

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ФИБРО-ТЕКСТИЛЬ БЕТОНОВ НА ТЕХНОГЕННЫХ ПЕСКАХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

ruslan_lesovik@mail.ru

Лесовик Р.В., д-р техн. наук, проф.,

Агеева М.С., канд. техн. наук, доц.,

Клюев С.В., канд. техн. наук, доц.,

Лесовик Г.А., канд. техн. наук,

Сопин Д.М., канд. техн. наук

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применения техногенного сырья и композиционного вяжущего для получения высококачественного фибро-текстиль бетона. Проведены экспериментальные исследования фибро-текстиль бетонных образцов на цементе и композиционном вяжущем. Введение в смесь текстильной сетки позволяет получить фибро-текстиль бетон с пределом прочности при сжатии – 105,2 МПа, при изгибе – 14,8 МПа.

Ключевые слова: фибро-текстиль бетон, техногенное сырье, композиционные вяжущие.

Бетон является одним из самых распространенных и массовых строительных материалов, производство которого в определенной степени характеризует уровень развития цивилизации. Одновременно с этим, бетон – это чрезвычайно сложный композиционный материал, который, в связи с его многокомпонентностью, обладает широким спектром уникальных свойств. Одним из разновидностей бетона, с высокими физико-механическими свойствами является высокопрочный бетон [1-3].

Область применения высокопрочного бетона широка (рис. 1).

К таким областям относятся:

- строительство высотных зданий, небоскребов и сооружений;
- строительство тоннелей и мостов;
- строительство сложных по техническому решению сооружений (купола, сферы, шатры);
- строительство ответственных технических сооружений;

- использование высокопрочного бетона для защиты от радиации и т.д.

В настоящее время в различных национальных и международных нормах и кодексах высокопрочные бетоны представлены по-разному. Перспективным направлением для их получения, как свидетельствует мировой опыт, является микроармирование бетонов. Дисперсное армирование или армирование непрерывной волокнистой арматурой обеспечивает трехмерное упрочнение композитов и позволяет принципиально изменять свойства цементного камня и других видов искусственных композитов, обеспечивая им высокую трещиностойкость, повышая сопротивление ударным и динамическим нагрузкам, создавая необходимый запас прочности, сохраняя целостность конструкции, даже после появления сквозных трещин, повысить абразивный износ, предотвратить отслаивание поверхности и т.д. [4-8].

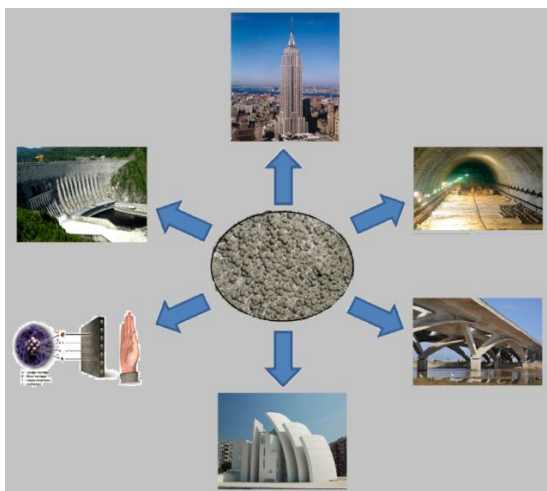


Рисунок 1 – Области применения высокопрочного бетона

Использование текстиля в качестве арматуры для бетона является относительно новой областью исследований. Армирование бетона текстильными структурами дает множество преимуществ, что позволяет изготавливать бетонные элементы достаточно тонкими, поскольку отсутствует риск образования коррозии, кроме того, текстильная арматура более гибкая и драпируемая, и поэтому форма бетонных элементов мо-

жет широко варьироваться, что позволяет создавать сложные архитектурные формы и элементы.

Основные преимущества текстильно-армированного бетона состоят в следующем:

- отсутствие коррозии;
- создание более тонких и легких конструкций;
- возможность создания сложных форм за счет превосходной драпируемости;
- легкость при обращении с полотнами;
- увеличенная долговечность конструкции.

