

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-8-18

*Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., *Сальникова А.С.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: privet.9292@mail.ru*

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ЛЕГО-БЛОКОВ

Аннотация. Одним из современных строительных решений, обеспечивающих снижение стоимости, повышение архитектурной выразительности и темпов осуществления работ, является так называемая легио-технология – развитие пазо-ребневых систем позиционирования и соединения мелкоштучных стеновых элементов. В настоящее время технология легио-блоков реализована на различных типах строительных материалов: керамическом и гиперпрессованном безобжиговом кирпиче, блоках из различных видов лёгких бетонов, которые не нашли широкого практического применения ввиду явного смещения баланса свойств либо в сторону эстетики – кирпич, либо теплоизоляции – блоки. В этой связи предложена технология получения многопустотных тонкостенных легио-блоков, на основе самоуплотняющихся высокопрочных мелкозернистых бетонов с различными типами высокопористого заполнения. В работе предложены составы высокопрочных бетонных смесей для изготовления каркасов легио-блоков. Основной акцент при разработке был сделан на повышение технологичности их получения и максимальную эффективность использования клинкерной составляющей. Преодоление проблемы многокомпонентности достигается заменой традиционного цемента специальным композиционным вяжущим «всё в одном». Ввиду неприемлемости для получения тонкостенных изделий из самоуплотняющихся мелкозернистых смесей традиционных методов дисперсного армирования, было предложено осуществлять дисперсное микроармирование на уровне цементного камня, для чего была разработана технология и определены оптимальные параметры диспергации стеклянной и базальтовой фибры. Благодаря такому подходу, армирующие волокна включены в состав непосредственно композиционного вяжущего, что обеспечивает максимальную технологичность и повышение прочности при сжатии до 20...25 %.

Ключевые слова: композиционное вяжущее, высокопрочный бетон, легио-блоки, самоуплотняющаяся смесь, добавка микроармирующая цементный камень.

Введение. Негативные воздействия окружающей среды все больше наносят удары по жизни человека, причиняя ощутимый ущерб его здоровью. В связи с этим, главной задачей ученых, работающих в различных сферах, особенно в строительном материаловедении является создание комфортных и безопасных условий существования человека.

Многоэтажные здания, в частности – небоскребы, опасны, неустойчивы к природным катаклизмам, ресурсоемки, крайне дороги в утилизации и создают большие проблемы для будущих поколений. С целью оптимизации системы «человек-материал-среда обитания» необходимо внедрение принципа природоподобия создаваемых материалов, зданий и сооружений, диктуемых Геоникой (Геомиметикой) [1–3]. Индивидуальное жилищное строительство в наибольшей степени гармонизировано с экологией и не нарушает природный ландшафт. Жить в собственном доме комфортнее с точки зрения психологического климата, положительных эмоций, творческого настроения, мыслительной деятельности и, наконец, на увеличения продолжительности жизни человека.

В качестве стенового материала для различных видов индивидуального жилого строительства все большую популярность набирают так называемые легио-блоки, которые можно смело назвать новшеством на рынке модульных строительных систем. Они созданы по образу и подобию детского конструктора LEGO американским инженером Арнон Росаном. Такие блоки имеют выступы и впадины, которые при монтаже совпадают. Они крепятся, вставляясь один в другой очень точно, за счет чего при монтаже сборно-разборных сооружений пропадает необходимость применения раствора, и при необходимости переноса конструкции блоки легко демонтируются. При возведении постоянных домов из легио-блоков, для их соединения применяется небольшое количество клея, которым обрабатываются только вертикальные швы. Это значительно уменьшает время монтажа, благодаря чему существенно снижается стоимость строительномонтажных работ [4].

В настоящее время технология легио-блоков реализована на различных типах строительных материалов: керамическом и гиперпрессованном безобжиговом кирпиче, блоках из различных ви-

дов лёгких бетонов [5–7]. Однако все эти решения не нашли широкого практического применения ввиду явного смещения баланса свойств либо в сторону эстетики – кирпич, либо теплоизоляции – блоки, а по-настоящему универсальные решения отсутствуют.

Как уже неоднократно отмечалось, все новые эффективные материалы сейчас рождаются за счёт интеграции нескольких подходов – концепция трансдисциплинарности [8]. В этой связи была предложена технология получения многопустотных тонкостенных леги-блоков на основе самоуплотняющихся высокопрочных мелкозернистых бетонов с различными типами высокопористого заполнения.

Применение высокопрочных бетонов класса В90/100 и более позволяет существенно снизить степень заполнения сечения наиболее дорогим и ресурсоёмким конструкционным материалом за счёт уменьшения толщины стенок до 5–10 мм, а внутренних перегородок до 3–5 мм. Причём внутреннее пространство может быть решено в виде традиционных организованных структур – например, сотоподобной (рис. 1), или более прогрессивно в соответствии с канонами Геоники и Бионики. Последний случай технически может быть реализован за счёт объёмной печати полимерным материалом полого сердечника блока со сквозными каналами, заполняемыми в процессе формования самоуплотняющимся высокопрочным мелкозернистым бетоном.

