Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона

В.И. Клещевникова[1], А.С. Логвинова[2], С.В. Беляева[3]

[1-3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье обзор

Аннотация *В данной статье рассматриваются различные виды дисперсной арматуры, а именно стальная и полипропиленовая фибры, углеволокно и углеродные нанотрубки, базальтовые и стеклянные волокна, применяемые для изготовления фибробетона и высокопрочного бетона. Описаны достоинства, недостатки и возможные сложности использования каждого из видов волокон, а также способы предотвращения этих проблем. Кроме того, несколько способов приготовления фибробетона, а именно введения фибры в бетонную смесь, приведены в данной статье. Сделаны выводы о том, что важно учитывать при выборе фибры, как избежать проблем, возникающих при использовании армирующих волокон и какой вид фибры предпочтительнее для высокопрочного бетона. Приведены сравнительные характеристики по прочности, модулю упругости, относительному удлинению и плотности материалов, используемых для изготовления фибры.*

Ключевые слова: дисперсное армирование, фибра, фибробетон, высокопрочный бетон, строительство

Содержание

1. Введение 60
2. Обзор существующих видов дисперсной арматуры 60
3. Заключение 66

Контактный автор:
1. +79117840398, varyakl@mail.ru (Клещевникова В.И., студент)
2. +7(981)8173859, logvinovaas2109@mail.ru (Логвинова А.С., студент)
3. +7(921)9056310, sbelaeva@gmail.com (Беляева С.В., ст. преподаватель)

1. Введение

Бетон является композитным материалом. Это означает, что его характеристики зависят от характеристик составляющих его материалов. Арматура играет ключевую роль в формировании прочностных характеристик бетона.

Армирование бетона позволяет компенсировать недостатки бетона, особенно его главный недостаток – низкую прочность на растяжение. Армированный бетон широко используется в различных областях строительства, например, для изготовления несущих (в том числе из высокопрочного бетона) или ограждающих конструкций, отделочных работ, дорожных покрытий, покрытий для аэродромных полос и т.д. Самым распространенным является армирование стальной арматурой – железобетон. Однако сейчас железобетон не удовлетворяет всем потребностям современных сооружений. На протяжении века сочетание бетона и стали являлось оптимальным, но создает ряд проблем, которые связаны с недостаточной прочностью на растяжение, способностью восприятия ударных воздействий, а введение стальных стержней в бетон значительно увеличивает его собственный вес, к тому же стержни коррозируют при попадании влаги в трещины, что вызывает преждевременное разрушение бетона [1-5].

На сегодняшний день дисперсное армирование бетона набирает большую популярность. В качестве армирующих элементов используется множество различных материалов как естественных, так и искусственных [6-12]. В их число входят, капрон, тканевые заполнители (хлопок или вискоза), стекло-металокомпозит, полиэтилен, углеродные трубки, стекловолокно, базальтовое волокно, полипропиленовое волокно, стальные проволоки и т.д. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, будь то прочностные характеристики, простота производства и работы с бетонной смесью, стоимость или способность противостоять гидратирующим свойствам бетона [13-16].

Наиболее распространенным видом дисперсного армирования является использование фибры. Структура фибробетона представляет собой волокна выбранного материала (микроарматура), покрытые равномерным слоем бетона. Равномерное распределение микроарматуры по всему объему бетона помогает значительно улучшить прочностные характеристики, уменьшить вероятность возникновения трещин и увеличить срок службы конструкций, кроме того использование фибры уменьшает количество трудозатрат. Фиброарамтура является наиболее эффективным способом армирования за счет того, что она укрепляет бетон во всех трех направлениях.

Помимо фибры используется арматура различных форм: углеродные трубки, текстильные полотна и отходы от углеродного волокна, шлифовальные отходы стали [17]. и многое другое.

На прочностные характеристики дисперсно-армированного бетона влияют не только вид волокон, которыми армируется бетон, но и способ армирования. Так, например, способ литья влияет на ориентацию волокон внутри элемента, а она, в свою очередь, оказывает влияние на прочность [18-19]. Давление, температура и вибрация при изготовлении бетона, специальный смеситель [20], уровни армирования (одно- и двухуровневое армирование) [21-22], продолжительность и интенсивность прессования бетона могут изменить конечные прочностные характеристики [7;23]. В целях экономии при минимальной потере эффективности оптимальным является армирование только растянутых или только сжатых зон железобетона дополнительной микроарматурой. Это позволить снизить трещинообразование бетона в опасных зонах и при этом сэкономить материал фибры, т.к. обычно армирование фиброй производится по всему объему [24-27]. Но, при армировании фиброй по всему объему необходимо учитывать такой фактор, как массовая доля волокна в бетоне. Его недостаток или же избыток может оказывать негативное влияние на характеристики бетона.

Данная тема является актуальной на сегодняшней день и необходимо производить исследования в этой области для более глубокого изучения.

2. Обзор существующих видов дисперсной арматуры

Большое влияние на прочностные свойства бетона оказывает процентное содержание фибры в составе, ее геометрия, плотность, модуль упругости и другие механические свойства материала. Существуют исследования, которые показывают, что добавление различных добавок в состав фибробетона может так же значительно повысить качество получаемого композитного материала. Например, микро- или нанокремнезем поможет избежать коррозии фибры, а модифицирующие поверхностно активные вещества (ПАВ) - повысить прочность [28]. Но не стоит забывать, что каждый вид фибры, в сочетании с какими-либо добавками может вести себя по-разному, поэтому для большей достоверности необходимо проводить испытания.

Для большего эффекта при армировании бетона фиброй стоит выполнять следующие условия работы высокопрочных композиций:

- постоянство прочности волокон в процессе изготовления,
- отсутствие воздуха в зоне контакта,
- наиболее плотное соприкосновение волокон и бетона,
- максимально равномерное распределение волокон по всему объему бетонной матрицы, но без соприкосновения друг с другом,

- учет химической стойкости материала волокон по отношению к цементу,
- превышение модуля упругости волокон по отношению к цементной матрице.

Чтобы повысить прочностные характеристики бетонных конструкций в настоящее время чаще всего используют железобетон. В колоннах из этого материала в качестве арматуры принимают стальные стержни или прутья, а в плитах перекрытий – стальные сетки. Чтобы упростить производственный процесс применяется фибробетон [29-30].

Сталефибробетон (СФБ) – одно из наиболее популярных на сегодняшний день направлений в дисперсном армировании. Основное преимущество стальной фибры – это легкость производства, т.к. этот материал знаком производителям и прост в обращении. СФБ имеет увеличенный срок службы и более длительные промежутки между ремонтными работами.

Стальная фибра может существовать в виде проволок или может быть нарезана из стального листа. Бетон, армированный таким видом волокна имеет схожие с железобетоном характеристики, и к тому же позволяет уменьшать толщину конструкций до 50% [31], имея при этом повышенную, ударную вязкость и износостойкость. Неоспоримым преимуществом СФБ будет и простота обращения с ним, т.к. процесс работы с фибробетонами менее трудоемкий. Как у любого материала, стальная фибра имеет свои недостатки. К ним относится коррозия и пониженное сцепление с материалом.

Проблему сцепления фибры с цементной матрицей в данном случае можно решить с помощью анкеровки. Существует множество способов анкеровки фибры. Одним из них является изготовление фибры с выступами и впадинами на поверхности, или же изготовление анкеров в форме усов, прикрепленных к фибре. Но главный плюс стальной фибры – это простота ее изготовления, который перечеркивают эти методы анкеровки, т.к. стержни при их использовании имеют сложную форму. Кроме того, волокна с анкерами имеют свойство зацепляться друг за друга, что препятствует равномерному распределению стальной фибры по всему объему бетона, а значит и однородности бетона. Повысить сцепление так же можно путем создания шероховатой поверхности фибры при обработке ее антикоррозионным покрытием с мелкодисперсными добавками, например, тонкодисперсной глиной [32-35].

Опасным фактором для стальной фибры является коррозия. В силу маленького диаметра волокон, фибра, подверженная коррозии быстро разрушается. Эту проблему решают путем применения высокой температуры при изготовлении, а именно резке фибры из листовой стали. На поверхности создается слой из окиси, который препятствует корродированию стали [31]. Другой способ заключается в обработке волокон специальным раствором $Zn_3(PO_4)_2$ (фосфат цинка), но этот слой может разрушиться при деформациях бетонных изделий [32;34].

Прочность при изгибе сталефибробетона увеличивается на 100-200%, а на сжатие прочность возростает на 10-35%, по сравнению с показателями образцов без армирования. Наиболее эффективный и экономически выгодный расход стального волокна в бетоне составляет от 1% до 1,5% на 1 м^3 бетонной смеси [36]. Кроме того, повышается модуль упругости, пластичность, водонепроницаемость, жаропрочность и морозостойкость [37-39].

Нарезанная из стального листа фибра имеет наиболее высокий коэффициент использования по сравнению с другими формами стальных волокон (проволока, сляб или блюс). У анкерованной фибры этот коэффициент составляет 80%, у фибры без анкера – до 100%. В то время как у стальной резанной проволоки коэффициент использования достигает всего 20% для анкерной и лишь 62% для безанкерной фибры [38]. К сожалению, высокий коэффициент использования влечет за собой высокую стоимость изготовления фибры, нарезанной из стального листа.

Стеклянной фиброй называется рубленное стеклянное волокно, представляющее собой узкие и тонкие полосы. Стекловолокно имеет высокую прочность и достаточно высокий модуль Юнга [24], кроме того, плотность стеклянной фибры близка по плотности к бетону, что способствует равномерному распределению по всему объему бетона. Коэффициенты линейного расширения бетона и стеклянной фибры так же близки по значению [40]. Основной недостаток данного вида армирующих волокон - это низкая щелочная стойкость. Стеклянное волокно растворяется в результате реакции гидратации портландцемента [41]. Для решения этой проблемы используют специальные пропитки, делающие волокно щелочестойким. Стеклянное волокно имеет прочность сравнимую с прочностью проволоки из высокоуглеродистой стали, изготовленной холоднотянутым способом, при этом вес будет в 3,5 раза меньше [40;42-45].