В бетоне, армированном фиброй (рис.2), много разнонаправленных волокон, малая часть которых воспринимает полезную нагрузку [9-18]. Тогда как в текстиль-бетоне (рис.2), армирование может быть направленным и выровненным. Для защиты армирующей сетки требуется всего лишь слой бетона в 3-4 мм толщины, что позволяет изготавливать панели толщиной 20 мм.

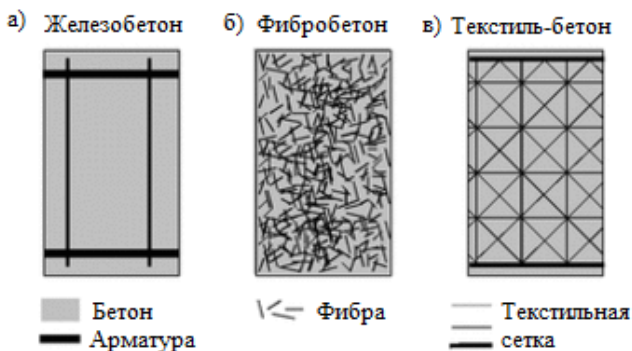


Рисунок 2 – Виды армирующих бетонов

Для правильной реализации свойств армирующих нитей в бетоне необходимо их ориентировать в направлении действия нагрузки. Поэтому возникает необходимость создания следующего структурного уровня – текстильного полотна (рис.3). Структуры применяемых полотен также варьируются, могут использоваться как тканые, так и вязанные. Ориентация нитей в полотнах может быть в двух и трех направлениях действия нагрузок, что обеспечивается использованием армирующих нитей различного типа в структуре одного и того же полотна. Ос-

новое назначение таких полотен, как правило, связано с механическими, химическими и др. свойствами.

Волокно ➔ *Нить* ➔ *Полотно* ➔ *Композит*

Рисунок 3 – Структурная иерархия текстильных материалов

Таким образом, использование текстильных армирующих волокон в мелкозернистых бетонных изделиях позволяет получать композиты с физико-механическими и эксплуатационными свойствами, значительно превосходящими свойства традиционных железобетонных изделий, что требует глубокого изучения и практической апробации.

Решение проблемы перерасхода вяжущего в мелкозернистых бетонах возможно за счет широкомасштабного применения композиционных вяжущих и техногенных песков.

Получение высокоэффективных вяжущих веществ нового поколения сегодня сопровождается использованием сложных составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов разного функционального назначения с улучшенными, а иногда с определенной, заранее заданной структурой и принципиально новыми свойствами. В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на всех ее этапах: использование активных компонентов, разработка оптимальных составов, применение химических модификаторов, использование механохимической активации компонентов и некоторых других приемов.

Цель работы являлось получение эффективных текстиль-бетонов на основе техногенного сырья и композиционных вяжущих.

Анализ существующих данных показал, что наиболее крупнотоннажными и наименее исследованными являются механогенные техногенные пески. В меньшей степени распространены пирогенные, и сугубо теоретическое значение в настоящее время имеют хемогенные и биогенные пески.

Для изготовления бетонов применяются многие попутно добываемые породы Курской магнитной аномалии, такие как кварцитопесчаники, малорудные кварциты, гранитогнейсы, амфиболиты и сланцы. Наиболее ценным сырьем для получения заполнителя для бетонов являются кварцитопесчаники, представляющие собой мономинеральную породу тонкозернистой структуры, массивной, реже грубополосчатой текстуры.

Техногенное сырье в зависимости от генезиса горных пород и воздействия комплекса факторов (взрыв при добыче, дробление, помол, физические, химические и термические воздействия при обогащении)

отличается от природного рядом существенных свойств. Форма, морфология поверхности, адгезия заполнителя из техногенных песков определяются генезисом и, как следствие, структурно-текстурными характеристиками, а также минералогическим составом и типоморфными особенностями материнских пород, подвергнутых дезинтеграции в процессе технологических переделов.

