УДК 691.328.43

Состояние и перспективы применения текстиль-бетона

Дмитрий Юрьевич ПОПОВ, аспирант, e-mail: popov.dmitry412@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», 308012 Белгород, ул. Костюкова, 46

Аннотация. *Композиционные материалы широко применяются в строительной индустрии всего мира, поскольку именно с их помощью становится возможным упрощение технологических процессов возведения зданий и сооружений с достижением наилучших результатов конечного композита. В статье рассказано о появлении в отрасли строительных материалов нового композиционного материала — текстиль-бетона, дано представление об основных областях его использования и перспективах применения. Установлено, что при выполнении ряда работ по усилению зданий и сооружений, особенно это касается памятников архитектуры, текстиль-бетон — незаменимый материал, так как придает значительную прочность и удовлетворяет требованиям норм по защите памятников архитектуры. Текстиль-бетон способен заменить классический железобетон в отраслях, где важным фактором в эксплуатации является собственный вес конструкции: в мостостроении, системах перекрытий, при создании сэндвич-панелей и фасадных плит. Безграничные возможности открываются в использовании композита в качестве основного материала при создании малых архитектурных форм, объектов садово-парковой архитектуры. Благодаря своей высокой несущей способности, легкости в обращении и возможности создавать тонкостенные конструкции, текстиль-бетон расширяет границы современной архитектуры и ставит под сомнение сложившийся годами стереотип о тяжести, серости и узконаправленности использования бетона.*

Ключевые слова: *текстиль-бетон, композиционные материалы, текстильная сетка, усиление зданий и сооружений, малые архитектурные формы.*

CONDITION AND PERSPECTIVES OF USING TEXTILE REINFORCED CONCRETE

Dmitry J. POPOV, e-mail: popov.dmitry412@yandex.ru

Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, ul. Kostyukova, 46, Belgorod 308012, Russian Federation

Abstract. *Composite materials are widely used in building industry of the whole world since with their help it is possible to simplify technological process of construction of buildings and structures with achieving the best results of the final composite. This article informs about the appearance a new composite material in industry of building materials — textile reinforced concrete; an idea about the main areas of its use and prospects of its application is given. It is established that when performing a series of works on strengthening buildings and structures, especially the architectural monuments, textile reinforced concrete is an indispensable material since it gives considerable strength, satisfies the norm requirements for the protection of architectural monuments. Textile reinforced concrete can replace the classic reinforced concrete in industries where an important factor in the operation is an own weight of the structure — in bridge building, floor systems, when creating sandwich panels and facade panels. Unlimited possibilities are opened to use the composite as the primary material when creating small architectural forms, objects of landscape architecture. Due to its high load-bearing capacity, easy handling and ability to create thin-walled constructions, textile reinforced concrete expands the boundaries of modern architecture and calls into question the long established stereotype about weight, greyness and narrowly focused use of concrete.*

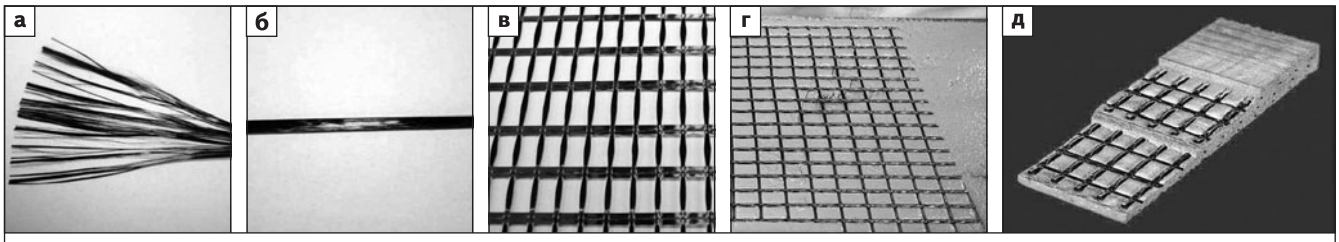
Key words: *textile reinforced concrete, composite materials, textile mesh, strengthening of buildings and structures, small architectural forms.*

Новый этап в развитии общества влечет за собой создание благоприятных условий для жизни людей за счет улучшения окружающей архитектуры, изменения колористки, формы, комфортности и т. д. [1, 2]. Для достижения поставленных целей необходимы новые строительные материалы, обладающие широким спектром свойств и характеристик. В этой связи большой интерес вызывает текстиль-бетон.