Работа стеклянного волокна в бетоне – это восприятие растягивающих напряжений от бетона и препятствие раскрытию и образованию трещин. Кроме того, стеклянное волокно улучшает качество поверхности изделий, увеличивая срок их службы. Оптимальное содержание данного типа волокон в бетонной смеси составляется 3-7 мас. %. Бетон, армированный таким образом становится более ударопрочным и имеет более высокий предел прочности при сжатии. Однако, прочность на изгиб и разрыв стеклянных волокон не показывает таких результатов, поэтому, чтобы повысить эти показатели, стеклянные нити объединяют в пучки по 100-200 штук, склеенных полимерным клеем. Таким образом, диаметр фибры увеличивается с 5÷10 мкм до 0,5÷1,5 мм [40;46]. Низкое сцепление гладкой поверхности стекловолокна с бетонным камнем может привести к разрушению изделия при изгибе из-за выдергивания нитей [47]. Так, чтобы избежать разрушения, волокна не просто соединяют в пучки (ровинги), а сплетают, тем самым придавая сложную форму поверхности фибры.

Прочность изделий, армированным стекловолокном зависит от условий эксплуатации. Так как стеклянные волокна очень тонкие, они имеют тенденцию к истиранию. Истирание происходит при взаимодействии с кристаллами гидроокиси кальция, которые образуются в цементном камне во влажной среде. Если же изделия эксплуатируются в сухих условиях, снижение прочности значительно замедляется [40].

Существует метод, называемый двухуровневым армированием. Его суть состоит в том, что совместная работа стеклянной и стальной фибры, оказывает большее влияние на показатели прочности бетона, чем их работа по отдельности. Стальная фибра армирует бетон на макроуровне, а стеклянная на микроуровне. В существующих исследованиях [21] показывается, что комбинация стальной и стеклянной фибры может увеличить время трещинообразования более чем в 3 раза, в сравнении с материалом, армированным только на одном уровне стальной проволокой. Так, изменяя пропорции стального и стеклянного волокна можно достичь максимальных показателей прочности и времени трещинообразования. Например, при массовой доле стеклянной фибры 0,7 мас. %, и введении 40 кг стального волокна на 1 м^3 бетона достигнуто время трещинообразование 143 секунды. Как и у многих других видов фибры, существует значение содержания фибры в бетоне, после которого дальнейшее увеличение этого показателя не оказывается влияние на свойства бетона. Для стальной фибры этот показатель принимает значение 40-60 кг. Для стеклянной 0,5-0,7 мас. %. А показатели прочности такого бетона вырастают с 30 с до 475-978 с для бетона класса В45 [21].

Полипропиленовая фибра может быть в виде волокон или в форме тонких полос. Полипропиленовая фибра имеет массу преимуществ перед аналогичными ей добавками. Температура воспламенения волокна может достигать 560°С, температура размягчения – 160-170°С, а пластичность фибры позволяет достигать 20% удлинения до момента разрыва. Кроме того, она является щелочестойкой, кислотостойкой, обладает стойкостью к солям и не коррозирует [48-49].

Данный вид фибры позволяет бетону испытывать пластические деформации бетона при усадке после укладки, не разрушаясь. При твердении бетона обеспечивается равномерная дегидратация, что снижает напряжение в бетонном камне. Полипропиленовое волокно так же, как и стеклянное, уплотняет поверхность бетона, не давая влаге и кислотам проникать внутрь бетона и вызывать разрушения. Из этого следует, что введение полипропиленового волокна в бетон даже не в качестве армирующего элемента, а как добавку к стальной арматуре может оказать положительное влияние на качество бетона, уменьшив его проницаемость, что снизит пагубное воздействие паров, кислот и воды на стальные стержни. Такие качества бетона как ударостойкость и сопротивление скалыванию улучшаются также, как и морозостойкость, удобоукладываемость, долговечность и сопротивление истиранию [48;50-52].

Для дорог и конструкций, возводимых под землей, немаловажным фактором является показатель прочности бетона в раннем возрасте, т.к. на данный тип сооружений действуют специфические факторы: подземные воды, давление грунта, взрывные работы и др. Достичь необходимой прочности можно за счет введения в бетон комбинации двух видом фибры. Например, стальной и полипропиленовой. Полипропиленовая фибра позволяет бетону быстрее набирать прочность, а в комбинации со стальными проволоками значительно увеличивается прочность на растяжение и сжатие, при соблюдении оптимального содержания волокон. Для полипропиленовой фибры это число составляет ≈1,1 кг/м^3, для стальной проволоки – 1-1,5 кг/м^3 [36]. При увеличении количества полипропиленовой фибры наблюдается снижение скорости роста показателей прочности [36;53]. Кроме оптимального содержания волокон на прочностные характеристики бетона так же оказывает влияние и их длина. Так, волокна длиной 14 мм положительно влияют на прочностные характеристики, а 30-ти миллиметровые волокна снижают рост прочности при изгибе [52]. Но это может быть обусловлено технологией изготовления образцов, т.к. в процессе могут образовываться комки, препятствующие равномерному по всему объему распределению фибры. В общем случае увеличение длины волокна способствует росту прочности на изгиб, и снижению прочности на сжатие. Из этого следует, что, различные комбинации этих показателей помогут достичь необходимых характеристик бетона.

Текстильное армирование позволяет повысить долговечность, а также значительно уменьшить собственный вес конструкций, особенно по сравнению с железобетоном [54].

Текстильное полотно может применяться в строительстве облегченных, тонкостенных конструкций, а также для при их реставрации и усиления. Одной из главных проблем в применении стального армирования является коррозия стержней при попадании воды в трещины. Текстильно-армированный бетон обладает коррозийной стойкостью, вследствие чего конструкции получаются довольно тонкими. Другими преимуществами данного вида армирования являются низкая электропроводность, удобство в обращении и формовании элементов сложных форм [55].

Нити и полотна из них могут быть стеклянными, базальтовыми, углеродными, полипропиленовыми и т.д. Кроме того, используются натуральные волокна: кокосовые волокна, минеральная шерсть и сизаль. Их главным недостатком является естественное разложение, которое делает материалы на их основе нестабильными. Но благодаря их небольшой стоимости, простоте изготовления и экологичности они находят применение в строительстве [56].

При введении текстильных нитей в бетон необходимо учесть их сцепление с бетонной матрицей. Для повышения этой характеристики используют скрученные нити, состоящие из сердечника и оболочки. Для

сердечника чаще всего используют высокопрочные нити, например, стеклянные или базальтовые. А для оболочки – полипропиленовые волокна [57].

Большую роль в работе текстильного армирования играет ориентация нитей. Для лучшей работы армированного бетона используют текстильные сетки или полотна, которые бывают как плоскими (нити ориентированы в 2х направлениях), так и объемными (в 3х направлениях).

Влияние текстильных полотен на свойства армированного бетона недостаточно изучены на сегодняшний день. А результаты испытаний не являются достаточно достоверными [58].

Базальтовое волокно (БВ) обладает уникальными качествами: высоким модулем упругости, абсолютной негорючестью (следовательно, термостойкостью), нетоксичностью, высокой адгезией, химической стойкостью, устойчивостью к вибрации, не подвержено воздействию микроорганизмов. Базальтовое волокно получают путем плавления базальтовых пород без применения химических добавок [59-60]. Запасы этого минералы велики и доступны, а производство БВ не вызывает затруднений [4;12;19;61]. Наиболее эффективным, но и очень энергозатратным является армирование бетона базальтовым ровингом (пучком) и тонким штапельным волокном. Но чаще используют базальтовое волокно, полученное центробежно-дутьевым способом [61]. При добавлении волокон в цементную матрицу они повышают его прочностные характеристики [4]. Благодаря этому базальтовый фибробетон отличается высокой трещиностойкостью, увеличенной ударной прочностью, прочностью бетона при растяжении (до 30%), морозостойкость (до 500 циклов), высокой стойкостью к коррозии. Бетонная смесь быстрее отвердевает, ее сцепление с поверхностями повышается [63]. Так как базальт – природный материал, базальтофибробетон является экологически чистым материалом. Использование фибры влияет и на расходы цемента и воды при изготовлении бетона. Они снижаются на 15% и 20% соответственно [4].

Существует исследования, говорящие о том, что при армировании бетона 0,5 мас. % базальтовых волокон прочность на сжатие повышается в 1,5 раз, а на растяжение – в 1,3 раза. К тому же существенно повышается значение предельных деформаций: более 75% при сжатии и более 55% при растяжении, а исходный модуль упругости увеличивается более чем на 20% [19]. Благодаря своей негорючести БФБ может использоваться для возведения жаростойких конструкций [4].

Главный недостаток БВ – это коррозия при гидратации портландцемента. На данный момент нет четкого объяснения происходящим процессам, а исследования имеют противоречивые результаты. Возможная причина этого – использование разных по составу волокон и связующих материалов. [64]. Из многочисленных экспериментальных исследований было выявлено, что некоторая часть волокон разрывается, а некоторая часть выдергивается из бетона. [19;65-66]. Механизм разрушения представляет собой следующий процесс: вокруг волокна на границе раздела сред возникает оболочка, состоящая из продуктов взаимодействия. Эта оболочка имеет более высокую адгезию к бетонной матрице, чем к волокну, вследствие чего волокно легко выдергивается [64].