Отличие техногенных песков от природных, обусловленное технологическими операциями, генезисом и составом исходных пород, влечет за собой ряд коренных изменений в параметрах, обуславливающих формирование техногенных песков как высокоактивных и энергонасыщенных компонентов твердеющих систем. Использование такого сырья в строительном материаловедении имеет свою специфику, как в процессе приготовления сырьевой смеси, так и при синтезе композитов.

Существенное отличие наблюдается по форме и морфологии поверхности частиц кварца техногенных песков в отличие от природного кварцевого песка. Если у природного кварцевого песка форма круглая, с гладкой поверхностью зерен, то у техногенного песка форма угловатая, с высокоразвитой поверхностью зерен. Это не могло не сказаться и на активности поверхности техногенных песков. Установлено, что сцепление с цементным камнем у техногенных песков состава сравнимого с природными кварцевыми на 25 – 35 % выше.

Для монолитного строительства зданий и сооружений применяемые бетоны должны обладать высокими эксплуатационными свойствами. С целью разрешения этой проблемы были разработаны составы мелкозернистого бетона с использованием в качестве заполнителя отсева дробления кварцитопесчаника ОАО «Лебединского ГОКа» (Белгородская обл.), для получения более плотной упаковки заполнителя, обогащенного песком Шебекинского месторождения с модулем крупности 1,2 (Белгородская обл.) и композиционных вяжущих.

Основным порообразующим минералом является кварц (таблица 1). По данным химического и гранулометрического анализа содержание кварца составляет 73,4-95 % (таблица 2).

Результаты физико-механических испытаний кварцитопесчаника Лебединского месторождения свидетельствуют об их высоком качестве. Щебень из кварцитопесчаника, не подвергшегося выветриванию, характеризуется высокой прочностью и плотностью, не уступая по показателям гранитному, а по ряду свойств даже превосходя его. Он используется при изготовлении традиционных тяжелых бетонов, однако в процессе дробления щебня образуется в среднем 17 % фракций менее 5 мм. Этот отсев дробления кварцитопесчаника характеризуется высоким содержа-

нием кварца (94,56%), и его можно применять в качестве заполнителя для мелкозернистого бетона.

Таблица 1 – Минеральный состав, масс. %

Наименование породы	Содержание минералов, масс. %						
	кварц	слюда	серпентин	полевой шпат	кальцит	пироксенмагнетит, гематит	доломит
Кварцито-песчаник	До 95	5-6	-	-	-	-	-

Таблица 2 – Химический состав, масс. %

Наименование породы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Кварцито-песчаник	92.7	1.90	0.04	2.08	0.51	1.09	0.19	0.21	0.07	0.85

Анализ сырьевых ресурсов КМА показал, что наиболее перспективным в качестве заполнителя для высококачественного мелкозернистого является отсев дробления кварцито-песчаника Лебединского месторождения (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнительная характеристика сырьевых ресурсов КМА

Наименование материала	Цементо-потребность	Водо-потребность, %	Модуль крупности	Насыпная плотность $\rho_{нас}, \text{кг/м}^3$
Отсев дробления гранита	0,71	7,8	2,89	1536
Отсев дробления кварцито-песчаника	0,52	6,5	4,72	1520
Отсев дробления сланца	1,01	8,7	3,83	1700

Результаты определения водо- и цемента- потребности различных фракций представлены на рис. 4 и 5.