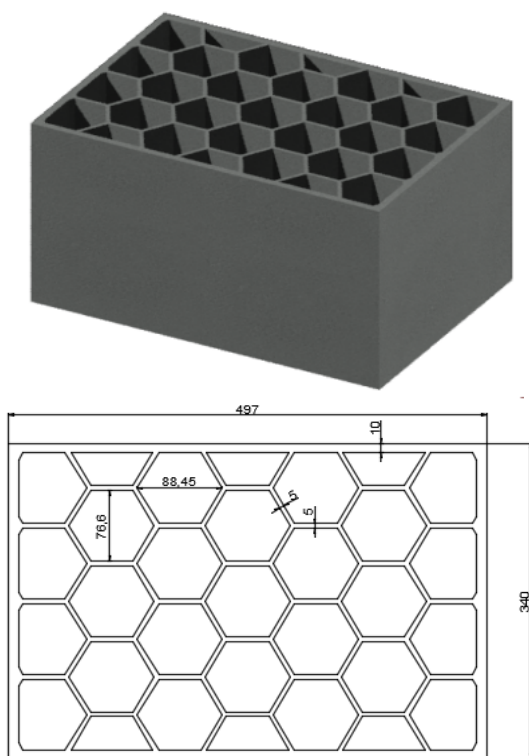


Рис. 1. Вариант исполнения внутреннего заполнения блока – сотоподобный

Однако существуют и определенные сложности при разработке самоуплотняющихся бетонных (СУБ) смесей для высокопрочных бетонов [9]. Основной из них является вяжущее, в качестве которого в основном применяется портландцемент, который по своим базовым показателям в основном не удовлетворяет требованиям ситуации из-за чего возникает необходимость дополнительного введения минеральных и химических компонентов, для придания системе необходимых свойства. Составы становятся многокомпонентными, что усложняет технологию производства. В данном случае целесообразным является переход на уже сбалансированные композиционные вяжущие [10–14].

Для практической реализации получения тонкостенных леги-блоков, был разработан ряд специальных композиционных вяжущих «всё в одном». Такой подход позволяет на конечном этапе – при производстве изделий, (рис. 2) предельно упростить технологическую схему, то есть рецептура смеси упрощается до традиционного набора: вяжущее, вода, мелкий заполнитель, химическая добавка. Все необходимые остальные функциональные компоненты вводятся на высокотехнологичной стадии производства композиционного вяжущего (КВ).

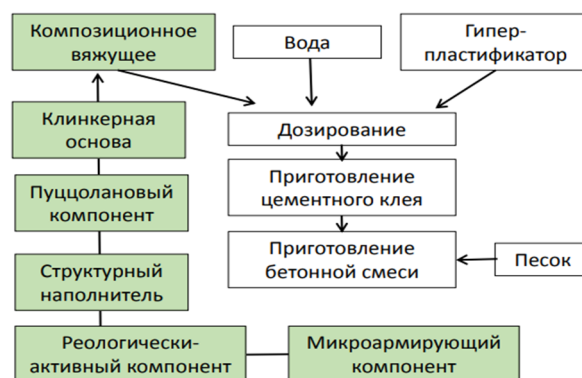


Рис. 2. Технологическая схема приготовления СУБ смесей на основе специального композиционного вяжущего

В предложенной технологической схеме тонкомолотый тяжелый бетон выступает сразу в трех ролях: в качестве пуццоланового компонента, так как обладает определённой пуццолановой активностью, в качестве реологически-активного компонента и структурного наполнителя, как минеральная добавка.

Открытым остаётся вопрос армирования композитов, с целью повышения прочности и многих других физико-механических параметров [15–17], для получения тонкостенных изделий из самоуплотняющихся мелкозернистых смесей. В данном случае традиционные методы дисперсного армирования не подходят, потому что для

заполнения стенок толщины 5–10 мм и внутренних перегородок до 3–5 мм нужна высокая текучесть системы. Присутствие традиционных разновидностей фибр либо снизит текучесть системы, либо течение будет происходить с обтеканием волокон. Возможным решением данной задачи может быть уменьшение размеров фибры с переносом ее действия на более меньший масштабный уровень – цементного камня, что позволит реализовать основные положительные эффекты армирования самоуплотняющихся смесей для тонкостенных изделий без ущерба (с сохранением самоуплотняемости и растекаемости смеси). Этим обуславливается значимость и актуальность проведенных исследований.

Материалы и методы. В работе применялись следующие основные материалы: ЦЕМ I 42,5Н и ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС Новороссийского цементного завода ОАО «Новоросцемент» (п. Верхнебаканский), кварцевый песок с зерновым составом 0,63 – 14 %, 0,315 – 45 % и 0,16 – 41 %, $M_{кр}=1,49$. Композиционное вяжущее КВ70(ТБ) получали совместным помолем портландцемента и отсева дробления тяжелого бетона (фракций 1,25–0,14) в вибрационной мельнице до удельной поверхности 500...550 м²/кг.

Получение добавок микроармирующих цементный камень осуществлялось путем совместного помола в шаровой вращающейся мельнице кварцевого песка, стеклянного или базальтового фиброволокна соотношением компонентов 2:1 соответственно. Помол добавки осуществлялся при одинаковой загрузке 300 г., но при разном времени помола 6, 8, 12, 20 минут (рис. 3), оптимальное соотношение компонентов и время помола выбиралось исходя из прочностных характеристик бетона. Песок в данном случае выступает в качестве мелющих тел второго уровня, инициируемых мелющими шарами мельницы (мелющие тела первого уровня). Оценка длины волокон микроармирующих добавок осуществлялась по данным микроскопии. Для сравнения использовали базальтовую модифицированную фибру CemFibra R марки СЕММIX.

Для увеличения подвижности, снижения водопотребности смеси, а также придания ей способности к самоуплотнению применяли гиперпластификатор «MC-PowerFlow 3100 RU» производства MC-Bauchemie. Для оценки влияния на цементный камень полученных микроармирующих добавок были разработаны составы и заформованы образцы, с соотношением вяжущее:песок 1:1, это было принято из соображений обеспечения максимальной раздвижки зерен (так называемый «плавающий наполнитель»), что необходимо для максимальной реализации эффекта са-

моуплотнения. Определение физико-механических показателей осуществлялось по стандартным методикам.

Основная часть. Разработанные добавки микроармирующие цементный камень (рис. 3), представляют собой двух компонентную систему с частицами различных размеров и формы. Кварцевый песок в данном случае выступает как важный технологический компонент и выполняет три функции: обеспечивает измельчение волокон, предотвращает их комкование при хранении и введении в смесь, а также выступает в качестве дисперсного наполнителя. Частицы песка частично диспергированные в процессе обработки выполняют в композиционном вяжущем роль более мелкого наполнителя, чем обычный песок, что положительно влияет на прочностные характеристики конечного композита, за счёт уплотнения его структуры.