Существует несколько методов борьбы с разрушением базальтового волокна: использование полимербетона, мало- или бесщелочных вяжущих, минеральных добавок, позволяющих уменьшить агрессивное воздействие среды, изменение структуры самого волокна (подшихтовка, термическая обработка, ионообменная обработка, обработка поверхности водными растворами солей, двухслойное покрытие, аппретирование (создание однослойного защитного покрытия) [61;67-68].

Наиболее распространенным является введение кремнеземсодержащих материалов, в виду их повышенной активности к щелочной среде гидратирующего цемента. Для этого используют микро- (МК) и нанокремнезем (НК). Оптимальное количество микрокремнезёма – 8-10%. Более эффективным является использование нанокремнезема. Нанокремнезем отличается намного более развитой удельной поверхностью и высокой степенью аморфности. НК является центром кристаллизации продуктов гидратации. Его требуемая дозировка гораздо меньше, более того, передозировка способна ухудшить качество фибробетона. Набольший прирост прочности при сжатии (в 1,5 раза) наблюдается при добавлении 0,1-0,5% НК [69-72].

Наноструктурирование базальтофибробетона уменьшает его пористость более чем на 30%, из-за чего повышается водостойкость, а, следовательно, и долговечность. Также в 1,5 раза увеличивается морозостойкость [64].

Ключевым моментом в приготовлении смеси является равномерное распределение базальтовых волокон по всему объему, чего нельзя добиться в традиционных смесителях. Равномерное распределение возможно при поэтапном добавлении волокон в смесь или смешивании цемента и волокна в сухом виде в специальных смесительных и помольных машинах и т.д. [62;69].

Углеродное волокно (УВ) содержит 92-99,9% углерода. УВ отличается изменяемой пористостью, коррозионной, радиационной и термическая стойкостью, высокоактивной поверхностью, одновременным соединением сорбционных и фильтрационных качеств, магнитной инертностью, высокой электропроводностью, а также малым собственным весом. За счет своей трубчатой гексогональной формы волокна бетона упрочняются трехмерно, повышается прочность на растяжение. Помимо того, добавление углеродного волокна увеличивает плотность бетона и снижает его водопоглощение. Модифицирование поверхности углеволокна позволяет увеличить адгезию волокна к матрице, что позволяет повысить прочностные характеристики, а также значительно повысить трещиностойкость. Недостатком использования углеродных нановолокон (УНВ) является

их склонность к комкованию, что приводит к ухудшению свойств бетона. Для диспергирования нановолокон были использованы различные методы, такие как совместное использование ПАВ и ультразвука, модификация поверхности нановолокон или функционализация (включение молекулярных групп в поверхность волокна, чтобы улучшить адгезию к матрице) [73-75].

Экспериментальные исследования установили, что наибольший прирост показателей наблюдался при введении 0,2-0,3 мас. % УВ: прочность на сжатие – более 40%, на растяжение – более 15% [76-77].

Использование углеволокна как арматуры осложнено высокой ценой на материал. В целях создания экономичной конструкции из углеродофибробетона изучалась возможность замены волокна на его отходы. Для этого использовались препереги — композиционные материалы-полуфабрикаты, представляющие собой отходы производства, которые получают путем пропитки армирующей волокнистой основы (углеполотна) равномерно распределенными полимерными связующими. В роли арматуры предлагается использовать обрезки углеволокна, получающиеся при формировании размера углеволоконных ровингов или нитей перед полимерной пропиткой. Углеродное волокно может отличаться по составу и структуре в зависимости от состава и структуры исходного материала, а также условий обработки и состава добавок. Например, при высокотемпературной обработке количество углерода повышается с 80% до 99,5%. Установлено, что самым эффективным является добавление от 0,5 до 1,5 мас. % отходов углеволокна. При этом наблюдается увеличение прочности на сжатие до 25%, прочности на изгиб – до 20%. Стоит отметить, что для эффективная работа отходов УВ возможно только при равномерном распределении по объему бетона [77-78].

Отдельного упоминания стоит использование углеродного волокна в виде углеродных нанотрубок УНТ. Углеродные нанотрубки (УНТ) – это полые трубки, образованные либо одним слоем (ОСУНТ), либо несколькими – многослойные (МСУНТ), из прокатных графеновых листов. Поскольку УНТ обладают уникальными механическими свойствами наряду с чрезвычайно высоким отношением длины к диаметру (от 30 и более чем несколько тысяч), ожидается, что они будут производить значительно более прочные и более жесткие цементные композиты, чем традиционные армирующие материалы. Преимущество нанотрубок – большая площадь межфазного контакта при малом весе вследствие их размера (от 1 нм до десятков нм) и пропорций, позволяющих распределить УНТ в гораздо более мелком масштабе, чем другие волокна. Это приводит к более эффективному противодействию развитию трещин еще на предварительной стадии их образования.

Свойства УНТ сильно зависят от методов их изготовления. Также на свойства бетона, армированного УНТ, большое влияние оказывает количество дефектов на самих трубках. УНТ без дефектов, полученные путем термообработки при высокой температуре, либо в вакууме или инертной среде, показывают выдающиеся механические свойства, однако, их адгезия к матрице оказывается недостаточной, и они начинают «скользить». Кроме того, если трубочки соединены в пучки, то они начинают «скользить» относительно друг друга. С другой стороны, дефекты решетки УНТ ограничивают их механическую прочность, обладая при этом высоким сцеплением с цементной матрицей. Решением этой проблемы является химическая обработка, дополнительно обеспечивающая равномерное распределение нанотрубок по всему объему. Таким образом, если требуется высокая пластичность, то следует использовать УНТ с невысоким модулем Юнга (менее 500 ГПа) и хорошей межфазной связью с цементом. Если же нужна высокая прочность, то следует использовать УНТ с модулем упругости более 1500 ГПа. На данный момент разработка композита и с хорошей пластичностью, и с хорошей прочностью затруднительна и требует дальнейших исследований [79-81].

Углеродное волокно может добавляться как непосредственно нановолокно (УНВ) или как углеродные нанотрубки. По сравнению с УНТ углеродные нановолокна оказываются более экономически выгодными, к тому же поверхности нановолокон имеют лучшее сцепление с цементной матрицей.

Кроме того, углеродное волокно может использоваться как специальная добавка к армирующему материалу, например, как средство против коррозии арматуры. Например, для модификации базальтофибробетона. Введение УНТ структурирует бетонную матрицу, в результате чего образуется плотная бездефектная оболочка с улучшенным сцеплением, а в цементной матрице не появляются продукты ее взаимодействия с волокном. При совместном введении УНТ и высокоактивного метакаолина для уменьшения агрессивности воздействия среды на волокна в количестве 0,0048-0,005 мас. % и 3-3,5 мас. % от массы цемента соответственно, отмечается увеличение прочности на сжатие на 45%, а прочности на растяжение на 25% [59;64;82].

Для стальной фибры оптимальным сочетанием для улучшения прочности на изгиб, пластичности, износостойкости и других характеристик оказалось сочетание 1,1 мас. % стальной фибры и 0,04 мас. % углеродного нановолокна. Оптимальная комбинация стального волокна с углеродным нановолокном (и модифицированной полиакриловой кислотой для лучшего распределения УНВ) увеличила прочность на изгиб на 50%, максимальный прогиб на 240%, способность поглощать энергию на 2700%, ударопрочность на 236%, сопротивление истиранию на 1200% и прочность на сжатие на 5% по сравнению с высокопрочным бетоном без армирования [83].

Высокопрочный бетон – это бетон, обладающий высокими механическими свойствами: очень высокой прочностью (на сжатие более 150 МПа, на растяжение более 8 МПа), ударной вязкостью и твердостью. Такие характеристики достигаются за счет использования низкого водоцементного отношения – менее 0,2,

позволяющего избежать перерасхода цемента, уменьшения пористости вяжущего вещества с помощью правильно подобранного его зернового состава и состава заполнителей (с использованием различных способов смешивания, высокой температуры, давления и добавлением модификаторв, пластификаторв и т.д.), повышение его активности, а также использования дисперсного армирования. Дисперсное армирование является одним из ключевых способов получения высокопрочных бетонов. Традиционными считаются мелкозернистые высокопрочные бетоны. Однако их прочность на растяжение остается недостаточно высокой, к тому же имеет место перерасход цемента, что приводит к увеличению количества деформаций при усадке и внутренних напряжений. Для решения этой проблемы используется дисперсное армирование. Такой бетон является более прочным, долговечным, менее хрупким чем обычный бетон. Он обладает большей способностью к поглощению энергии, повышенной устойчивостью к циклам замораживания-оттаивания и устойчивостью к различным химическим веществам [20;38;83-87].

Обычно, для достижения большей прочности на сжатие бетонную смесь подвергают обработке высокой температурой, большим давлением или уплотняют различными способами, например, с помощью вибрации. Однако, существует исследование, показывающее, что достичь высоких показателей можно без использования термообработки, давления или специального смесителя. Требуемые показатели получились в результате увеличения насыпной плотности цемента и использования очень прочных стальных волокон, подбора их геометрии, а также оптимизации взаимодействия цементной матрицы и волокна с помощью специальных добавок. Результаты оказались следующими: при использовании до 8 мас. % высокопрочных стальных волокон прочность на сжатие достигала 292 МПа, прочность на растяжение – 37 МПа, а деформация при максимальной нагрузке – 1,1 мас. % через 28 дней после литья. Также больше влияние оказывает вид фибры – фибра сложной формы (скрученная или крюкообразная) имеет лучшее сцепление с матрицей, и в итоге оказывается надежнее при растяжении и сдвиге. Показано, что добавление 1,5 мас. % деформированной фибры по объему увеличивает прочность на растяжение на 13 МПа, (на 60% больше, чем аналогичный бетон с гладкими стальными волокнами), а удлинение при максимальном напряжении составляет 0,6%, (в 3 раза больше, чем аналогичный бетон с гладкой фиброй) [20,88-91].