Текстиль-бетон — композиционный материал на основе мелкозернистого бетона и текстильной сетки *(рис. 1)*. Он подходит для создания новых и укрепления существующих конструкций. Бетон имеет сравнительно низкое значение предела прочности при изгибе, поэтому данный показатель компенсируется текстильной арматурой, которая применяется в виде сотканных полотен сеток, изготовленных из волокон щелочестойкого AR-стекла или углеродного волокна [3].

Самый большой недостаток стальной арматуры — ее подверженность коррозии [4]. В течение длительного времени стальной арматуре искали альтернативу. Это и стало основной задачей материаловедов, решение кото-

© ПОПОВ Д. Ю., 2018



а — волокно; б — нить; в — сетка; г — послойная укладка бетонной смеси и сетки; д — текстиль-бетон

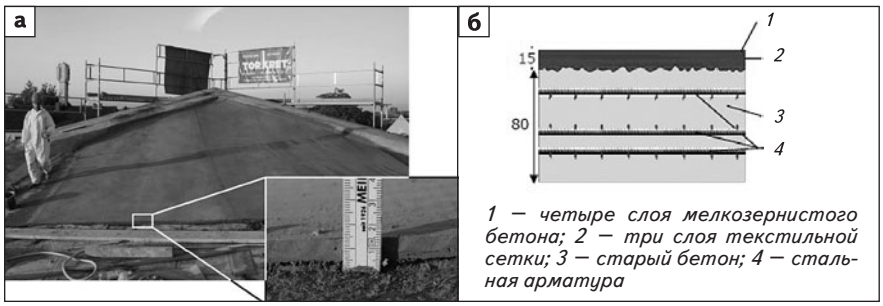
Рис. 1. ***Этапы изготовления текстиль-бетона***

рой привело к созданию текстиль-бетона [5].

Текстиль-бетон был разработан в 1990-х гг. и впервые опробован в 1994 г. Дальнейшие исследования проводились в рамках двух программ немецкого научно-исследовательского фонда: SFB 528 «Текстильная арматура для строительно-технического усиления и реконструкции» в Техническом университете Дрездена и SFB 532 «Бетоны, армированные текстильной арматурой — основания для развития новых технологий» в Рейнско-Вестфальском техническом университете г. Ахена в период с 1999 по 2011 гг. В Дрездене внимание было сосредоточено на использовании текстиль-бетона для усиления и реконструкции зданий, в то время как в г. Ахене на первом месте стояла задача применения текстиль-бетона для создания конструкций и сооружений.

В результате интенсивной работы появились малые коммерческие предприятия: в 2007 г. был основан Немецкий центр текстиль-бетона [6] и малые инновационные предприятия «TUDATEX GmbH» и «CarboCon GmbH» [7, 8]. Они специализируются в области исследований и разработок новых методов и концепций текстильных технологий для текстильной промышленности и прикладных отраслей.

В 2014 г. в Германии стартовал междисциплинарный проект «C3 — Carbon Concrete Composite». В настоящее время этот проект — наиболее широкая платформа для обсуждения достижений, реализации идей и переноса знаний о текстиль-бетоне в практику строительства. В нем участвуют более 150 членов из научно-исследовательских институтов, компаний и ассоциаций [9].