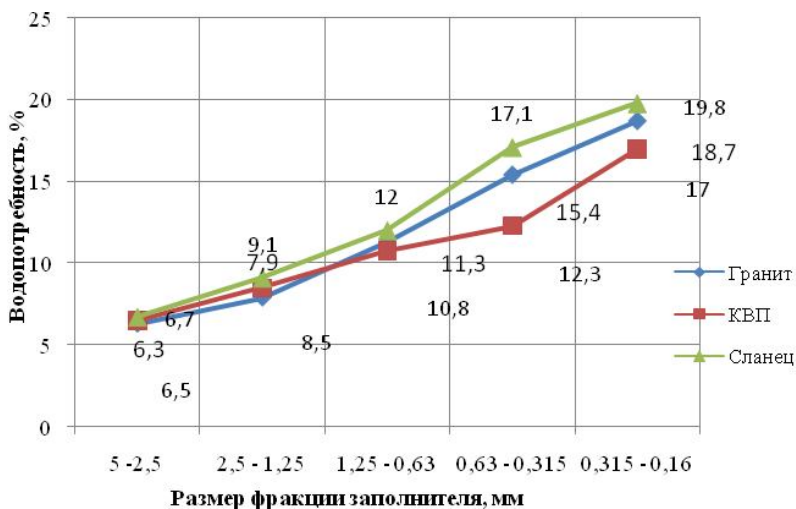


Рисунок 4 – Водопотребность различных фракций отсева

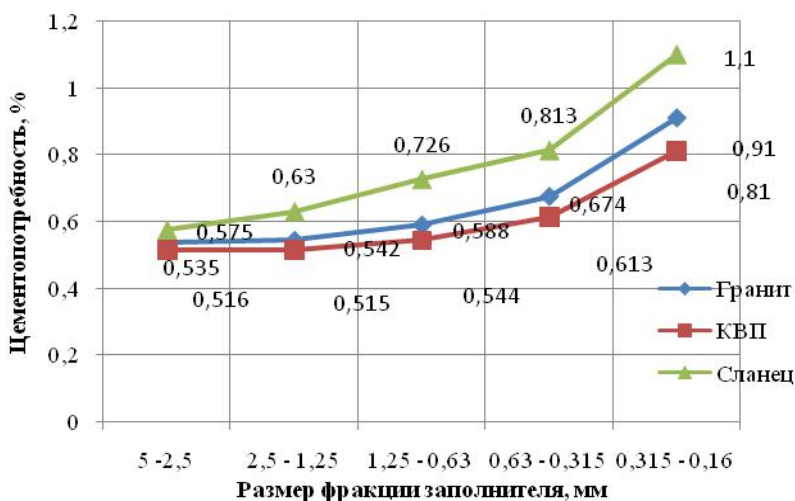


Рисунок 5 – Цементопотребность различных фракций отсева

Исследования влияния различных фракций отсева на водо- и цемента- потребность позволили установить, что наиболее отрицательное влияние на эти характеристики оказывает фракция менее 0,315 мм, это связано с тем, что слюды и гидрослюды содержащиеся в кварцитопесчанике в процессе дробления разрушаются и переходят в пылевидную фракцию. В дальнейшем использовался обогащенный отсев без этой фракции.

Для получения мелкозернистыхфибробетонов необходимо применение высокоактивных композиционных вяжущих. В качестве основы для получения таких вяжущих был выбран ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» (г. Белгород). Композиционное вяжущее получали путемдомола портландцемента с пластифицирующей добавкой «Полипласт ПРЕМЕИУМ» в вибромельнице до удельной поверхности сти $600 \text{ м}^2/\text{кг}$.

С целью определения наиболее подходящей добавки пластификаторов с оптимальной дозировкой было изучено их влияние на тонкомолотый цемент (рис.6).

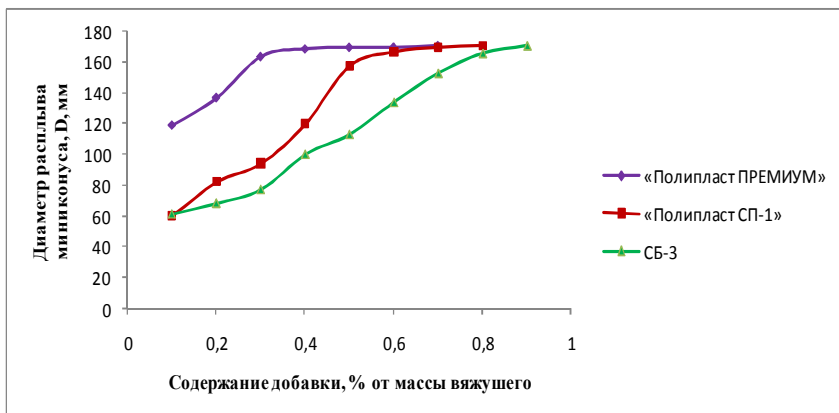


Рисунок 6 – Зависимость расплыва мини-конуса от количества добавки

Из полученных результатов видно, что содержание «Полипласт ПРЕМИУМ» в количестве 0,3 % от массы вяжущего дает оптимальный расплывминиконуса – $D=164 \text{ мм}$, в то время, как другие добавки требуют введения большей дозировки добавок, для получения идентичного пластифицирующего эффекта (рис.4).