С целью оценки влияния разработанных добавок дисперсноармирующих цементный камень на прочностные свойства бетона проведены лабораторные испытания составов при одинаковых условиях и с одинаковым водоцементным отношением равным 0,45 (табл. 1), данная добавка вводилась взамен части цемента.

Анализируя данные таблицы видно, что уже на 7 сутки, что прочность камня из сульфатостойкого цемента с микроармирующей добавкой на основе стеклянного волокна выше, чем прочность на обычном цементе. Эта тенденция сохраняется и в марочном возрасте.

Контрольные образцы с базальтовой фиброй CemFibra R продемонстрировали в среднем сопоставимый, но уступающий лучшим разработанным составам уровень прочности. При этом фибра CemFibra R имеет существенно более низкую технологичность введения характерную для большинства видов подобных материалов. В структуре композита распределяется неравномерно с образованием комочков, нарушает процесс течения смеси, образуя заторы в наиболее узких местах. Разработанные составы микроармирующих добавок, напротив, легко в любом виде смешиваются с другими компонентами композиционного вяжущего, и не требуют специальных мероприятий по обеспечению однородности смеси, не оказывают заметного влияния на текучесть.

Наилучшие результаты показали составы 12 и 17 с микроармирующей добавкой на основе стеклянной фибры (длина волокон 0,08–0,57 мм и 0,16–0,52 мм соответственно) и 22 с микроармирующей добавкой на основе базальтовой фибры (длина волокон 0,29–0,15 мм), которые были приняты для дальнейшего изучения.

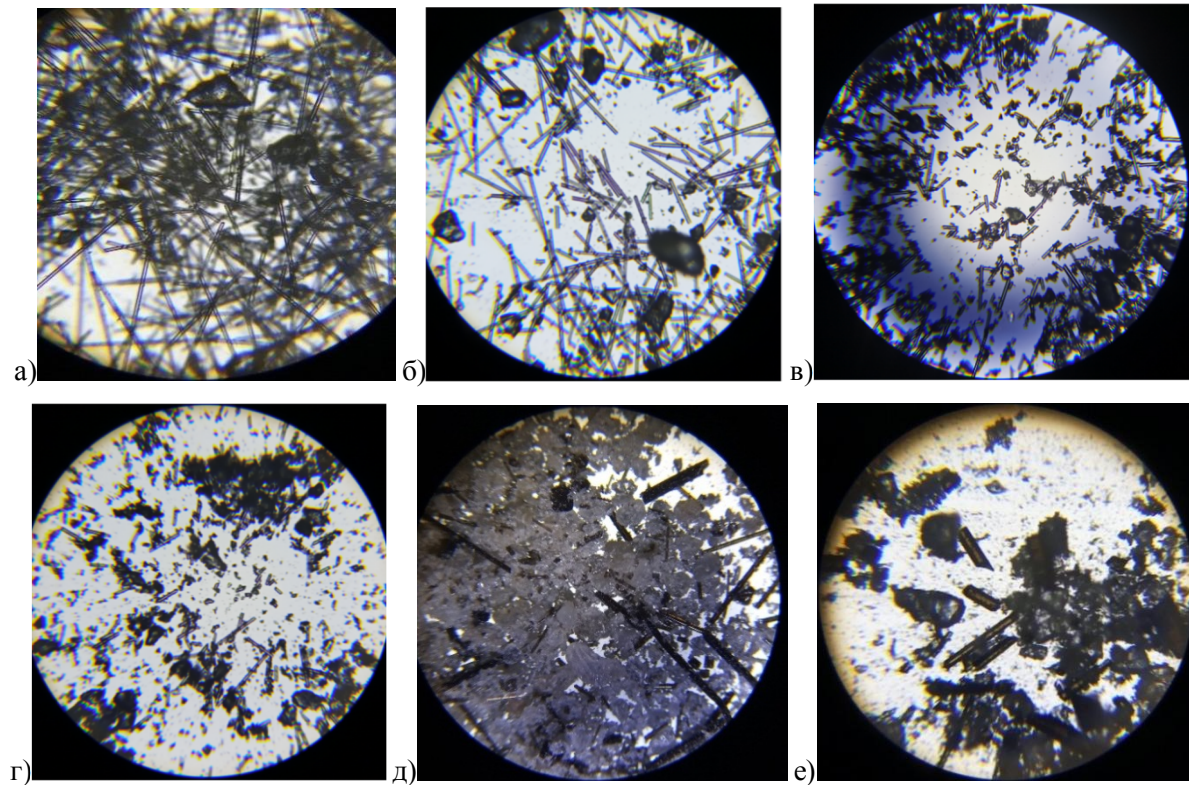


Рис. 3. Вид добавки под микроскопом (диаметр видимого поля 1,4 мм): а) со стекловолокном 6 мин; б) со стекловолокном 8 мин; в) со стекловолокном 12 мин; г) со стекловолокном 20 мин; д) с базальтовым волокном 8 мин; е) с базальтовым волокном 12 мин