1 — четыре слоя мелкозернистого бетона; 2 — три слоя текстильной сетки; 3 — старый бетон; 4 — стальная арматура

Рис. 2. ***Укладка текстиль-бетона (а) и схема усиления текстиль-бетоном (б) [10]***

Впервые на практике текстиль-бетон был опробован в качестве материала для усиления железобетонных конструкций при реконструкции крыши большой аудитории в университете прикладных наук в г. Швайнфурте (Германия) в 2006 г. [10].

Методика усиления текстиль-бетоном хорошо себя зарекомендовала. Было достигнуто хорошее сцепление свежеуложенного мелкозернистого бетона с поверхностью старого бетона за счет очистки поверхности от разрушившегося камня, затирки микротрещин и обдувки. В качестве армирующего материала использовалась текстильная сетка из углеродного волокна. Полотна сетки укладывали послойно между слоями мелкозернистого бетона толщиной 3 мм, общая толщина текстиль-бетона составила 15 мм *(рис. 2)* [10].

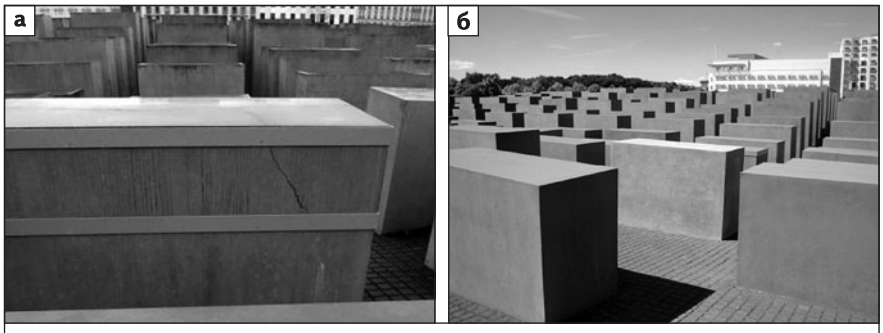
Следующий опыт применения состоялся в 2008 г. при реконструкции исторического здания — инженерной школы в г. Цвикау (Германия) [11]. В рамках требований по защите памятников архитектуры стояла задача произвести усиление крыши исторического здания, имеющей цилиндрическую форму. По результатам расчетов, прочность сооружения не соответствовала стандартным нормам DIN 1045-1. Традиционные методы усиления с применением пневмобетона (шприц-бетона) [12] не подходили, поскольку при этом возрастала толщина отделочного слоя и утяжелялась вся конструкция, что снижало несущую способность всех элементов здания.

Другой рассмотренный альтернативный метод заключался в усилении сооружения наклеивающимися пластинами [13], которые позволяют увеличить его несущую способность. Однако при этом методе также создается до-

а — укладка полотна текстильной сетки; б — нанесение бетонной смеси методом торкретирования; в — наружное усиление

Рис. 3. ***Усиление текстиль-бетоном [11]***

Рис. 4. ***Усиление купола исторического здания [11]***



а — металлическая стяжка на памятнике; б — объект, реконструированный с помощью текстиль-бетона

Рис. 5. ***Проведение работ по реконструкции памятника [15]***

полнительная нагрузка на конструкцию, что существенно затрудняет отделочные работы.

В Немецкий центр текстильбетона поступил запрос о возможности усиления крыши здания текстиль-бетоном [11]. По технологии усиления следовало сначала удалить штукатурный слой, а затем восстановить несущую способность объекта с помощью многослойной укладки полотен текстильной сетки *(рис. 3а)* и мелкозернистого бетона методом торкретирования (набрызгом) *(рис. 3б).* Армирование проводилось на внутренней и внешней поверхностях *(рис. 3в),* общая толщина усиления составляла 6—12 мм, в качестве армирующей сетки использовались полотна из углеродных нитей линейной плотностью 800 текс.