На примере высокопрочного бетона исследовалось влияние ориентации и распределения волокон по объему на характеристики бетона. Было выявлено, что на направление и распределение волокон влияет направление литья бетонной смеси, количество фибры и ее размер, удобоукладываемость смеси, ее трамбовка. Оказалось, что волокна стремятся выровняться перпендикулярно направлению потока, что в свою очередь увеличивает количество волокон, перекрывающих радиальные трещины, образовавшиеся во время механических испытаний. Поэтому панели, вылитые из центра, были значительно прочнее, чем панели, вылитые другими методами. Наибольшая нагрузка, выдержанная панелями, зависела от отношения ориентации фибры к радиусу. Панель, где фибра была параллельна радиусу, оказалась слабейшей и сломалась вдоль диаметра во время испытаний. Панель, где ориентация кусочков фибры была случайной, показала средние результаты. Однако, отмечается, что фибра другой длины и поперечного сечения может работать совершенно по-другому [18;92].

На примере бетонов с базальтовой и стальной фибрами было исследовано поведение высокопрочного бетона под повторяющимися динамическими нагрузками. Выявлено, что влияние различных волокон на сопротивление повторным ударам незначительно, если был нанесен серьезный первоначальный ущерб. При высокоскоростной ударной нагрузке образование и распространение трещин сдерживаются волокнами. По сравнению со стальными волокнами число базальтовых волокон, которые меньше по размеру, на кубический метр намного больше при той же концентрации волокна. Тогда как среднее расстояние между волокнами намного меньше, чем у стальных. Микротрещины в основном контролируются более мелкими фибрами (базальтовыми), а когда трещины расширяются, начинает работать более крупная фибра (стальная). Эффективным выглядит армирование разными фибрами, так как в таком бетоне трещины оказываются меньше, чем в бетоне, армированном только стальной фиброй. С увеличением числа ударов возрастают повреждения бетона, постепенно увеличиваются скорость деформации и пиковая деформация, а пиковое напряжение и модуль упругости уменьшаются [93-94].

Физико-механические характеристики перечисленных видов фибры приведены на диаграммах 1-4 [95].

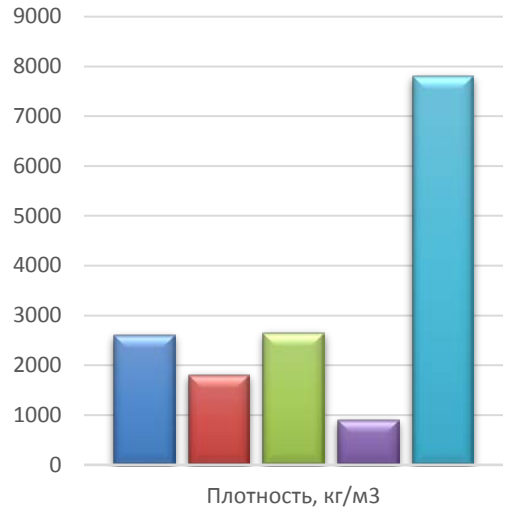

Рис. 1. Плотность волокон

Рис. 2. Прочность на растяжение волокон

Рис. 3. Модуль упругости волокон

Рис. 4. Относительное удлинение волокон

3. Заключение

Без сомнения фибробетон положительно выделяется на фоне остальных видов бетона.

1. Фибротетон – эффективная замена самому распространённому на сегодняшний день виду бетона – железобетону.
2. Добавление фибры в состав бетона позволяет добиться требуемых физико-механических свойства бетона, при этом понизив вес конструкций.
3. Важную роль в выборе вида фибры является ее структура, материал, геометрия, а также на свойства бетона оказывает влияние способ введения.
4. Введение фибры может вызвать ряд затруднений, таких как трудность равномерного распределения волокон по всему объему армируемого бетона, коррозия волокон, плохое сцепление с цементной матрицей. Их можно избежать при совместном использовании фибры с соответствующими добавками, применении специальных смесителей, изменение формы фибры, применение анкеровки или модицифицирование ее поверхности.
5. Совместное использование нескольких видов дисперсной арматуры, например, стеклянной и стальной, базальтовой и углеродной, позволяет добиться максимально высоких показателей. Два вида фибры компенсируют недостатки друг друга.
6. При изготовлении высокопрочного бетона крайне эффективно дисперсное армирование, особенно углеродные нанотрубки.

Возможными перспективами в области дисперсного армирования является изучение различных комбинаций наполнитель+фибра+добавки, для достижения наилучших показателей прочности, морозостойкости, трещиностойкости и т.д. Кроме того, возможно исследование, в котором в качестве заполнителей для бетонов являются отходы производств и другие нестандартные для этой области материалы.

Литература

[1]. Алдушина М.А. Актуальность дисперского армирования бетона // Сб. Молодежь и научно-технический прогресс сборник докладов X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Белгород, 2017. – С. 10-12.

[2]. Бурченя С. П., Добрянский И. М., Шмыг Р. А. Влияние защитного слоя бетона на трещиностойкость, деформативность и несущую способность железобетонных балок, армированных просечно-вытяжным листом. // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2014. – Т. 2, №2. – С. 113-122.

[3]. Рабинович Ф. Н. Дисперсноармированные бетоны. // Стройиздат. - 1989. – С.176.

[4]. Мусифулина А.А. Перспективы развития дисперсного армирования. // Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы. - 2016. - № 6. - С. 106-110.

[5]. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона. / Маилян Л. Р., Стельмах С. А., Холодняк М. Г. и др. // Науковедение. – 2017. – Т. 9, №4.

[6]. Шубин А. А. Влияние структуры армирования бетона на напряженно-деформированное состояние конструкции. // - Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2002. - № 8. - С. 232-234.

[7]. Баранов А. С. Влияние уплотнения прессование и десперсного армирования на прочность бетона при растяжении. // Наука и образование транспорту. – 2014. – С. 287-290.

[8]. Попов В. М., Плюснин М. Г. Влияние изменчивости характеристик бетона и арматуры на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов. // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №3 (50). – С. 80-84.

[9]. Влияние дисперсного армирования на деформационно-прочностные свойства бетона. / Московский С. В. носков А. С., Руднов В. С., Алехин В. Н. // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2016. - №3. – С. 67-71.

[10]. Мантуров З. А., Тотурбиев А. Б., Акаев Н. К. Влияние дисперсного армирования на свойства ячеистого бетона с использованием композиций на основе безводных силикатов натрия. // Альманах мировой науки. – 2015. - №1-1 (1) – С. 86-89.

[11]. Смирнова О.М. Влияние дисперсного армирования синтетическим макроволокном на прочность дорожного бетона. // Вестник науки и образования Северо-запада России. – 2016. – Т.2, №3. – С. 15-19.

[12]. Войлоков И.А., Канаев С.Ф. Базальтофибробетон. Исторический экскурс // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 4. – С. 26–31.

[13]. Трофимов В.И., Фоменко С.А. Дисперсное армирование бетона фиброй повышенного сцепления. // Сб. Наука XXI века: опыт прошлого - взгляд в будущее Материалы III научно-практической конференции. - 2017. - С. 69-76.

[14]. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий. // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 4.

References

[1]. Aldushina M.A. Aktualnost disperskogo armirovaniya betona // Sb. Molodezh i nauchno-tekhnicheskiy progress sbornik dokladov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. – Belgorod, 2017. – Pp. 10-12.

[2]. Burchenya Pp. P., Dobryanskiy I. M., Shmyg R. A. Vliyaniye zashchitnogo sloya betona na treshchinostoykost, deformativnost i nesushchuyu sposobnost zhelezobetonnykh balok, armirovannykh prosechno-vytyazhnym listom. // Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. – 2014. – T. 2, №2. – Pp. 113-122.

[3]. Rabinovich F. N. Dispersnoarmirovannyye betony. // Stroyizdat. - 1989. – Pp. 176.

[4]. Musifulina A.A. Perspektivy razvitiya dispersnogo armirovaniya. // Nauchnyye itogi goda: dostizheniya, proyekty, gipotezy. - 2016. - № 6. - Pp. 106-110.

[5]. Vybor vidov volokon dlya dispersnogo armirovaniya izdeliy iz tsentrifugirovannogo betona. / Mailyan L. R., Stelmakh Pp. A., Kholodnyak M. G. i dr. // Naukovedeniye. – 2017. – T. 9, №4.

[6]. Shubin A. A. Vliyaniye struktury armirovaniya betona na napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye konstruktsii. // - Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. - 2002. - № 8. - Pp. 232-234.

[7]. Baranov A. Pp. Vliyaniye uplotneniya pressovaniye i despersnogo armirovaniya na prochnost betona pri rastyazhenii. // Nauka i obrazovaniye transportu. – 2014. – Pp. 287-290.

[8]. Popov V. M., Plyusnin M. G. Vliyaniye izmenchivosti kharakteristik betona i armatury na nesushchuyu sposobnost izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov. // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2015. – №3 (50). – Pp. 80-84.

[9]. Vliyaniye dispersnogo armirovaniya na deformatsionno-prochnostnyye svoystva betona. / Moskovskiy Pp. V. noskov A. S., Rudnov V. S., Alekhin V. N. // Akademicheskiy vestnik URALNIIPROEKT RAASN. – 2016. - №3. – Pp. 67-71.

[10]. Manturov Z. A., Toturbiyev A. B., Akayev N. K. Vliyaniye dispersnogo armirovaniya na svoystva yacheistogo betona s ispolzovaniyem kompozitsiy na osnove bezvodnykh silikatov natriya. // Almanakh mirovoy nauki. – 2015. - №1-1 (1) – Pp. 86-89.

[11]. Smirnova O.M. Vliyaniye dispersnogo armirovaniya sinteticheskim makrovoloknom na prochnost dorozhnogo betona. // Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-zapada Rossii. – 2016. – T.2, №3. – Pp. 15-19.