Таблица 1

Прочностные характеристики бетона с добавкой микроармирующей цементный камень

| № | Состав | | | | | | Ц:П | В:Ц | Прог-ность, кг/м³ | Прочность, МПа | |
|--|---------------------|----------------------------|-------|--------|--------|------------|-----|------|-------------------|----------------|---------|
| | Вязущее | Микроармирующая добавка, % | | | | | | | | 7 сут. | 28 сут. |
| | | 6 мин | 8 мин | 12 мин | 20 мин | CemFibra R | | | | | |
| Образцы с микроармирующей добавкой на основе стеклянного волокна | | | | | | | | | | | |
| 1 | ЦЕМ I 42,5Н | - | - | - | - | - | 1:3 | 0,45 | 1940 | 29,1 | 52,5 |
| 2 | | - | - | - | - | 5 | | | 1856 | 20,6 | 34,7 |
| 3 | | - | - | - | - | 10 | | | 1939 | 25,5 | 41,3 |
| 4 | | 20 | - | - | - | - | | | 1835 | 19,3 | 33,9 |
| 5 | | - | 10 | - | - | - | | | 1885 | 23,8 | 41,7 |
| 6 | | - | 20 | - | - | - | | | 1942 | 21,8 | 33,9 |
| 7 | | - | - | 20 | - | - | | | 1851 | 20,6 | 34,4 |
| 8 | ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС | - | - | - | - | - | | | 1965 | 32,2 | 50,4 |
| 9 | | - | - | - | - | 5 | | | 1891 | 25,2 | 35,3 |
| 10 | | - | - | - | - | 10 | | | 1883 | 22,7 | 37,8 |
| 11 | | 10 | - | - | - | - | | | 1932 | 35,8 | 45,3 |
| 12 | | 20 | - | - | - | - | | | 1833 | 37,3 | 54,8 |
| 13 | | - | 10 | - | - | - | | | 1965 | 35,6 | 45,2 |
| 14 | | - | 20 | - | - | - | | | 1845 | 28,3 | 34,2 |
| 15 | | - | - | 10 | - | - | | | 1931 | 29,2 | 46,0 |
| 16 | | - | - | 20 | - | - | | | 1924 | 20,0 | 47,1 |
| 17 | | 10 | - | - | - | - | | | 2046 | 37,3 | 51,9 |
| 18 | | 20 | - | - | - | - | | | 2019 | 38,8 | 48,0 |
| Образцы с микроармирующей добавкой на основе базальтового волокна | | | | | | | | | | | |
| 19 | ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС | - | 10 | - | - | - | 1:3 | 0,45 | 1991 | 24,9 | 47,1 |
| 20 | | - | 20 | - | - | - | | | 1991 | 28,1 | 46,9 |
| 21 | | - | - | 10 | - | - | | | 1972 | 32,9 | 46,9 |
| 22 | | - | - | 20 | - | - | | | 2019 | 23,9 | 50,3 |

Серьезной проблемой армирования бетонов неметаллической фиброй является возможность коррозии поверхности волокон. В литературе так же нет однозначного взгляда на этот вопрос [18, 19]. Известным способом повышения защиты волокном является ввод в состав бетонов активных минеральных добавок, таких как микрокремнезем или метаксаолинит [20]. В нашем случае для снижения риска повреждения фибры, предпочтение было отдано сульфатостойкому цементу,

нормированный минеральный состав которого и присутствие пуццолановых добавок способствуют, в том числе, снижению содержания не связанного гидроксида кальция, в значительной степени обуславливающего коррозионные процессы волокон фибры. Для оценки стойкости диспергированной фибры были изготовлены образцы, испытания которых проводились в марочном и существенно более поздних возрастах (табл. 2).

Таблица 2

Прочностные характеристики бетона с добавкой микроармирующей цементный камень

| № | Вяжущее | Микроармирующая добавка, % | | | Ц:П | В:Ц | Плотность, кг/м ³ | Прочность, МПа | | |
|---|-------------------------|----------------------------|--------|--------|-----|------|------------------------------|----------------|---------|----------|
| | | 8 мин | 12 мин | 20 мин | | | | 28 сут. | 92 сут. | 281 сут. |
| Образцы с микроармирующей добавкой на основе стеклянного волокна | | | | | | | | | | |
| 1 | ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС | 20 | - | - | 1:3 | 0,45 | 1940 | 54,8 | 48,6 | 51,5 |
| 2 | | - | 10 | - | | | 1856 | 45,2 | 53,7 | 54 |
| 3 | | - | 20 | - | | | 1939 | 34,2 | 48 | 49,6 |
| 4 | | - | - | 20 | | | 1924 | 47,1 | 51,8 | 48 |
| 5 | ЦЕМ I 42,5Н | 20 | - | - | | | 1835 | 33,9 | 55,6 | 54,3 |
| 6 | | - | 10 | - | | | 1885 | 41,7 | 56,6 | 55,8 |
| 7 | | - | - | 20 | | | 1851 | 34,4 | 54,2 | 53,7 |

Как видно из таблицы, прочность образцов при хранении во влажных условиях (способствующих развитию коррозионных процессов) со временем возрастает или остаётся неизменной (в пределах точности опыта). Достаточный, на наш взгляд, уровень защиты фибры от деградации под действием щелочей обеспечивается присутствием в ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС пуццолановых компонентов. Оптимальной по совокупности факторов является добавка микроармирующая цементный камень полученная при измельчении по принятому режиму в течение 12 мин, вводимая в дозировке 20 % от массы вяжущего (состав 3, табл. 2). Указанное количество добавки включает в себя 1 массовую долю собственно стеклянного волокна и 2 доли диспергированного в процессе обработки кварцевого песка, за счёт чего

происходит уменьшение содержания клинкерной составляющей в смеси.

С использованием полученной микроармирующей добавки были разработаны композиционные вяжущие на ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС для самоуплотняющихся бетонов, реализующие принцип «всё в одном». В качестве многофункциональной минеральной добавки был применён тонкомолотый тяжелый бетон, эффективность использования которого подтверждена целым рядом работ [21–23]. Выбор данного вида минеральной добавки дополнительно обусловлен её пуццолановой активностью, что призвано обеспечить дополнительную защитную среду для фибры. Твердение образцов проходило в водной среде (табл. 3).