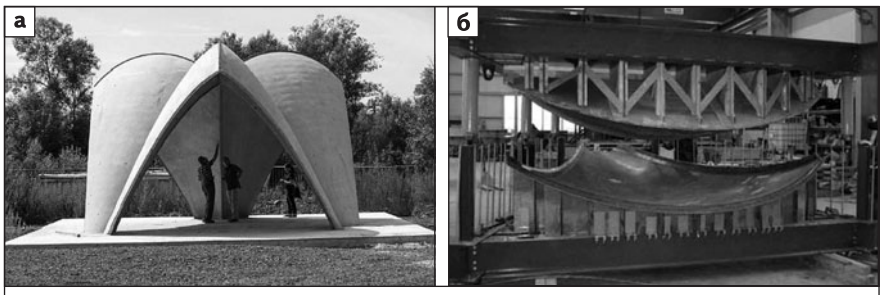
Кроме того, был реконструирован купол исторического зданий *(рис. 4)* [11]. В качестве армирующей сетки использовались полотна плотностью 1200 текс из волокон щелочестойкого AR-стекла.

Использование текстиль-бетона вместо старого штукатурного слоя давало возможность сохранить оригинальную геометрию, форму и изящный стиль крыши исторического здания. Кроме того, применение данного способа усиления было целесообразным с точки зрения требований защиты памятников архитектуры, пожарно-технической безопасности и расчетов прочности конструкции крыши.

В 2009—2010 гг. усилены крыша и межэтажное перекрытие здания торгового центра в г. Праге [14]. В 2010 г. на промышленном предприятии «Canyon Bicycles GmbH» (Германия) проведено усиление потолка нижнего этажа производственного здания [15]. В 2014—2016 гг. в Мюнхене на фасаде высотного здания в три этапа проводились различные виды работ, такие как усиление бетонных частей, защита от коррозии железобетонных элементов, перепрофилирование поврежденных частей здания и многое другое [15].

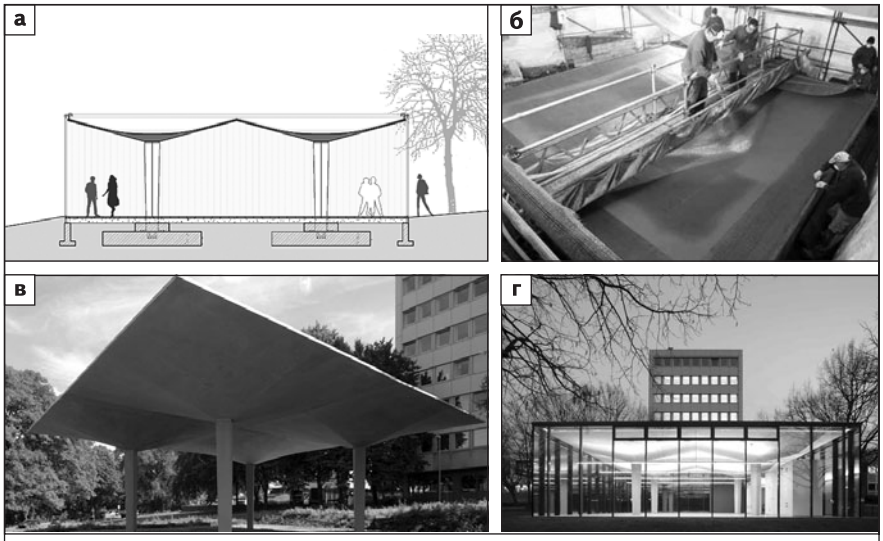
Всемирно известный Мемориал жертвам холокоста в центре Берлина также был реконструирован с использованием текстиль-бетона в 2010 г. Как видно из *рис. 5а,* металлическая стяжка объекта, подвергшегося разрушению, непригодна для памятника с мировой известностью. Этот способ усиления серьезнейшим образом нарушал эстетическую ценность мемориала. Металлическая стяжка была удалена и выполнена работа по реконструк-