[12]. Voylokov I.A., Kanayev S.F. Bazaltofibrobeton. Istoricheskiy ekskurs // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. – 2009. – № 4. – Pp. 26–31.

[13]. Trofimov V.I., Fomenko S.A. Dispersnoye armirovaniye betona fibroy povyshennogo stsepleniya. // Sb. Nauka XXI veka: opyt proshlogo - vzglyad v budushcheye Materialy III nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2017. - Pp. 69-76.

[14]. Pukharenko Yu.V. Restavratsiya i stroitelstvo: potentsial fibroarmirovannykh materialov i izdeliy. // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2012. - № 4.

[15]. Ущеров-Марщак А. Кабусь А. Современный бетон // Информационное обозрение. Харков, Госпром. - 2010. – С. 42.

[16]. Рахимов Р. З. Фибробетон — строительный материал XXI века // Экспозиция —бетон и сухие смеси. — 2008. — № 2б (54). — С. 35—42.

[17]. Рябичева Л.А., Засько В.В. Подготовка и иследование шлифовальных отходов для дисперсного армирования бетонной смеси. // Сб.: ПРОФЕССИОНАЛ ГОДА 2017 сборник статей III Международного научно-практического конкурса. - 2017. - С. 14-19.

[18]. Stephanie J. Barnett, Jean-Francois Lataste, Tony Parry, Steve G. Millard, Marios N. Soutsos. Assessment of fibre orientation in ultra-high performance fibre reinforced concrete and its effect on flexural strength. // Materials and Structures. – 2010. – №343. – pp. 1009-1023.

[19]. Плевков В. С., Колупаев С. П., Кудряков К. Л. Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях. // Ветник ТГАСУ. – 2016. - №3. – с. 95-110.

[20]. Kay Wille, Antoine E. Naaman, Sherif El-Tawil, Gustavo J. Parra-Montesinos. Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: achieving strength and ductility without heat curing. // Materials and Structures. – 2012. - №45. – Pp. 309-324.

[21]. Влияние одно- и двухуровневого армирования стальной и стеклянной фиброй на время начала трещинообразования бетона класса В45. / Бадертдинов И. Р., Габидуллинг М. Г., Рахимов Р. З. и др. // Известия КГАСУ. – 2012. – №4 (22). – С. 270-278.

[22]. Коротких Д. Н. Многоуровневое дисперсное армирование структуры бетонов для повышения их вязкости разрушения. // Ветник гражданских инженеров. - 2009. - №3 (20). – С. 126-128.

[23]. Сеськин И.Е., Баранов А.С. Прочности вибропрессованного дисперсно армированного бетона в изделиях. // Новые материалы и технологии в машиностроении. - 2012. - № 15. - С. 208-212.

[24]. Караваев И.В., Румянцева В.Е., Караваев В.И. Экспериментальное определение коэффициента Пуассона и модуля упругости образца композитной стеклопластиковой арматуры // Информационная среда вуза: материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. Иваново: ИВГПУ. - 2015. - С. 635–637.

[25]. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Сабитов Л. С. Экспериментальные исследования эффективности дисперсного армирования растянутой зоны бетонных изгибаемых элементов. // Научный вестник ВГАСУ. – 2010. - №1 (17). – С. 119-125.

[26]. Уткин В. С. Оптимизация армирования несущих железобетонных конструкций в сжатой зоне бетона. // Тезнологии бетонов. - 2014. - №5. – С.52-53

[27]. Яркин Р. А., Струлев В. М. Изгиб железобетонных балок с косвенным армированием сжатой зоны бетона. // Вестник ТГТУ. – 2003. – Т. 9, №3. – С. 486-492.

[28]. Красный И.М. О механизме повышения прочности бетона при введении микронаполнителей // Бетон и железобетон. – 1987. – № 5. – С. 10–1.

[15]. Ushcherov-Marshchak A. Kabus A. Sovremennyy beton // Informatsionnoye obozreniye. Kharkov, Gosprom. - 2010. – Pp. 42.

[16]. Rakhimov R. Z. Fibrobeton — stroitelnyy material XXI veka // Ekspozitsiya —beton i sukhiye smesi. — 2008. — № 2b (54). — Pp. 35—42.

[17]. Ryabicheva L.A., Zasko V.V. Podgotovka i isledovaniye shlifovalnykh otkhodov dlya dispersnogo armirovaniya betonnoy smesi. // Sb.: PROFESSIONAL GODA 2017 sbornik statey III Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa. - 2017. - Pp. 14-19.

[18]. Stephanie J. Barnett, Jean-Francois Lataste, Tony Parry, Steve G. Millard, Marios N. Soutsos. Assessment of fibre orientation in ultra-high performance fibre reinforced concrete and its effect on flexural strength. // Materials and Structures. – 2010. – №343. – rr. 1009-1023.

[19]. Plevkov V. S., Kolupayev Pp. P., Kudryakov K. L. Raschetnyye diagrammy nelineynogo deformirovaniya bazaltofibrobetona pri staticheskikh i kratkovremennykh dinamicheskikh vozdeystviyakh. // Vetnik TGASU. – 2016. - №3. – Pp. 95-110.

[20]. Kay Wille, Antoine E. Naaman, Sherif El-Tawil, Gustavo J. Parra-Montesinos. Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: achieving strength and ductility without heat curing. // Materials and Structures. – 2012. - №45. – Rr. 309-324.

[21]. Vliyaniye odno- i dvukhurovnevogo armirovaniya stalnoy i steklyannoy fibroy na vremya nachala treshchinoobrazovaniya betona klassa V45. / Badertdinov I. R., Gabidulling M. G., Rakhimov R. Z. i dr. // Izvestiya KGASU. – 2012. – №4 (22). – Pp. 270-278.

[22]. Korotkikh D. N. Mnogourovnevoye dispersnoye armirovaniye struktury betonov dlya povysheniya ikh vyazkosti razrusheniya. // Vetnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2009. - №3 (20). – Pp. 126-128.

[23]. Seskin I.Ye., Baranov A.S. Prochnosti vibropressovannogo dispersno armirovannogo betona v izdeliyakh. // Novyye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii. - 2012. - № 15. - Pp. 208-212.

[24]. Karavayev I.V., Rumyantseva V.Ye., Karavayev V.I. Eksperimentalnoye opredeleniye koeffitsiyenta Puassona i modulya uprugosti obraztsa kompozitnoy stekloplastikovoy armatury // Informatsionnaya sreda vuza: materialy KhKhII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ivanovo: IVGPU. - 2015. - Pp. 635–637.

[25]. Izotov V. S., Mukhametrakhimov R. Kh., Sabitov L. Pp. Eksperimentalnyye issledovaniya effektivnosti dispersnogo armirovaniya rastyanutoy zony betonnykh izgibayemykh elementov. // Nauchnyy vestnik VGASU. – 2010. - №1 (17). – Pp. 119-125.

[26]. Utkin V. Pp. Optimizatsiya armirovaniya nesushchikh zhelezobetonnykh konstruktsiy v szhatoy zone betona. // Teznologii betonov. - 2014. - №5. – S.52-53

[27]. Yarkin R. A., Strulev V. M. Izgib zhelezobetonnykh balok s kosvennym armirovaniyem szhatoy zony betona. // Vestnik TGTU. – 2003. – T. 9, №3. – Pp. 486-492.

[28]. Krasnyy I.M. O mekhanizme povysheniya prochnosti betona pri vvedenii mikronapolniteley // Beton i zhelezobeton. – 1987. – № 5. – Pp. 10–1.

[29]. Model dinamicheskogo razrusheniya fibrobetona / N.N. Belov, N.T. Yugov, D.G. Kopanitsa i dr. // Vestnik

[29]. Модель динамического разрушения фибробетона / Н.Н. Белов, Н.Т. Югов, Д.Г. Копаница и др. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 5. –С. 63–76.

[30]. Барботько М.А., Любимова О.Н., К.Н. Пестов К.Н. Метод определения эффективных свойств бетонных изделий, армированных различными материалами. // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2015. - №4 (25). – С. 13-21Талантова К.В. Определение области рационального фибрового армирования с помощью программных средств при проектировании конструкций на основе сталефибробетон. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. - № 10 (682). - С. 5-12.

[31]. Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе отсева кварцитопесчанника // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. - Ч. 3. – С. 27–31.

[32]. Матвейко Н.П., Зарапин В.Г., Артимович В.С. Модифицирование поверхности стальной фибры для дисперсного армирования бетона. // Вестник Витебского государственного технологического университета. - 2017. - № 1 (32). - С. 171-178.

[33]. Ширинзаде И.Н., Ахмедов Н.М. Пути повышения эффективности фибробетона. // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 3-4 (57). - С. 107-110.

[34]. Матвейко Н.П., Зарапин В.Г., Артимович В. С. Модифицирование арматурных элементов для дисперсного армирования бетона. // Сб.: Материалы докладов 50-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной году науки 50-я международная научно-техническая конференция: в 2-х томах. - 2017. - С. 297-299.

[35]. Караваев И.В., Караваев В.И. Экспериментальные исследования влияния анкеровки арматуры на адгезию в системе «бетон – композитная арматура» // Молодые ученые – развитию промышленно-текстильного кластера (Поиск-2014): // Сб. материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с международным участием. - 2015. - Ч. 2. - С. 270–271.

[36]. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства. // Инженерный вестник Дона. - 2013. - Т. 27. - № 4. - С. 61.

[37]. Петров И. В., Красинникова Н. М., Боровских И. В. Исследование влияния стального дисперсного армирования на механические характеристики бетона. // Сб.: Актуальные вопросы современной науки Сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 25-31.

[38]. Влияние резаной из листа стальной фибры на прочность цементных композитов. / Бадертдинов И. Р., Габидуллинг М. Г., Рахимов Р. З. и др. // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16, № 17. - С. 51-56.