Были определены основные характеристики разработанных вяжущих (табл. 4).

Таблица 4 – Физико-механические характеристики композиционных вяжущих

Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м ² /кг	НГ, %	Начало схватывания, час.	Конец схватывания, час.	Активность	
					при изгибе, МПа	при сжатии, МПа
ЦЕМ I 42,5Н	320	25,2	2,30	3,30	7,8	49,3
ТМЦ – 100	600	23,8	2,15	3,15	15,2	67,4
ВНВ-100	600	22,5	1,50	2,50	18,1	78,9

Как видно из результатов исследований вяжущее ВНВ-100 характеризуется более высокой активностью по сравнению с цементом ЦЕМ I 42,5 Н и ТМЦ-100.

Таким образом, применение композиционных вяжущих таких как ТМЦ-100 и ВНВ-100 позволяет повысить характеристики бетона, по сравнению с аналогичными составами на основе цемента. Что объясняется более плотной структурой цементного камня самих композиционных вяжущих, и следовательно бетонов на их основе, а также меньшей пористостью.

Не все волокна отвечают требованиям, которые предъявляются к арматуре бетонов. Здесь, прежде всего необходимо учитывать такие показатели, как прочность, деформативность, химическая стойкость армирующего материала, его адгезия к бетону, коэффициент линейного расширения и т.д. Важное значение имеют также вопросы стоимости армирующих материалов и объемы их производства, которые в ряде случаев играют решающую роль. Некоторые физико-механические свойства используемых фибр в строительстве приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Физические свойства армирующих материалов

Волокно	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, МПа 10 ⁻³	Модуль Юнга, МПа 10 ⁻³	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,9	0,4-0,77	3,5-8	10-25
Полиэтиленовое	0,95	0,7	1,4-4,2	10
Нейлоновое	1,1	0,77-0,84	4,2	16-20
Акриловое	1,1	0,21-0,42	2,1	25-45
Полиэфирное	1,4	0,73-0,78	8,4	11-13
Хлопковое	1,5	0,42-0,7	4,9	3-10
Асбестовое	2,6	0,91-3,1	68	0,6
Стеклоное	2,6	1,05-3,85	70-80	1,5-3,5
Базальтовое	2,6	1,6-3,6	80-110	1,4-3,6
Стальные фибры	7,8	0,80-3,15	200	3-4
Углеродное	2,0	2	245	1

В работе использовали текстильную сетку со следующими характеристиками:

- Двухнаправленная сетка;
- Щелочестойкое стекло;
- Перевивочное переплетение;
- Покрыто полимером;
- Размер ячеек: 10×10;
- Расход волокон: 520 г/м²;
- Удлинение при разрыве: 3%;

По результатам проведенных исследований были предложены следующие экспериментальные составы (табл. 6).

Таблица 6 – Экспериментальные составы бетонов

№ состава	Расход материалов на 1 м ³				Армирующие	В/Ц
	Вязущее, кг		Отсев, кг	Вода, л		
	Ц	СП			Сетка, слоя	
1-1	710	-	1540	331	-	0,47
1-2	710	-	1540	331	-	0,47
1-3	710	-	1540	331	2	0,47
1-4	710	-	1540	331	2	0,47
2-1	710	2,13	1540	282	-	0,4
2-2	710	2,13	1540	282	-	0,4
2-3	710	2,13	1540	282	2	0,4
2-4	710	2,13	1540	282	2	0,4

Для изучения влияния текстильной сетки на деформативные свойства бетона, было решено провести испытания на призмах размером 100×100×400 мм. Для приготовления призмы использовалась следующая схема армирования (рис. 7).