Рис. 6. ***Мост из текстиль-бетона в г. Ошатце (а), г. Кемптене (б) [5] и г. Албштадт-Лаутлингене (в) [17] (Германия)***



а — конструкция из текстиль-бетона; б — формовка элементов конструкции

Рис. 7. ***Первое самостоятельное сооружение из текстиль-бетона [18]***



а — проект здания; б — формовка оболочек; в — конструкция здания из текстиль-бетона; г — готовое остекленное здание

Рис. 8. ***Этапы возведения здания [19]***

ции с помощью текстиль-бетона *(рис. 5б)*.

Первый в мире мост из текстиль-бетона был возведен в 2005 г. в г. Ошатце (Германия) и предназначался для пешеходов и велосипедистов *(рис. 6а)*. Его размеры (8,66 м в длину и 2,5 м в ширину) относят это сооружение к классу малых мостов. Конструкция состоит из 10 U-образных секций толщиной от 3 см, скрепленных между собой неподвижными стальными стержнями. Масса моста всего лишь 5 т, но его несущая способность составляет 38 т. Обычный железобетонный мост, обладающий такой же несущей способностью, весил бы в 5 раз больше [5].

Текстильная сетка располагается в четыре ряда между слоями мелкозернистого бетона толщиной примерно 6 мм. Использовалась сетка из щелочестойкого AR-стекла (тип NWM3-002-05), нити которого имеют плотность примерно 2400 текс и предел прочности при разрыве 600 МПа.

В 2007 г. в г. Кемптене (Германия) был также построен секционный мост из текстиль-бетона, но уже с улучшенными технологическими свойствами *(рис. 6б)* [5, 16]. Его длина составляет 17 м, ширина — 2 м. Мост состоит из 18 U-образных секций, произведенных заводским путем. Как и в первом случае, они скреплены между собой стальными неподвижными стержнями. Масса моста — 12,8 т.

Самый длинный мост в мире из текстиль-бетона, построенный в 2010 г., находится в г. Албштадт-Лаутлингене (Германия), *(рис. 6в)* [17]. Мост поражает не только своим дизайном, но и техническими характеристиками. Он состоит из семи сборных элементов длиной 17,2 м, высотой 43,5 см и шириной 3,21 м. Длина моста — 97 м. Соотношение высоты и длины конструктивных элементов из текстиль-бетона составляет 1:35, минимальный слой бетонного покрытия, защищающего арматуру опорных частей моста, — 1,5 см. Толщина крайних консолей — около 9 см.

Как и при строительстве пред-

Рис. 9. ***Фасад здания «Innotex» из текстиль-бетона в г. Ахен (Германия) [20]***

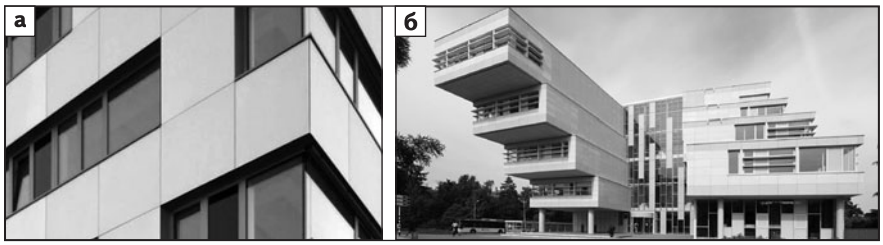


Рис. 10. ***Фасадные плиты из текстиль-бетона на здании лаборатории в г. Дрездене, Германия (а) и на университете в г. Неймегене, Нидерланды (б) [21]***

шествующих двух мостов, в качестве армирующего материала использовалась текстильная сетка из щелочестойкого AR-стекла, а также бетон класса С 55/67 с размером зерен 4 мм.