[39]. Перфилов, В. Фибробетоны с повышенной прочностью, трещиностойкостью, морозостойкостью, водопроницаемостью и долговечностью. // Строй Мастер. – 2008. – № 1. – С. 22

[40]. Кузик Е.С. Применение стекловолокна для создания констр укционных композитов. // Международный журнал Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. – 2014. – № 5. –S. 63–76.

[30]. Barbotko M.A., Lyubimova O.N., K.N. Pestov K.N. Metod opredeleniya effektivnykh svoystv betonnykh izdeliy, armirovannykh razlichnymi materialami. // Vestnik inzhenernoy shkoly DVFU. – 2015. - №4 (25). – Pp. 13-21Talantova K.V. Opredeleniye oblasti ratsionalnogo fibrovogo armirovaniya s pomoshchyu programmnykh sredstv pri proyektirovanii konstruktsiy na osnove stalefibrobeton. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. – 2015. - № 10 (682). - Pp. 5-12.

[31]. Klyuyev S.V. Melkozernistyy stalefibrobeton na osnove otseva kvartsitopeschannika // Belgorodskaya oblast: proshloye, nastoyashcheye i budushcheye: materialy nauchn.-prakt. konf. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2011. - Ch. 3. – Pp. 27–31.

[32]. Matveyko N.P., Zarapin V.G., Artimovich V.S. Modifitsirovaniye poverkhnosti stalnoy fibry dlya dispersnogo armirovaniya betona. // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. - 2017. - № 1 (32). - Pp. 171-178.

[33]. Shirinzade I.N., Akhmedov N.M. Puti povysheniya effektivnosti fibrobetona. // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal. - 2017. - № 3-4 (57). - Pp. 107-110.

[34]. Matveyko N.P., Zarapin V.G., Artimovich V. Pp. Modifitsirovaniye armaturnykh elementov dlya dispersnogo armirovaniya betona. // Sb.: Materialy dokladov 50-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov, posvyashchennoy godu nauki 50-ya mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya: v 2-kh tomakh. - 2017. - Pp. 297-299.

[35]. Karavayev I.V., Karavayev V.I. Eksperimentalnyye issledovaniya vliyaniya ankerovki armatury na adgeziyu v sisteme «beton – kompozitnaya armatura» // Molodyye uchenyye – razvitiyu promyshlenno-tekstilnogo klastera (Poisk-2014): // Sb. materialov mezhvuz. nauch.-tekhn. konf. aspirantov i studentov s mezhdunarodnym uchastiyem. - 2015. - Ch. 2. - Pp. 270–271.

[36]. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armeyskov V.N. Razrabotka effektivnykh sostavov fibrobetona dlya podzemnogo stroitelstva. // Inzhenernyy vestnik Dona. - 2013. - T. 27. - № 4. - Pp. 61.

[37]. Petrov I. V., Krasinnikova N. M., Borovskikh I. V. Issledovaniye vliyaniya stalnogo dispersnogo armirovaniya na mekhanicheskiye kharakteristiki betona. // Sb.: Aktualnyye voprosy sovremennoy nauki Sbornik statey po materialam VI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2017. - Pp. 25-31.

[38]. Vliyaniye rezanoy iz lista stalnoy fibry na prochnost tsementnykh kompozitov. / Badertdinov I. R., Gabidulling M. G., Rakhimov R. Z. i dr. // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. - 2013. - T. 16, № 17. - Pp. 51-56.

[39]. Perfilov, V. Fibrobetony s povyshennoy prochnostyu, treshchinostoykostyu, morozostoykostyu, vodopronitsayemostyu i dolgovechnostyu. // Stroy Master. – 2008. – № 1. – Pp. 22

[40]. Kuzik Ye.S. Primeneniye steklovolokna dlya sozdaniy a konstruktsionnykh kompozitov. // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy. - 2016. - № 7-6. - Pp. 939-942.

[41]. Issledovaniye protsessa vzaimodeystviya steklovolokna s tsementnym kamnem / B.S. Batalin,

прикладных и фундаментальных исследований. - 2016. - № 7-6. - С. 939-942.

[41]. Исследование процесса взаимодействия стекловолокна с цементным камнем / Б.С. Баталин, Е.Н. Семкова, К.А. Сарайкина // Master's Journal. - 2013. - № 2. - С. 143-147.

[42]. B. S. Batalin, K. A. Saraikina. Interaction of glass fiber and hardened cement paste. // Glass and Ceramics. – 2014. – №8. – Pp. 37-40.

[43]. Fiberglass reinforcement for concrete./ Barabanshchikov Y., Belyaeva S., Avdeeva A., Perez M.// Applied Mechanics and Materials. - 2015. - Т. 725-726. - С. 475.

[44]. Chemical properties of reinforcing fiberglass in aggressive media. / Avdeeva A., Shlykova I., Perez M., Antonova M., Belyaeva S. // Сб. MATEC Web of Conferences. - 2016. - С. 01004

[45]. Reinforcement of concrete structures by fiberglass rods./ Avdeeva A., Shlykova I., Antonova M., Barabanschikov Yu., Belyaeva S.// Сб. MATEC Web of Conferences. - 2016. - С. 01006.

[46]. Фролов Н.П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластбетонные конструкции. М.: Стройиздат, - 1980. - 104 с.

[47]. Румянцева В. Е., Караваев И. В. Механическое воздействие на бетон в железобетонных элементах, армированных стекловолоконной композитной арматурой. // Информационная среда вуза. - 2016. - № 2. - С. 106-109.

[48]. Толибова В.И. Полипропиленовая фибра – эффективная армирующая добавка. // Сб.: Научные исследования и разработки молодых ученых Сборник материалов XVII Международной молодежной научно-практической конференции. Под общей редакцией С.С. Чернова. - 2017. - С. 123-126.

[49]. L.M. Vesova. Disperse reinforcing role in producing non-autoclaved cellular foam concrete. // Procedia Engineering. - 2016. - №150. – Pp. 1587 – 1590.

[50]. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. // Арматура композитная полимерная. - 2013. - 200 с.

[51]. Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов // Инженерно-строительный журнал. - 2009. - №3. - С. 17–21.

[52]. Ахмеднабиев Р.М., Гутак О.И. Исследование прочностных свойств цементных композитов, наполненных полипропиленовыми волокнами. // Технические науки - от теории к практике. - 2013. - № 21. - С. 95-101.

[53]. Емельянова И. А., Шевченко В. Ю. Экспериментальные исследования приготовления бетонной смеси с использованием полипропиленовой фибры в трёхвальном бетоносмесителе. // Новые материалы и технологии в машиностроении. - 2015. - № 21. - С. 107-110.

[54]. Столяров О. Н., Горшков А. С. Применение высокопрочных текстильных материалов в строительстве. // Инженерно-строительных журнал. – 2009. - №4. – С. 21-25.

[55]. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading // Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June. - 2006. Pp. 1–12.

Ye.N. Semkova, K.A. Saraykina // Master's Journal. - 2013. - № 2. - Pp. 143-147.

[42]. B. Pp. Batalin, K. A. Saraikina. Interaction of glass fiber and hardened cement paste. // Glass and Ceramics. – 2014. – №8. – Rr. 37-40.

[43]. Fiberglass reinforcement for concrete./ Barabanshchikov Y., Belyaeva S., Avdeeva A., Perez M.// Applied Mechanics and Materials. - 2015. - T. 725-726. - Pp. 475.

[44]. Chemical properties of reinforcing fiberglass in aggressive media. / Avdeeva A., Shlykova I., Perez M., Antonova M., Belyaeva Pp. // Sb. MATEC Web of Conferences. - 2016. - Pp. 01004

[45]. Reinforcement of concrete structures by fiberglass rods./ Avdeeva A., Shlykova I., Antonova M., Barabanschikov Yu., Belyaeva S.// Sb. MATEC Web of Conferences. - 2016. - Pp. 01006.

[46]. Frolov N.P. Stekloplastikovaya armatura i stekloplastbetonnyye konstruktsii. M.: Stroyizdat, - 1980. - 104 s.

[47]. Rumyantseva V. Ye., Karavayev I. V. Mekhanicheskoye vozdeystviye na beton v zhelezobetonnykh elementakh, armirovannykh steklovolokonnoy kompozitnoy armaturoy. // Informatsionnaya sreda vuza. - 2016. - № 2. - Pp. 106-109.

[48]. Tolibova V.I. Polipropilenovaya fibra – effektivnaya armiruyushchaya dobavka. // Sb.: Nauchnyye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh Sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod obshchey redaktsiyey S.S. Chernova. - 2017. - Pp. 123-126.

[49]. L.M. Vesova. Disperse reinforcing role in producing non-autoclaved cellular foam concrete. // Procedia Engineering. - 2016. - №150. – Rr. 1587 – 1590.

[50]. Stepanova V.F., Stepanov A.Yu., Zhirkov Ye.P. // Armatura kompozitnaya polimernaya. - 2013. - 200 s.

[51]. Kurlapov D.V., Kuvayev A.S., Rodionov A.V., Valeyev R.M. Usileniye zhelezobetonnykh konstruktsiy s primeneniyem polimernykh kompozitov // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. - 2009. - №3. - C. 17–21.

[52]. Akhmednabiyev R.M., Gutak O.I. Issledovaniye prochnostnykh svoystv tsementnykh kompozitov, napolnennykh polipropilenovymi voloknami. // Tekhnicheskiye nauki - ot teorii k praktike. - 2013. - № 21. - Pp. 95-101.

[53]. Yemelyanova I. A., Shevchenko V. Yu. Eksperimentalnyye issledovaniya prigotovleniya betonnoy smesi s ispolzovaniyem polipropilenovoy fibry v trekhvalnom betonosmesitele. // Novyye materialy i tekhnologii v mashinostroyenii. - 2015. - № 21. - Pp. 107-110.