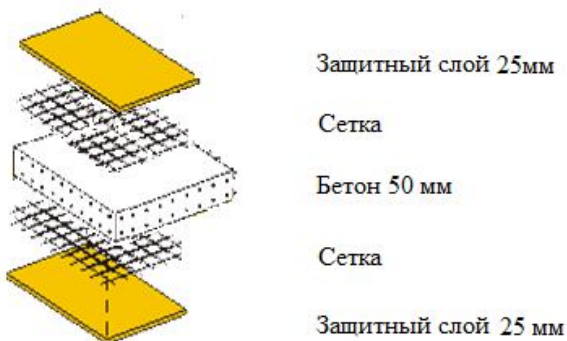


Рисунок 7 – Схема армирования призмы

Формовался первый слой бетонной смеси толщиной 25 мм, в течение 10 с, проходило вибрирование на виброплощадке для устранения пузырьков и пустот, так как этот слой является труднообрабатываемым в процессе вибрирования всей призмы. Затем, укладываем первый слой армирующей сетки (рис. 8, а) с последующим ее притоплением в бетонную смесь (рис. 8, б).

а)



б)

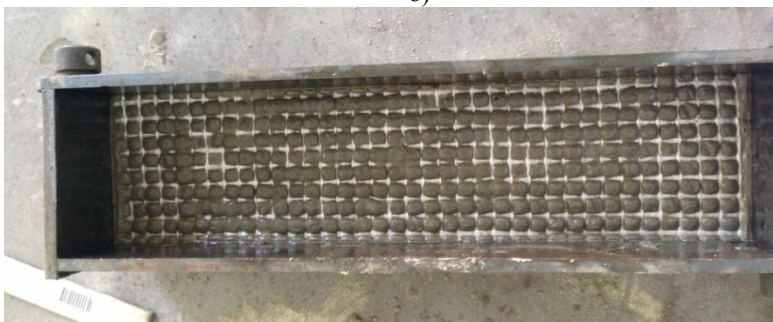


Рисунок 8 – а) укладка первого слоя сетки; б) притопление сетки

Небольшими порциями и равномерно, так чтобы не изменить направление сетки, укладывается слой бетонной смеси толщиной 50 мм. Производим вибрирование в течении 15 с. После устранения пузырьков и цементного молочка на поверхности смеси, ложем второй слой армирующей сетки (рис. 9) и по аналогии с первым слоем притапливаем ее.



Рисунок 9 – Укладка второго слоя сетки

После чего небольшими порциями и равномерно наносим последний защитный слой бетонной смеси и вибрируем в течении 10 с.

Таким образом, мы получили текстиль-бетон – композиционный материал, армированный текстильной сеткой. Для получения более плотной упаковки заполнителя использовался песок Шебекинского месторождения с модулем крупности 1,2 (табл. 7).

Таблица 7 – Физико-механические характеристики мелкозернистого бетона в зависимости от состава вяжущего

№ состава	Расход материалов на 1м ³					Стекланная сетка, кг	Предел прочности при сжатии, R, (МПа)	Предел прочности при изгибе, R, (МПа)
	Вяжущее, кг		Отсев дробления КВП, кг	Песок, кг	Вода, л			
	Ц	СП						
1	710	-	1540	-	262	-	47,1	5,3
2	710	-	1150	390	273	-	51,3	6,1
3	710	2,13	1540	-	224	-	85,2	8,6
4	710	2,13	1150	390	257	-	93,7	10,4
5	710	2,13	1150	390	255	0,2	105,2	14,8