Рассмотренные проекты демонстрируют положительные стороны инновации текстиль-бетона в строительстве, приведшие к уменьшению веса сооружений, сокращению материальных затрат, а также ожидается увеличение срока службы материала.

Первое самостоятельное сооружение из текстиль-бетона появилось в рамках программы «SFB 528» в 2009 г. [18]. Оно представляет собой монолитные раковины треугольной формы толщиной до 40 мм и максимальной длиной ребра 5 м *(рис. 7)*. Формовка производилась в промышленных условиях путем подачи бетона в опалубку. При этом мелкозернистая бетонная смесь обладала особыми, присущими ей свойствами для обеспечения равномерного заполнения и вытеснения воздуха из объема опалубки.

На территории студенческого городка технического университета г. Ахена в 2012 г. в рамках программы «SFB 532» была сконструирована легкая филигранная конструкция из текстиль-бетона в виде развернутых парусов (трехмерных оболочек) *(рис. 8)* [19]. В дальнейшем конструкция приобрела стеклянные стены и коммуникации и в настоящее время используется для проведения семинаров и конференций.

а — выставочный объект в Хемницком техническом университете в исследовательском павильоне (Германия) [22]; б — арт-объект «Мембранная оболочка» [23]; в — мебель из текстиль-бетона [24]

Рис. 11. ***Малые архитектурные объекты и мебель из текстиль-бетона***

Размеры парусов-оболочек составляют 7×7 м с толщиной края оболочек всего 6 см. Оболочки опираются на железобетонные колонны, которые, в свою очередь, посажены на железобетонные ростверки *(см. рис. 8а)*. По краям оболочки соединены металлическими стержнями и вместе представляют конструкцию размером 14×14 м и высотой 4 м. Оболочки были заформованы в промышленных условиях с применением высокопрочного состава мелкозернистого бетона и текстильной армирующей сетки из углеродного полотна *(см. рис. 8б)*. В общей сложности оболочки состоят из 12 слоев уложенных углеродных сеток, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Бетонный раствор наносили равномерно методом торкретирования.

Очень перспективным видится направление в применении текстиль-бетона при создании сэндвич-панелей и фасадных плит [20]. Начиная с 2009 г. в Германии стали появляться здания, полностью обшитые этим материалом. Яркий пример — фасад здания института изучения текстиля «Innotex» (Германия) *(рис. 9)*. Сэндвич-панели имеют размеры 3,45×1×0,18 м.

Современная архитектура весьма склонна к модернизму и требует от зданий больше прак-

тичности, чем роскоши. Для зданий в стилях хай-тек и модерн будут приемлемы отделочные материалы, выполненные из текстиль-бетона. Так, в 2008 г. были разработаны первые фасадные плиты из текстиль-бетона и установлены на здании лаборатории в г. Дрездене (*рис. 10а)* [21]. Применялись панели площадью 2 м^2 и толщиной 20 мм.

Еще один пример — университет прикладных наук в г. Неймегене (Нидерланды), здание которого было переделано и приобрело совершенно новый облик *(рис. 10 б).*

Текстиль-бетон заинтересовал не только инженеров, но также художников и дизайнеров. Так, новый композит зарекомендовал себя в качестве строительного материала для производства различной мебели, садово-парковых сооружений и малых архитектурных форм *(рис. 11)* [22—24].

Композиционные материалы, включающие в себя набор различных свойств, стали основными строительными материалами XXI в., что позволяет расширять возможности современной архитектуры. В этой связи особенно интересным видится применение текстиль-бетона в качестве универсального материала для создания сложных пространственных форм.

Основной недостаток текстильных армирующих материалов — высокая стоимость. Однако, как считает профессор М. Курбах: «Уже сегодня 20-кратное ценовое превосходство (углеродное волокно/сталь) компенсируется почти 24-кратной эффективностью текстиля. Это достигается за счет снижения веса (в 4 раза) и более высоким пределом прочности при разрыве (в 6 раз для углеродных материалов)» [3].