Таблица 3

Физико-механические свойства разработанных составов

| № состава | Состав вяжущего КВ70 (ТБ) | | | | ГП, % | В/В | Соотношение Вяж:Песок | Плотность, кг/м ³ | Прочность, МПа | | |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|---|------------------------------|-------|-----|-----------------------|------------------------------|----------------|--------|--------|
| | ЦЕМ II/A-II 42,5Н СС, % | Тонкомолотый тяжелый бетон, % | Добавка микроармирующая цементный камень, % | | | | | | 5 сут | 14 сут | 28 сут |
| | | | на стеклянном волокне (2:1) | на базальтовом волокне (2:1) | | | | | | | |
| 1 | 70 | 30 | - | - | 3 | 0,2 | 1:1 | 2463 | 123 | 123 | 162 |
| 2 | 63 | 27 | 10 | - | | | | 2435 | 108 | 115 | 121 |
| 3 | 56 | 24 | 20 | - | | | | 2400 | 98 | 117 | 145 |
| 4 | 63 | 27 | - | 10 | | | | 2486 | 110 | 112 | 122 |
| 5 | 56 | 24 | - | 20 | | | | 2404 | 101 | 104 | 133 |

Примечание: соотношение между цементом и минеральной добавкой во всех составах постоянное – 7:3

Составы с добавками на 7 сутки имеют приблизительно одинаковую прочность, но на 28

сутки разница в прочности увеличивается. Стоит отметить, что составы с разным фиброволокном

при введении 10 % добавки имеют одинаковую прочность (составы 2 и 4). Но при увеличении дозировки до 20 % прочность с добавкой армирующей цементный камень со стекловолокном (состав 3) увеличивается приблизительно на 10 % в сравнении с составом 5. Более высокие показатели контрольного состава объясняются тем, что

разработанная добавка вводится в замен клинкерной оставляющей вяжущего обеспечивая его ощутимую экономию. Полученные данные по сохранности волокон в цементном камне подтверждаются микроструктурными исследованиями (рис. 4).

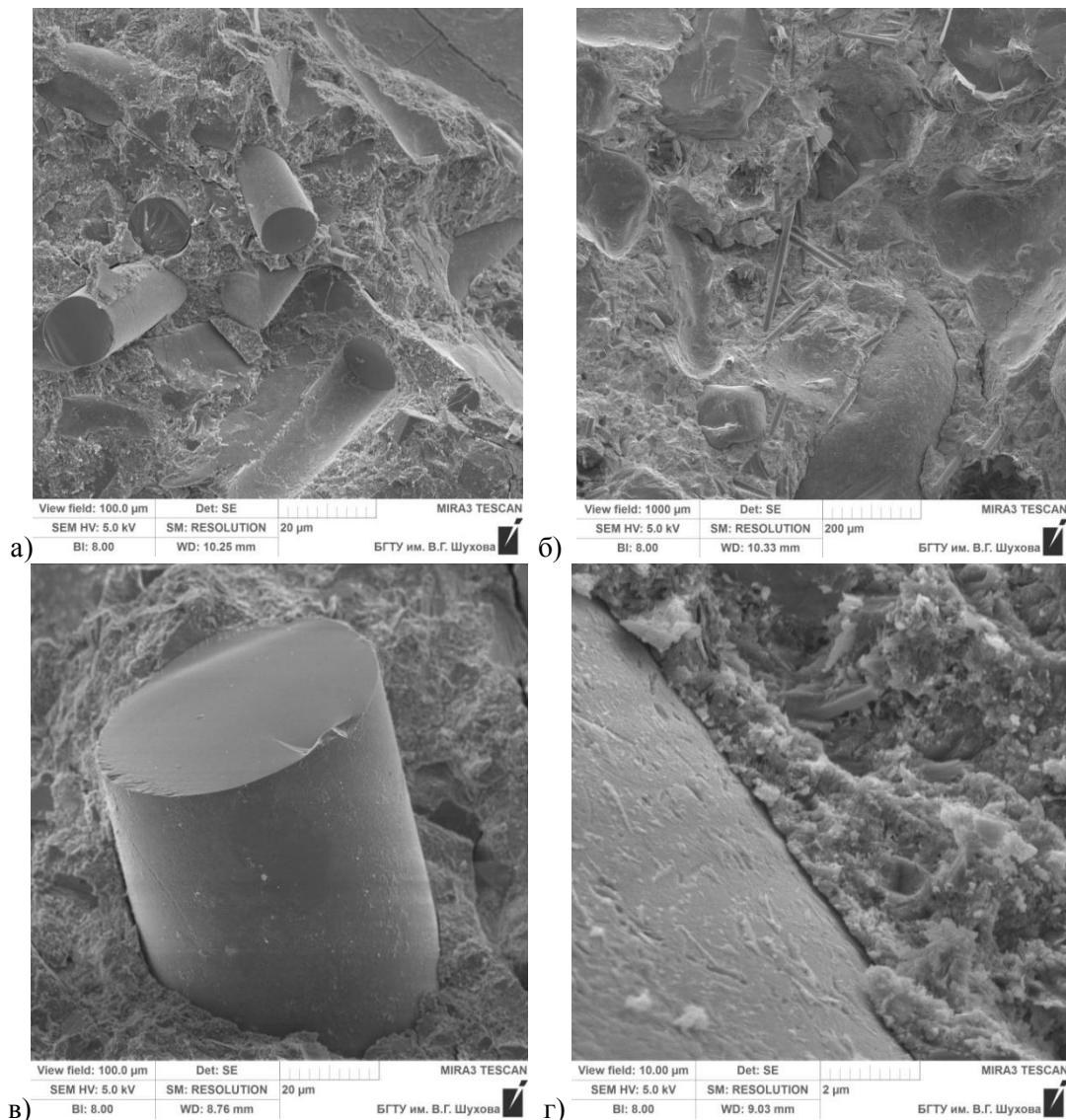


Рис. 4. Микрофотографии образцов в возрасте 280 суток: цементный камень (а) и мелкозернистый бетон (б) с микроармирующей добавкой на основе стеклянного волокна; цементный камень (в) и контактная зона (г) микроармирующей добавки на основе базальтового волокна