Таким образом, установлен механизм влияния армирования бетонных изгибаемых изделий на композиционных вяжущих и техногенных песках на их прочностные характеристики. Представляется, что композит на основе текстильной сетки из стекловолокна в растянутой зоне образца практически полностью воспринимает растягивающее усилие за счет концентрации волокон в этой зоне. Экспериментально доказано, что усиление изгибаемых элементов за счет композита позволяет повысить предел прочности на растяжение при изгибе в 2 – 3 раза.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08006 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для производства мелкозернистого бетона армированного фибрами / А.В. Клюев, С.В. Клюев, Р.В. Лесовик, О.Н. Михайлова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 81-84.
2. Лесовик Р.В., Клюев А.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. Ч.3. С. 140-143.
3. К вопросу применения нескольких видов фибр для дисперсно-армированных бетонов / С.В. Клюев, В.С. Лесовик, А.В. Клюев, Д.О. Бондаренко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 81-83.
4. Клюев С.В., Лесовик Р.В., Клюев А.В. Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционных вяжущих для промышленного и гражданского строительства. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 124 с.
5. Фибробетон для тяжелонагруженных полов промышленных зданий: монография / С.В. Клюев, Р.В. Лесовик, А.В. Клюев, А.В. Гинзбург, С.А. Казлитин. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 116 с.
6. Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционных вяжущих для промышленного и гражданского строительства / С.В. Клюев, Р.В. Лесовик, А.В. Клюев А.В. Гинзбург, Н.В. Калашников. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 124 с.
7. Лесовик Р.В., Клюев А.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций // Технологии бетонов. 2014. №2. С. 44-45.

8. Фибробетон с использованием композиционных вяжущих и сырьевых ресурсов КМА для ремонта мостовых конструкций / С.В. Клюев, К.С. Ракичченко, Р.В. Лесовик, А.В. Клюев А.В. Гинзбург. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 131 с.
9. К проблеме использования техногенных песков КМА для производства мелкозернистого фибробетона и изделий на его основе / Р.В. Лесовик, С.В. Клюев, А.В. Клюев, А.В. Нетребенко // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №12. С. 45-48.
10. Клюев А.В., Лесовик Р.В. Сталефибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках КМА для изгибаемых конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №2. С. 14-16.
11. Расчет фибробетонных конструкций / А.В. Клюев, А.А. Митрохин, Ю.Н. Черкашин, Г.А. Лесовик // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т.18. №3. С. 61-65.
12. Клюев А.В., Лесовик Р.В. Техногенные пески как сырье для производства фибробетона // Инновационные материалы технологии; сборник докладов Международной научно-практической конференции: Белгород, 11-12 октября 2011 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011 Ч.3. С. 283-285.
13. Комбинированное дисперсное армирование мелкозернистого бетона на техногенном сырье и нанодисперсном модификаторе / С.В. Клюев, Р.В. Лесовик, О.В. Казлигина, А.В. Нетребенко, Н.В. Калашников, А.А. Митрохин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 47-53.
14. High Strength Fiber Concrete for Industrial and Civil Engineering / S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, R.V. Lesovik, A.V. Netrebenko // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (10): 1280-1285.
15. Fiber Concrete on Composite Knitting and Industrialsand KMA for Bent Designs / S.V. Klyuyev, R.V. Lesovik, A.V. Klyuyev, A.V. Netrebenko, N.V. Kalashnikov // World Applied Sciences Journal. 2014. 30 (8): 964 – 969.
16. Combined Disperse Reinforcement of Fine-Grained Concrete with Steel and Polypropylene Fiber on Technogenic Raw Materials and Nanodispersed Modifier / R.V. Lesovik, S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, A.V. Netrebenko, A.A. Metrohin N.V. Kalashnikov // World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 31. №12. С. 2008-2114.
17. Fiber-Reinforced Concretes Made of Technogenic Raw Materials and Composite Binders for Industrial Building Floors / R.V. Lesovik, S.V. Klyuyev, A.V. Klyuyev, S.A. Kazlitin, A.V. Netrebenko, A.V. Durachenko // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. V. 9. №22. P. 15811-15824.
18. High-Strength Fiber-Reinforced Concrete Containing Technogenic Raw Materials and Composite Binders with Use of Nanodispersed Powder / Ruslan Valeryevich Lesovik, Sergey Vasilyevich Klyuyev, Aleksandr Vasilyevich Klyuyev, Aleksey Viktorovich Netrebenko and Andrey Viktorovich Durachenko // Research Journal of Applied Sciences. 2014. 9: 1153-1157.