Основные достоинства текстиль-бетона следующие:

- отсутствие коррозии армирующего материала;
- высокий предел прочности при разрыве;
- возможность создания тонких и легких конструкций, а также сложных форм за счет гибкости армирующих сеток;
- увеличенная долговечность конструкции за счет снижения рисков саморазрушения.

Будущее строительного материаловедения связано с переходом на малоклинкерное вяжущее и на новую сырьевую базу. Поэтому использование высокопрочных композиционных вяжущих при создании текстиль-бетона весьма перспективно, поскольку это позволит сократить потребность в энергозатратном цементе и тем самым уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу. Применяя текстиль-бетон в строительстве, можно отказаться от использования крупного наполнителя — щебня и гравия, за счет отсутствия технологической надобности. В то же время использование техногенных песков и тонкомолотых отходов производства заменяет мелкий наполнитель природного происхождения, что вносит существенный вклад в решение экологических проблем, связанных с хранением отходов производства горно-обогатительных и металлургических комбинатов.

Вывод

Проведенный анализ использования текстиль-бетона показал, что его применение позволит решить ряд экологических, экономических, технических и социально-культурных проблем, связанных с промышленной отраслью, архитектурой и благоустройством городов. Бетон до сих пор ассоциировался с тяжестью, серостью и однообразием. Бетон и легкость — возможно ли это? Однако уже сегодня текстиль-бетон разрушает это кажущееся противоречие и позволяет создавать эффектную дизайнерскую структуру здания. В будущем бетон станет легким, гибким и пластичным, что будет способствовать появлению необычных технических и дизайнерских решений в архитектуре.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Лесовик В. С.* Геоника (геомиметика) как трансдисциплинарное направление исследований // Высшее образование в России. 2014. № 3. С. 77–83.
1. Lesovik V. S. Geonika (geodaetica) as a transdisciplinary area of research. *Vysshee obrazovanie v Rossii*, 2014, no. 3, pp. 77–83. (In Russian).
2. *Лесовик В. С., Перькова М. В., Бабаев В. Б.* Архитектурная геоника как междисциплинарное направление в архитектурной науке и практике // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 6. С. 74–79.
2. Lesovik V. S., Per'kova M. V., Babaev V. B. Architectural geonik as interdisciplinary direction in architectural science and practice. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2015, no. 6, pp. 74–79. (In Russian).
3. Curbach M., Graf W., Jesse D., Sickert J. U., Weiland S. Segmentbrucke aus textilbewehrtem Beton – Konstruktion, Fertigung, numerische Berechnung [Сегментный мост из текстильно-армированного бетона – конструкция, изготовление, численный расчет]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2007, N. 102(6), S. 342–352. (In German).
4. *Савин А. В., Лесовик В. С., Алфимова Н. И.* К проблеме коррозионной стойкости железобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 7–12.
4. Savin A. V., Lesovik V. S., Alfimova N. I. To the problem of corrosion resistance of reinforced concrete. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 2013, no. 2, pp. 7–12. (In Russian).