[54]. Stolyarov O. N., Gorshkov A. Pp. Primeneniye vysokoprochnykh tekstilnykh materialov v stroitelstve. // Inzhenerno-stroitelnykh zhurnal. – 2009. - №4. – Pp. 21-25.

[55]. Hegger J., Voss Pp. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading // Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June. - 2006. Pp. 1–12.

[56]. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric // Journal of Advanced Concrete Technology. - 2003. - Vol. 1. №2. - Pp. 231–239.

[57]. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete // Proceedings of the 5th

[56]. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric // Journal of Advanced Concrete Technology. - 2003. - Vol. 1. №2. - Pp. 231–239.

[57]. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete // Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.

[58]. Структура и свойства текстильно-армированного бетона. / Волокова А. А., Пайков А. В., Столяров О. Н. и др. // Инженерно-строительных журнал. – 2015. - №7. – С. 50-56.

[59]. K A Saraykina, V. A. Golubev, G. I. Yakovlev. Structuring the cement stone on the surface of reinforcing basalt fibers. // Интеллектуальные системы производства. 2014. - №2(24). – С. 203-207.

[60]. Бехметов С. Х. Фибробетон с базальтовым дисперсно-волокнистым наполнителем. Ташкент, 2009.

[61]. Сарайкина К. А., В. А. Голубев. Изучение путей повышения эффективности применения базальтовых волокон в цементных системах. // Master's Journal. - 2013. - № 1. - С. 229-238. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2009. - № 2 (12). - С. 233–237.

[62]. Базальтофибробетон с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами с применением нанодисперсных модификаторов / Л.А. Урханова, С.А. Лхасаранов, В.Е. Розина и др. // Строительство и архитектура: Вестник ИрГТУ. – 2014. – №11(94). – С. 175-180.

[63]. Кондрашов Г.М., Гольдштейн Б.М. Базальтофибробетон – технология будущего. // Технико-технологические инновации. – 2012. - №7. – С. 91 – 92.

[64]. K A Saraykina, V A Shamanov. Nanostructured basaltfiberconcrete exploitational characteristics. // Materials Science and Engineering. – 2017. - №262. – Pp. 1-4.

[65]. Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиционном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2009. - № 2 (12). - С. 233–237.

[66]. Боровских И.В., Морозов Н.М. Повышение долговечности базальтовой фибры в цементных бетонах. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. - 2012. - № 2. - С. 160-165.

[67]. Войлоков И.А. Армирование фиброй как средство улучшения коррозионной стойкости бетона // Инфострой. – 2007. - №3 (33). – С. 42 – 44.

[68]. K A Saraykina, G. I. Yakovlev, A. I. Poletaeva. Nanostructuring of cement stone at disperse reinforcing with basalt fiber. // Reports of the VII International conference «Nanotechnologes in construction». – 2015. – Pp. 34-38.

[69]. Повышение коррозионной стойкости базальтофиброцементных композиций с нанокремнеземом. / Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Розина В.Е. и др. // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. - 2014. - Т. 6. № 4. - С. 15-29.

[70]. Сарайкина К. А., Голубев Е. Н., Семкова Е. Н. Щелочестойкость базальтового волокна и способы ее повышения. // Вестник ПНИПУ. – 2012. – №1. – С. 185-192.

International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands. 16–19 June 2004. Pp. 155–163.

[58]. Struktura i svoystva tekstilno-armirovannogo betona. / Volokova A. A., Paykov A. V., Stolyarov O. N. i dr. // Inzhenerno-stroitelnykh zhurnal. – 2015. - №7. – Pp. 50-56.

[59]. K A Saraykina, V. A. Golubev, G. I. Yakovlev. Structuring the cement stone on the surface of reinforcing basalt fibers. // Intellektualnyye sistemy proizvodstva. 2014. - №2(24). – Pp. 203-207.

[60]. Bekhmetov Pp. Kh. Fibrobeton s bazaltovym dispersno-voloknistym napolnitelem. Tashkent, 2009.

[61]. Saraykina K. A., V. A. Golubev. Izucheniye putey povysheniya effektivnosti primeneniya bazaltovykh volokon v tsementnykh sistemakh. // Master's Journal. - 2013. - № 1. - Pp. 229-238. // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. - 2009. - № 2 (12). - Pp. 233–237.

[62]. Bazaltofibrobeton s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi i ekspluatatsionnymi svoystvami s primeneniyem nanodispersnykh modifikatorov / L.A. Urkhanova, S.A. Lkhasaranov, V.Ye. Rozina i dr. // Stroitelstvo i arkhitektura: Vestnik IrGTU. – 2014. – №11(94). – Pp. 175-180.

[63]. Kondrashov G.M., Goldshteyn B.M. Bazaltofibrobeton – tekhnologiya budushchego. // Tekhniko-tekhnologicheskiye innovatsii. – 2012. - №7. – Pp. 91 – 92.

[64]. K A Saraykina, V A Shamanov. Nanostructured basaltfiberconcrete exploitational characteristics. // Materials Science and Engineering. – 2017. - №262. – Rr. 1-4.

[65]. Borovskikh I.V., Khozin V.G. Izmeneniye dlin bazaltovykh volokon pri yego raspredelenii v kompozitsionnom vyazhushchem vysokoprochnykh bazaltofibrobetonov. // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. - 2009. - № 2 (12). - Pp. 233–237.

[66]. Borovskikh I.V., Morozov N.M. Povysheniye dolgovechnosti bazaltovoy fibry v tsementnykh betonakh. // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. - 2012. - № 2. - Pp. 160-165.

[67]. Voylokov I.A. Armirovaniye fibroy kak sredstvo uluchsheniya korrozionnoy stoykosti betona // Infostroy. – 2007. - №3 (33). – Pp. 42 – 44.

[68]. K A Saraykina, G. I. Yakovlev, A. I. Poletaeva. Nanostructuring of cement stone at disperse reinforcing with basalt fiber. // Reports of the VII International conference «Nanotechnologes in construction». – 2015. – Rr. 34-38.

[69]. Povysheniye korrozionnoy stoykosti bazaltofibrotsementnykh kompozitsiy s nanokremnezemom. / Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Rozina V.Ye. i dr. // Nanotekhnologii v stroitelstve: nauchnyy internet-zhurnal. - 2014. - T. 6. № 4. - Pp. 15-29.

[70]. Saraykina K. A., Golubev Ye. N., Semkova Ye. N. Shchelochestoykost bazaltovogo volokna i sposoby yeye povysheniya. // Vestnik PNIPU. – 2012. – №1. – Pp. 185-192.

[71]. Ctepanova V.F., Buchkin A.V. Korrozionnoye povedeniye bazaltovogo volokna v tsementnoy matritse betona // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. - 2011. - № 9. - Pp. 22–26.

[71]. Степанова В.Ф., Бучкин А.В. Коррозионное поведение базальтового волокна в цементной матрице бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2011. - № 9. - С. 22–26.

[72]. Urkhanova Larisaa, Lkhasaranov Solbona, Buiantuev Sergei. Fiber-reinforced concrete with mineral fibers and nanosilica. // Procedia Engineering. - 2017. - №195. – Pp. 147-154.

[73]. O. Galao, E. Zornoza, F. J. Baeza, A. Bernabeu, P. Garcés. Effect of carbon nanofiber addition in the mechanical properties and durability of cementitious materials. // Materiales de Construcción. – 2012. - № 62. – Pp. 343-357.

[74]. Модели нелинейного деформирования углеродофибробетона при статическом и кратковременном динамическом воздействиях. / Плевков В.С., Белов В.В., Балдин И.В. и др. // Вестник гражданских инженеров. - 2016. - № 3 (56). - С. 72-82.

[75]. Гербер Д. В. Исследование влияния наномодифицированных волокон на свойства композиционных материалов с цементной матрицей. // Успехи в химии и химической технологии. - 2011. - Т. 25. № 6 (122). - С. 22-25.

[76]. Кудяков К.Л, Невский А.В., Ушаков А.С. Влияние дисперсного армирования углеродными волокнами на прочностные свойства бетона. // Сб. Перспективы развития фундаментальных наук. – Томск, 2014. – С. 799-802.

[77]. Соловьева Т. А., Акчурин Т. К., Пушкарская О. Ю. Анализ роли армирующих отходов углеволокна в формировании структуры цементно-волокнистой композиции. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2014. - № 37(56) – С. 93 – 100.

[78]. Шилов А. В. Инновационные методы армирования сборных конструкций из железобетона углеволоконными сетками. // Инженерный вестник Дона. – 2016. - №1 (40). – С. 59.

[79]. Lai Yin Chan, Bassem Andrawes. Characterization of the uncertainties in the constitutive behavior of carbon nanotube/cement composites. // Sci. Technol. Adv. Mater. – 2009. - №10. – Pp. 1-13.

[80]. Simone Musso, Jean-Marc Tulliani, Giuseppe Ferro, Alberto Tagliaferro. Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites. // Composites Science and Technology. – 2009. – №69. – Pp. 1985–1990.

[81]. Bryan M. Tyson, Rashid K. Abu Al-Rub, Ardavan Yazdanbakhsh, Zachary Grasley. Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials. // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2011. - №23 (7). – Pp. 1028-1035.

[82]. Кудяков В.А., Кудяков К.Л., Невский А.В. Управление качеством бетона методами дисперсного армирования базальтовыми и углеродными волокнами. // Сб.: Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2016) материалы III Международной научной конференции студентов и молодых ученых. - 2016. - С. 324-327.

[83]. Libya Ahmed Sbia, Amirpasha Peyvandi, Parviz Soroushian, Jue Lu, Anagi M. Balachandra. Enhancement of ultrahigh performance concrete material properties with carbon nanofiber. // Advances in Civil Engineering. – 2014. – Pp. 1-10.

