \frac{2000 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \cdot 0.1 \text{ мм}^2}{0.43 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \cdot 2 \cdot 5.52 \text{ мм}} = 42.13 \text{ мм}$$

Тогда длина всей фибры будет:

$$l_{\phi} = 2 \cdot l_x = 42.13 \text{ мм} \cdot 2 = 84.26 \text{ мм}$$

Таким образом вытягивание фибры из контактной зоны матрицы не произойдет, если фибра будет не короче 8.426 см.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР

3. Заключение

После всех проведенных испытаний на определение прочности бетона на сжатие и растяжение при изгибе, а так же на определение истираемости бетона и определения прочности фибры можно сказать, что результаты получились неоднозначными.

При явном увеличении показателя прочности на растяжения при изгибе, которое достигает 10-55%, получили понижение показателя прочности на сжатие, которое достигает 3-25%. Наиболее благоприятное соотношение увеличения показателя прочности на растяжения при изгибе и понижения показателя прочности на сжатие, получилось в бетоне с добавлением гладкой фибры длиной 4 см при наименьшей величине армирования, 55% -увеличение показателя прочности на растяжение при изгибе и 3% - понижение показателя прочности на сжатие. Наиболее неблагоприятное соотношение – у бетона с добавлением промышленного флекса из ПЭТ при наибольшей величине армирования, где в обоих испытаниях мы получили понижение прочности, 13% -понижение показателя прочности на растяжение при изгибе и 25% - понижение показателя прочности на сжатие.

Значительного понижения показателя истираемости бетона показали только образцы с гладкой и ребристой фиброй, нарезанной вручную, при наибольшей величине армирования бетона (15% и 7% соответственно).

Была подсчитана критическая длина фибры, равная 8,426 см, при которой вытягивание фибры из контактной зоны матрицы не произойдет. Такая длина фибры вступает в противоречие с технологией введения фибр в бетон, его приготовления, транспортирования и укладки в конструкции. Поэтому вариант бетона с ребристой фиброй, который практически не уступает по прочности бетону с гладкой фиброй, благоприятнее из-за возможности уменьшения длины фибры за счет различных форм анкеров на боковой поверхности.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						71

Так же стоит отметить, что при испытаниях образцов-призм с добавлением гладкой и ребристой фибры, нарезанной вручную, размерами 400x100x100мм, на растяжение при изгибе, было замечено, что при потери прочности образца, он практически не терял показателей устойчивости и держал свою форму и собственный вес, после того как нагрузка была убрана.

Считаю, что применение ПЭТ-фибры возможно, в неответственных конструкциях, которым нужно увеличение прочности на растяжение при изгибе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист 72

Список использованных источников

1. Евсеев, Б.А. Сталефибробетон: свойства, материалы и технология приготовления: учебное пособие/ Б.А. Евсеев. – Челябинск: ООО «Аксиома печати», 2011. – 35 с.
2. Современные строительные технологии: монография/ под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 268 с.:ил.
3. Иванова О.А., Реховская Е.О. Утилизация и переработка пластиковых отходов// Молодой ученый. – 2015. - №21. – С. 54-56.
4. Киянец, А.В. Расчет истираемости бетона/ А.В. Киянец//Материалы 67-й научной конференции. – 2014.
5. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М., 2013. – 35с.
6. ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости. – М., 1982. – 8с.
7. ГОСТ 3647-80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля. – М., 1982. – 18с.
8. Руководство по подбору составов тяжелого бетона/ НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 103 с.
9. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. – 2013. – 6 с.
10. Гафарова Н.Е. Фибробетон для монолитного строительства// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. - №3-1. – с. 11-14.
11. Jose Bezerra Da Silva. Study of concrete dosage with use of pet partially replacing fine aggregate – 10с.
12. Nabajyoti Saikia. Waste Polyethylene Terephthalate as an Aggregate in Concrete. 2012 – 10с.
13. Daniel Wilinski. Application of fibres from recycled PET bottles for concrete reinforcement. 2016 – 9с.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	73
					08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	

14. Shawkat MaqBool. Effect of PET fibers on the Performance of concrete. 2016 – 5c.
15. Mastan Vali N. Pet bottle waste as a supplement to concrete fine aggregate. 2017 – 11c.
16. R.N. Nibudey. Compressive strength and sorptivity properties of pet fiber reinforced concrete. 2014 – 11c.
17. Francisco Casanova-del-Angel. Manufacturing light concrete with pet Aggregate. 2012 – 12 c.
18. Петов Н.А. Применение вторичного полиэтилентерефталата// Полимерные материалы. -2010.-№4-5.-с. 74-78.
19. ГОСТ 21445-84. Материалы и инструменты абразивные. - М., 1993. - 25с.
20. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных и горных пород для строительных работ. Технические условия. – М: Стандартинформ, 2010.
21. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015.
22. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012.
23. Крылов Б.А. Фибробетон и его применение в строительстве М.: Стройиздат, 1979. – 173 с.
24. Крылов Б.А. Фибробетон и фибробетон за рубежом: Обзор. – ЦНИИС. – М., 1979. – с. 8-12.
25. Исследования в области фибробетона с различными волокнами// Сер. 7. Строительные материалы и изделия: Экспресс информ./ ВНИИС Госстроя СССР. – 1982. – Вып. 10. – с.12.
26. Ахмеднабиев Р.М., Калиман А.М., Кравчук Н.Ю. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА ФИБРОБЕТОНОВ // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XXII междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2013.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист
					74

27. Технические условия 132300.00.000. Камера пропарочная универсальная
КПУ-1М.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2018.276.ПЗ ВКР	Лист
						75