5. Schladitz F., Lorenz E., Walther T. Textilbeton – Gestaltung ohne Grenzen? [Текстиль-бетон – дизайн без границ] X Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie. Marz 13 2014, S. 49–55. (In German).
6. Available at: https://baublog.file1.wcms.tu-dresden.de/2007/10/31/textilbeton-in-die-praxis-uberfuhren (accessed 17.08.2017). (In German).
7. TUDATEX. Available at: http://www.tudatex.de. (accessed: 17.08.2017). (In German).
8. CarboCon. Available at: http://www.carbocon-gmbh.de. (accessed 17.08.2017). (In German).
9. Available at: https://www.bauen-neu-denken.de/c3-partnerliste. (дата обращения: 17.08.2017). (In German).
10. Hankers C., Matzdorf D. Verstarkung von Stahlbetonbauteilen mit textbewehrtem Spritzbeton [Усиление железобетона текстильно-армированным торкретбетоном]. Fachausatz, 2006. 10 S. (In German).
11. Schladitz F., Lorenz E., Jesse F., Curbach M. Verstarkung einer denkmalgeschutzten Tonnenschale mit Textilbeton [Усиление купола памятника архитектуры текстиль-бетоном]. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2009, N. 104, Heft 7, S. 432–437. (In German).
12. Hankers Chr. Spritzbeton für die Instandsetzung und Verstarkung von Stahlbeton [Торкретбетон для восстановления и усиления железобетона]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2005, N. 100, S. 49–56. (In German).
13. Bergmeister K. Verstarkung von Biegetragern [Усиление изгибающих конструкций]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2005, N. 100, S. 62–68. (In German).
14. Available at: http://www.textilbetonzentrum.de/referenzen-1/hochbau-und-tiefbau (accessed 8.10.2017). (In German).
15. Available at: http://www.torkret.de (accessed 8.10.2017). (In German).
16. Michler H. Segmentbrucke aus textilbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgau [Сегментный мост из текстильно-армированного бетона]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2013, N. 108, Heft 5, S. 325–334. (In German).
17. Hegger J., Goralksi C., Kulas C. Schlanke Fügangerbrucke aus Textilbeton – Sechsfeldrige Fügangerbrucke mit einer Gesamtlange von 97 m [Узкий пешеходный мост из текстиль-бетона – шестипольный пешеходный мост общей длиной 97 м]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2011, N. 106, Heft 2, S. 64–71. (In German).
18. Ehlig D., Schladitz F., Frenzel M., Curbach M. Textilbeton – Ausgefuhrte Projekte im Uberblick [Текстиль-бетон – обзор завершенных проектов]. *Beton und Stahlbetonbau*, 2012, N. 107(11), S. 777–785. (In German).
19. Scholzen A., Chudoba R., Hegger J. Dunnwandiges Schalentragwerk aus textilbewehrtem Beton. Entwurf, Bemessung und baupraktische Umsetzung [Тонкостенная оболочка из текстильно-армированного железобетона. Эскиз, расчет параметров и конструктивно-практическая реализация]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2012, Heft 11, S. 767–776. (In German).
20. Rempel S., Will N., Hegger J., Beul P. Filigrane Bauwerke aus Textilbeton [Филигранные конструкции из текстиль-бетона]. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2015, N. 110, S. 1–10. (In German).
21. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: „betoShell" Platten aus Betonwerkstein mit ruckseitig einbetonierten Befestigungselementen zur Verwendung als hinterluftete Aüenwandbekleidung oder als abgehangte Decke [Бетонные каменные плиты «betoShell» с крепежными элементами, наложенными на стену для использования в качестве вентилируемой наружной облицовки стен или подвесного потолка Z-33]. Berlin, DIBt, 2013. (In German).
22. Gelbrich S. Organisch geformter Hybridwerkstoff aus textilbewehrtem Beton und glasfaserverstarktem Kunststoff [Органически сформированный гибридный материал из текстильно-армированного бетона и стеклопластика]. *Leichter bauen — Zukunft formen*, 2012, N. 7, S. 9. (In German).
23. Available at: https://www.ims-institute.org (accessed 17.08.2017).
24. Available at: https://www.paulsberg.co. (accessed 17.08.2017).

Для цитирования: *Попов Д. Ю.* Состояние и перспективы применения текстиль-бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 3. С. 51–57.

For citation: Popov D. J. Condition and Perspectives of Using Textile Reinforced Concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, no. 3, pp. 51–57. (In Russian).

ЖУРНАЛ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» ИНДЕКСИРУЮТ:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU

Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

ULRICHSWEB™ GLOBAL SERIALS DIRECTORY

САЙТ ЖУРНАЛА «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»: **www.pgs1923.ru**