Как видно из микроснимков волокна микроармирующей добавки, без дополнительных мероприятий по обеспечению однородности, достаточно равномерно располагаются в объеме композита, усиливая участки цементного камня между частицами мелкого заполнителя (рис. 4 а, б). Разрушение микроармированного камня происходит как с разрывом волокон, так и с их вырыванием из матрицы. Последний случай, безусловно, является неоптимальным с позиции эф-

фективности передачи напряжений с камня на арматуру, однако некоторое недоиспользование потенциала волокон, на наш взгляд компенсируется высокой технологичностью вяжущих композиционных «всё в одном». Повышение адгезии может быть обеспечено модификацией поверхности волокон с повышением степени сродства с цементным камнем. Данный вопрос актуален также и для применяемого мелкого заполнителя. На микрофотографиях – рисунок 4 в и 4 г видно, что

контактная зона цементного камня и базальтового фиброволокна (рис. 4 в, г) несколько хуже, чем у составов со стекловолокном на поверхности, которых имеет место налипание цементного камня. Химическая реакция цемента со стеклянной фиброй (начальная степень коррозии поверхности) положительно влияет на степень адгезии. Этим объясняется разница прочностей составов 3 и 5 (табл. 3) с одинаковым количеством добавок на основе разных типов фибр. Стоит отметить, что не наблюдается явных каверн и уменьшения сечения волокон, а небольшие повреждения вероятно получены в процессе получения добавки при помоле и также могут способствовать обеспечению сцепления.

Предложенный способ армирования цементного камня на микроуровне, ввиду высокой технологичности и эффективности на уровне 15...20 % (по приросту прочности и экономии клинкерной составляющей), может, как дополнить традиционные способы использования фибр, так и применяться обособленно для смесей с высокой текучестью, применяемых для получения тонкостенных изделий. Наиболее эффективным, на наш взгляд, форматом продвижения микроармирующих добавок является их включение в состав широкого спектра композиционных вяжущих. Однако микроармирующая добавка может являться и самостоятельным товарным продуктом, сильной стороной которой является лёгкость применения и универсальность.

Освоение технологии производства тонкостенных легируемых блоков на основе микроармированных самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов, при использовании эффективных видов внутреннего высокопористого заполнения, даст новый импульс развитию этой технологии, идеально подходящей для малого бизнеса, позволит более полно раскрыть её потенциал, обеспечить конкуренцию традиционно применяемым материалам.

Выводы

1. Предложенное направление совершенствования технологии легируемых блоков за счёт уменьшения толщины стенок до 5–10 мм, а внутренних перегородок до 3–5 мм, достигаемое использованием высокопрочных самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов класса В90/100 и более, позволяет существенно снизить степень заполнения сечения наиболее дорогим и ресурсоёмким конструкционным материалом, минимизировать мостики холода, повысить качество и долговечность поверхности стен, снизить их удельную стоимость и зависимость качества монтажа от квалификации каменщика.

2. Для повышения технологичности полу-

чения высокопрочных самоуплотняющихся бетонов предложено использование композиционного вяжущего «всё в одном» включающего клинкерную составляющую, многофункциональную минеральную и микроармирующую добавки. Это позволяет, при сохранении всех функциональных качеств смесей и конечных композитов существенно упростить процесс их приготовления, доведя его до уровня рядовых бетонов. Данный аспект имеет большое значение для внедрения технологии на предприятиях малого бизнеса, зачастую испытывающих проблемы с оборудованием и технологической дисциплиной.

3. Предложенные добавки микроармирующие цементный камень, получаемые дополнительной диспергацией стандартных фибр, позволяют обеспечить армирование пространства между частицами мелкого заполнителя самоуплотняющегося бетона, сократить долю клинкерной составляющей без снижения прочности. Микроармирующие добавки полностью совместимы с самоуплотняющимися смесями, могут входить в состав композиционных вяжущих предназначенных для их получения. Применения микроармирующих добавок возможно как самостоятельного продукта, так и в дополнение к традиционным системам армирования.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Шаталова С.В., Азизов В.Г., Богун Н.В., Семиохина В.А., Галкина А.А., Новоселова А.А. Геоника. Геомиметика как теоретическая основа совершенствования строительных материалов // В сборнике: Научно-технологические и инновационные технологии // В сборнике: Научно-технологические и инновационные технологии. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 278–282.

2. Lesovik V., Volodchenko A., Glagolev E., Lashina I., Fischer H.B. Geonics (Geomimetics) as a theoretical basis for new generation compositing // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2019. С. 344–347.

3. Лесовик В.С., Першина И.Л., Бычкова А.А. Геоника. Геомиметика как принцип оптимизации триады "человек-материал-среда обитания" // В сборнике: Научно-технологические и инновационные технологии. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. С. 273–277.