[84]. Клюев С.В. Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства. // Инженерно-Строительный журнал. – 2012. - №8. - С.61-68.

[72]. Urkhanova Larisaa, Lkhasaranov Solbona, Buiantuev Sergei. Fiber-reinforced concrete with mineral fibers and nanosilica. // Procedia Engineering. - 2017. - №195. – Pr. 147-154.

[73]. O. Galao, E. Zornoza, F. J. Baeza, A. Bernabeu, P. Garcés. Effect of carbon nanofiber addition in the mechanical properties and durability of cementitious materials. // Materiales de Construcción. – 2012. - № 62. – Rr. 343-357.

[74]. Modeli nelineynogo deformirovaniya uglerodofibrobetona pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom vozdeystviyakh. / Plevkov V.S., Belov V.V., Baldin I.V. i dr. // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2016. - № 3 (56). - Pp. 72-82.

[75]. Gerber D. V. Issledovaniye vliyaniya nanomodifitsirovannykh volokon na svoystva kompozitsionnykh materialov s tsementnoy matritsey. // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. - 2011. - T. 25. № 6 (122). - Pp. 22-25.

[76]. Kudyakov K.L, Nevskiy A.V., Ushakov A.S. Vliyaniye dispersnogo armirovaniya uglerodnymi voloknami na prochnostnyye svoystva betona. // Sb. Perspektivy razvitiya fundamentalnykh nauk. – Tomsk, 2014. – Pp. 799-802.

[77]. Solovyeva T. A., Akchurin T. K., Pushkarskaya O. Yu. Analiz roli armiruyushchikh otkhodov uglevolokna v formirovanii struktury tsementno-voloknistoy kompozitsii. // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo i arkhitektura. - 2014. - № 37(56) – Pp. 93 – 100.

[78]. Shilov A. V. Innovatsionnyye metody armirovaniya sbornykh konstruktsiy iz zhelezobetona uglevolokonnymi setkami. // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2016. - №1 (40). – Pp. 59.

[79]. Lai Yin Chan, Bassem Andrawes. Characterization of the uncertainties in the constitutive behavior of carbon nanotube/cement composites. // Sci. Technol. Adv. Mater. – 2009. - №10. – Rr. 1-13.

[80]. Simone Musso, Jean-Marc Tulliani, Giuseppe Ferro, Alberto Tagliaferro. Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites. // Composites Science and Technology. – 2009. – №69. – Rr. 1985–1990.

[81]. Bryan M. Tyson, Rashid K. Abu Al-Rub, Ardavan Yazdanbakhsh, Zachary Grasley. Carbon nanotubes and carbon nanofibers for enhancing the mechanical properties of nanocomposite cementitious materials. // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2011. - №23 (7). – Rr. 1028-1035.

[82]. Kudyakov V.A., Kudyakov K.L., Nevskiy A.V. Upravleniye kachestvom betona metodami dispersnogo armirovaniya bazaltovymi i uglerodnymi voloknami. // Sb.: Molodezh, nauka, tekhnologii: novyye idei i perspektivy (MNT-2016) materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh. - 2016. - Pp. 324-327.

[83]. Libya Ahmed Sbia, Amirpasha Peyvandi, Parviz Soroushian, Jue Lu, Anagi M. Balachandra. Enhancement of ultrahigh performance concrete material properties with carbon nanofiber. // Advances in Civil Engineering. – 2014. – Rr. 1-10.

[84]. Klyuyev S.V. Vysokoprochnyy fibrobeton dlya promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva. // Inzhenerno-Stroitelnyy zhurnal. – 2012. - №8. - S.61-68.

[85]. К вопросу выбора способа микрообъемного армирования мелкозернистого бетона. / Трофимов В.И., Лопаков Р.И., Соколов Э.В. и др. //Сб.: Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования VII Всероссийская научно-практическая конференция ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием) : материалы конференции. - 2012. - С. 460-465.

[86]. Лесовик Р.В., Ракитченко К.С. Мелкозернимтый фибробетон на основе техногенного песка. // Сб.: Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов сборник докладов (XIX научные чтения). - 2010. - С. 193-197.

[87]. Власов В.К. Механизм повышения прочности бетона при введении микронаполнителя // Бетон и железобетон. – 1988. – № 10. – С. 9–11.

[88]. Федюк Р.С. Исследование водопоглощения мелкозернистого фибробетона на композиционном вяжущем. // Фундаментальные исследования. – 2016. – №2. – С. 303-307.

[89]. Пономарев, А. Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – № 6. – С. 25–33.

[90]. Калашников В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения. // Популярное бетоноведение. – 2008. - № 6. - С. 5—7.

[91]. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демянов, В.И. Калашников. // М.: Изд. АСВ. - 2006. – С. 368.

[92]. Получение высококачественного фибробетона с использованием противоточного пневмосмесителя / Уваров В.А., Клюев С.В., Орехова Т.Н., и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 8. – С. 54–56.

[93]. J. Lai, W. Sun. Dynamic mechanical behaviour of ultra-high performance fiber reinforced concretes. // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. – 2008. - №6. – Pp. 939-945.

[94]. J. Lai, W. Sun, S. Xu, C. Yang. Dynamic properties and damage model of ultra-high performance fiber reinforced cement composites subjected to repeated impacts. // High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6. – 2012. – Pp. 389–396.

[95]. Войлоков И. А. Применение дисперсного армирования при строительстве гидротехнических сооружений. // Инженерно-строительный журнал. – 2009. - №1. – С.28-32.

[85]. K voprosu vybora sposoba mikroobyemnogo armirovaniya melkozernistogo betona. / Trofimov V.I., Lopakov R.I., Sokolov E.V. i dr. //Sb.: Razvitiye dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitelnoy infrastruktury na osnove ratsionalnogo prirodopolzovaniya VII Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya FGBOU VPO «SibADI» (s mezhdunarodnym uchastiyem) : materialy konferentsii. - 2012. - Pp. 460-465.

[86]. Lesovik R.V., Rakitchenko K.S. Melkozernimtyy fibrobeton na osnove tekhnogennogo peska. // Sb.: Nauchnyye issledovaniya, nanosistemy i resursosberegayushchiye tekhnologii v promyshlennosti stroitelnykh materialov sbornik dokladov (XIX nauchnyye chteniya). - 2010. - Pp. 193-197.

[87]. Vlasov V.K. Mekhanizm povysheniya prochnosti betona pri vvedenii mikronapolnitelya // Beton i zhelezobeton. – 1988. – № 10. – С. 9–11.

[88]. Fedyuk R.S. Issledovaniye vodopogloshcheniya melkozernistogo fibrobetona na kompozitsionnom vyazhushchem. // Fundamentalnyye issledovaniya. – 2016. – №2. – Pp. 303-307.

[89]. Ponomarev, A. N. Vysokokachestvennyye betony. Analiz vozmozhnostey i praktika ispolzovaniya metodov nanotekhnologii // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. – 2009. – № 6. – Pp. 25–33.

[90]. Kalashnikov V.I. Poroshkovyye vysokoprochnyye dispersno-armirovannyye betony novogo pokoleniya. // Populyarnoye betonovedeniye. – 2008. - № 6. - Pp. 5—7.

[91]. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanov, V.I. Kalashnikov. // M.: Izd. ACB. - 2006. – Pp. 368.

[92]. Polucheniye vysokokachestvennogo fibrobetona s ispolzovaniyem protivotochnogo pnevmosmesitelya / Uvarov V.A., Klyuyev S.V., Orekhova T.N., i dr. // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. – 2014. – № 8. – Pp. 54–56.

[93]. J. Lai, W. Sun. Dynamic mechanical behaviour of ultra-high performance fiber reinforced concretes. // Journal of Wuhan University of Technology-Mater. – 2008. - №6. – Pp. 939-945.

[94]. J. Lai, W. Sun, Pp. Xu, C. Yang. Dynamic properties and damage model of ultra-high performance fiber reinforced cement composites subjected to repeated impacts. // High Performance Fiber Reinforced Cement Composites 6. – 2012. – Pp. 389–396.

[95]. Voylokov I. A. Primeneniye dispersnogo armirovaniya pri stroitelstve gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. – 2009. - №1. – Pp.28-32.

Клещевникова, В.И., Логвинова, А.С., Беляева, С.В. Разновидности материалов для дисперсного армирования бетона // Alfabuild. 2019. № 1(8). С. 59-74.

Kleshchevnikova, V.I., Logvinova, A.S., Belyaeva, S.V. Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete. Alfabuild. 2019. 1(8). Pp. 59-74. (rus)

Varieties of materials for disperse reinforcement of concrete

V.I. Kleshchevnikova[1], A.S. Logvinova[2], S.V. Belyaeva[3]

[1-3] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg,195251, Russia

Article info review article

Abstract *In this article different types of disperse reinforcement are considered including steel and polypropylene fiber, carbon fiber and carbon nanotubes, basalt and glass fiber, which are used for the production of fiber reinforced concrete and high performance concrete. The advantages, disadvantages and possible difficulties of using each of the types of fibers are described as well as ways to prevent these problems. In addition, several ways of preparing fiber-reinforced concrete, namely the introduction of fiber into the concrete mixture, are given in this article. Conclusions are drawn about what is important to take into account while choosing fiber, how to avoid problems arising when using reinforcing fibers and which type of fiber are preferable for high performance concrete. The comparative characteristics of strength, modulus of elasticity, relative elongation and density of materials used for the production of fibers are given.*

Keywords: disperse reinforcement, fiber, fiber reinforced concrete, high-performance concrete, construction

[1] *Corresponding author*

1. +79117840398, varyakl@mail.ru (Kleshchevnikova V.I., undergraduate)
2. +7(981)8173859, logvinovaas2109@mail.ru (Logvinova A.S., undergraduate)
3. +7(921)9056310, sbelaeva@gmail.com (Belyaeva S.V., senior lecturer)