4. Mashkin N.A., Baev V.S., Fedchenko V. I., Zibnitskaja N. E., Sharavin J.A. New materials and technologies in construction of low-rise buildings from precision details foam concrete blocks // 2007 International Forum on Strategic Technology, Ulaanbaatar, Mongolia, 2007. Pp. 534–535, doi: 10.1109/IFOST.2007.4798652.
5. Ламов И.В., Гончарова М.А. Применение арболитовых блоков "LEGO" в малоэтажных жилых и производственных зданиях и сооружениях // Научные исследования: от теории к практике. 2015. Т. 2. № 4 (5). С. 47–50.
6. http://stroyka.by/news/2015/05/08/lego_block
7. https://www.zaggo.ru/article/stroitelstvo/steny/stroitelnyj_lego_kirpich_chem_on_otlichaetsya_ot_obychnogo_i_sto.html
8. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 10. С. 1241–1257.
9. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // Строительные материалы. 2016. №1-2. С. 96–103
10. Vacheslav N. Yarmakovsky, P. Pustovgar Andrey The Scientific Basis for the Creation of a Composite Class Binders, Characterized of the Low Heat Conductivity and Low Sorption Activity of Cement Stone // Procedia Engineering. 2015. Vol. 111. Pp. 864–870.
11. Федюк Р.С., Мочалов А.В. Композиционные вяжущие для бетонов повышенной ударной стойкости // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 4 (200). С. 85–91.
12. Lesovik V., Voronov V., Glagolev E., Fediuk R., Baranov A., Alaskhanov A., Amran Y.H.M., Murali G. Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder // Journal of Building Engineering. 2020. Т. 31. 101414.
13. Алфимова Н.И., Жерновский И.В., Яковлев Е.А., Юракова Т.Г., Лесовик Г.А. Влиянии генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 91–94.
14. Lesovik R.V., Tolykina N.M., AlAni A.A., Jasim A.S. (2021) Composite Binder on the Basis of Concrete Scrap. In: Klyuev S., Lesovik V., Vatin N. (eds) Innovations and Technologies in Construction. BUILDINTECH BIT 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol 95. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54652-6_46.
15. Ключев С.В. Разработка дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе техногенного песка и композиционного вяжущего // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. Т. 11. Ч.2. С. 27–29.
16. Ключев А.В., Нетребенко А.В., Дураченко А.В. Свойства бетонной матрицы при дисперсном армировании фибрами // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 16. №2. С. 96–99.
17. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В. Базальтовое волокно как компонент для микроармирования цементных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 58–61.
18. Kharun M., Klyuev S., Koroteev D., Chidighikaobi P.C., Fediuk R., Olisov A., Vatin N., Alfimova N. Heat treatment of basalt fiber reinforced expanded clay concrete with increased strength for cast-in-situ construction // Fibers. 2020. Т. 8. № 11. 67.
19. Ключев С.В. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон на техногенном сырье и композиционных вяжущих // Бетон и железобетон. 2014. № 4. С. 14–16.
20. Боровских И. В., Морозов Н. М. Повышение долговечности базальтовой фибры в цементных бетонах // Известия КазГАСУ. 2012. №2 (20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-dolgovechnosti-bazaltovoy-fibry-v-tsementnyh-betonah>
21. Ахмед А.А., Федюк Р.С., Лисейцев Ю.Л., Тимохин Р.А., Муралли Г. Использование бетонного лома Ирака в качестве наполнителя и заполнителя тяжелого и лёгкого бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 3. С. 28–39.
22. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18.
23. Аласханов А.Х., Муртазаева Т.С.А., Сайдумов М.С., Омаров А.О. Разработка составов наполненных вяжущих на основе вторичного сырья для монолитных высокопрочных бетонов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. Т. 46. № 3. С. 129–138.

Информация об авторах

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: naukavs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Елистраткин Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сальникова Алёна Сергеевна, ассистент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: privet.9292@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 26.03.2021 г.

© Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Сальникова А.С., 2021

Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., *Salnikova A.S.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: privet.9292@mail.ru

HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR LEGO BLOCKS

Abstract. *Lego technology is one of the modern construction solutions providing cost reduction, increasing architectural expressiveness and the pace of work. This is the development of groove-ridge positioning systems and connection of small-piece wall elements. Currently, the technology of Lego blocks is implemented on various types of building materials: ceramic and hyper-pressed non-fired bricks, blocks from various types of lightweight concrete, which have not found wide practical application due to an obvious shift in the balance of properties either towards aesthetics – brick, or thermal insulation - blocks. In this regard, a technology for producing multi-hollow thin-walled lego blocks based on self-compacting high-strength fine-grained concrete with various types of high-porous filling is proposed. In this paper, the compositions of high-strength concrete mixes for the manufacture of lego block frames are proposed. The main emphasis in the development is made on improving the manufacturability of their production and the maximum efficiency of using the clinker component. Overcoming the multicomponent problem is achieved by replacing traditional cement with a special all-in-one composite binder. Due to the unacceptability of traditional methods of dispersed reinforcement for producing thin-walled products from self-compacting fine-grained mixtures, it is proposed to carry out dispersed micro-reinforcement at the level of cement stone, for which a technology is developed and the optimal parameters of dispersion of glass and basalt fiber are determined. Thanks to this approach, reinforcing fibers are included in the composition of the composite binder itself, which ensures maximum manufacturability and an increase in compressive strength up to 20 ... 25 %.*

Keywords: *composite binder, high-strength concrete, lego blocks, self-compacting mixture, micro-reinforcing cement stone additive.*

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Shatalova S.V., Azizov V.G., Bogun N.V., Semiokhina V.A., Galkina A.A., Novoselova A.A. Geonics. Geomimetics as a theoretical basis for improving building materials [Geonika. Geomimetika kak teoreticheskaya osnova sovershenstvovaniya stroitel'nykh materialov]. In the collection: Science-intensive technologies and innovations. Electronic collection of reports of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Pp. 278–282. (rus)
2. Lesovik V., Volodchenko A., Glagolev E., Lashina I., Fischer H.B. Geonics (Geomimetics) as a theoretical basis for new generation compositing. In the collection: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2019. Pp. 344–347.
3. Lesovik V.S., Pershina I.L., Bychkova A.A. Geonics. Geomimetics as a principle of optimization of the triad "man-material-environment" [Geonika. Geomimetika kak printsip optimizatsii triady "chelovek-material-sreda obitaniya"]. In the collection: Science-intensive technologies and innovations. Electronic collection of reports of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Pp. 273–277. (rus)
4. Mashkin N.A., Baev V.S., Fedchenko V.I., Zibnitskaja N.E., Sharavin J.A. New materials and technologies in construction of low-rise buildings from precision details foam concrete blocks. 2007 International Forum on Strategic Technology, Ulaanbaatar, Mongolia, 2007. Pp. 534–535, doi: 10.1109/IFOST.2007.4798652.
5. Lamov I.V., Goncharova M.A. The use of wood concrete blocks "LEGO" in low-rise residential and industrial buildings and structures [Prime-niye arbolitovykh blokov "LEGO" v maloetazhnykh zhilykh i proizvodstvennykh zdaniyakh i sooruzheniyakh]. Scientific research: from theory to practice. 2015. Vol. 2. No.4 (5). Pp. 47–50. (rus)
6. http://stroyka.by/news/2015/05/08/lego_bloki

7. https://www.zaggo.ru/article/stroitel_stvo/steny/stroitel_nyj_lego_kirpich_chem_on_otlichaetsya_ot_obychnogo_i_sto.html
8. Lesovik V.S., Fomina E.V. A new paradigm for the design of building composites to protect the human environment [Novaya paradigma proyektirovaniya stroitel'nykh kompozitov dlya zashchity sredy obitaniya cheloveka]. Vestnik MGSU. 2019. Vol. 14. No. 10. Pp. 1241–1257. (rus)
9. Kalashnikov V.I. Evolution of the development of compositions and changes in the strength of concrete. Concrete of the present and future. Part 1. Changing the composition and strength of concrete. Building materials. 2016. No. 1-2. Pp. 96–103
10. Vacheslav N. Yarmakovskiy, P. Pustovgar Andrey The Scientific Basis for the Creation of a Composite Class Binders, Characterized of the Low Heat Conductivity and Low Sorption Activity of Cement Stone. Procedia Engineering, Vol. 111. 2015. Pp. 864–870.
11. Fedyuk R.S., Mochalov A.V. Composite binders for concretes with increased shock resistance [Kompozitsionnyye vyazhushchiye dlya betonov povyshennoy udarnoy stoykosti]. Izvestiya of higher educational institutions. North Caucasian region. Technical science. 2018. No. 4 (200). Pp. 85–91. (rus)
12. Lesovik V., Voronov V., Glagolev E., Fediuk R., Baranov A., Alaskhanov A., Amran Y.H.M., Murali G. Improving the behaviors of foam concrete through the use of composite binder. Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 31. 101414.
13. Alfimova N.I., Zhernovskiy I.V., Yakovlev E.A., Yurakova T.G., Lesovik G.A. Influence of the genesis of the mineral filler on the properties of composite binders [Vliyaniy genезisa mineral'nogo napolnitelya na svoystva kompozitsionnykh vyazhushchikh]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No. 1. Pp. 91–94. (rus)
14. Lesovik R.V., Tolykina N.M., AlAni A.A., Jasim A.S. (2021) Composite Binder on the Basis of Concrete Scrap. In: Klyuev S., Lesovik V., Vatin N. (eds) Innovations and Technologies in Construction. BUILDINTECH BIT 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol 95. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54652-6_46.
15. Klyuev S.V. Development of dispersed-reinforced fine-grained concrete based on technogenic sand and composite binder [Razrabotka dispersno-armirovannogo melkozernistogo betona na osnove tekhnogenogo peska i kompozitsionnogo vyazhushchego]. International research journal. 2014. Vol. 11. Part 2. Pp. 27–29. (rus)
16. Klyuev A.V., Netebenko A.V., Durachenko A.V. Properties of a concrete matrix with dispersed fiber reinforcement [Svoystva betonnoy matritsy pri dispersnom armirovaniy fibrami]. Collection of scientific papers Sworld. 2014. Vol. 16. No. 2. Pp. 96–99. (rus)
17. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V. Basalt fiber as a component for micro-reinforcement of cement composites [Bazalt'ovoye volokno kak komponent dlya mikroarmirovaniya tsementnykh kompozitov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. No. 4. Pp. 58–61. (rus)
18. Kharun M., Klyuev S., Koroteev D., Chidighikaobi P.C., Fediuk R., Olisov A., Vatin N., Alfimova N. Heat treatment of basalt fiber reinforced expanded clay concrete with increased strength for cast-in-situ construction. Fibers. 2020. Vol. 8 (11). 67.
19. Klyuev S.V. High-strength fine-grained fiber-reinforced concrete based on technogenic raw materials and composite binders [Vysokoprochnyy melkozernistyy fibrobeton na tekhnogenom syr'ye i kompozitsionnykh vyazhushchikh]. Concrete and reinforced concrete. 2014. No. 4. Pp. 14–16. (rus)
20. Borovskikh IV, Morozov NM Improving the durability of basalt fiber in cement concrete [Povyseniye dolgovechnosti bazalt'ovoy fibry v tsementnykh betonakh]. Izvestiya KazGASU. 2012. No. 2 (20). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/povyseniye-dolgovechnosti-bazaltovoy-fibry-v-tsementnyh-betonah_rus
21. Akhmed A.A., Fedyuk R.S., Liseyev Yu.L., Timokhin R.A., Murali G. Use of Iraqi concrete scrap as a filler and aggregate for heavy and lightweight concrete [Ispol'zovaniye betonnoy loma Iraka v kachestve napolnitelya i zapolnitelya tyazhelogo i logkogo betona]. Building materials and products. 2020. Vol. 3. No. 3. Pp. 28–39. (rus)
22. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamuri S.K.Sh., Gunchenko T.S. Composite binders based on concrete scrap [Kompozitsionnyye vyazhushchiye na osnove betonnoy loma]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 8–18. (rus)
23. Alaskhanov A.Kh., Murtazaeva T.S.A., Saidumov M.S., Omarov A.O. Development of compositions of filled binders based on secondary raw materials for monolithic high-strength concretes [Razrabotka sostavov napolnennykh vyazhushchikh na osnove vtorichnogo syr'ya dlya monolitnykh vysokoprochnykh betonov]. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. 2019. Vol. 46. No. 3. Pp. 129–138. (rus)

Information about the authors

Lesovik, Valery S. DSc, Professor. E-mail: naukavs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Elistratkin, Michael Yu. PhD. E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Salnikova, Alyona S. Assistant. E-mail: privat.9292@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 26.03.2021

Для цитирования:

Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Сальникова А.С. Высокопрочные бетоны для леги-блоков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-8-18

For citation:

Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., Salnikova A.S. High strength concrete for lego-blocks. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 5. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-8-18