

К. ХОЛЬШЕМАХЕР¹, А.Г. БУЛГАКОВ², В. ПОЛИЕНКО¹¹Высшая школа техники, экономики и культуры, Лейпциг, Германия²Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

УСИЛЕНИЕ НЕСУЩИХ КОЛОНН С ПОМОЩЬЮ УГЛЕБЕТОНА

Аннотация. Текстиль-бетон – инновационный композитный материал, являющийся предметом интенсивных исследований с начала 90-х годов прошлого века. После утверждения норм и правил по его применению для усиления плит-перекрытий был сделан важный шаг к его выходу на рынок строительных материалов. Вопросы же, касающиеся армирования стержнеобразных несущих элементов строительных конструкций нуждаются в дополнительных исследованиях. Несмотря на имеющийся при этом большой потенциал, метод обвязки несущих опор и колонн до сих пор изучен недостаточно. Имеется потребность в проведении научных исследований, касающихся широкого диапазона геометрических параметров и используемых систем армирования. В институте железобетона Высшей технической школы г. Лейпциг были проведены испытания различным образом армированных углеволокном образцов в широком диапазоне геометрических параметров. Их целью являлась оценка влияния на возможное увеличение несущей способности колонн, армированных углеродом, при концентрированной точечной нагрузке.

Ключевые слова: текстиль-бетон, несущие опоры и колонны, строительные конструкции, несущая способность колонн.

K. HOLSCHEMACHER¹, A.G. BULGAKOV², W. POLIENKO¹¹High School of Engineering, Economics and Culture, Leipzig, Germany²Southwestern State University, Kursk, Russia

STRENGTHENING SUPPORTING COLUMNS WITH CARBON CONCRETE

Abstract. Textile concrete is an innovative composite material that has been the subject of intensive research since the beginning of the 90s of the last century. After the approval of the rules and regulations on its application to strengthen floor slabs, an important step was taken towards its entry into the building materials market. Questions regarding the reinforcement of rod-shaped load-bearing elements of building structures need additional research. Despite the great potential available, the method of tying load-bearing supports and columns is still not well understood. There is a need for research on a wide range of geometric parameters and the reinforcement systems used. The Institute of Reinforced Concrete of the Higher Technical School in Leipzig tested various samples of carbon-reinforced samples in a wide range of geometrical parameters. Their goal was to assess the effect on a possible increase in the bearing capacity of carbon-reinforced columns at a concentrated point load.

Keywords: text textile concrete, bearing supports and columns, building structures, bearing capacity of columns.

1. Введение

Железобетонные колонны являются важным конструктивным элементом и имеют значительный потенциал для восстановления или увеличения их несущей способности. Однако поперечные сечения колонны редко имеют большой запас по несущей способности, поэтому, если нагрузка на колонну должна быть увеличена, последующее усиление обычно неизбежно [1,2]. Хотя классические способы усиления, такие как торкрет-бетонные

оболочки, уже используются в строительной практике, в течение многих лет предпринимались попытки применить текстиль-бетон для усиления колонн.

Обвязка колонны текстиль-бетоном может вызвать значительное увеличение поперечного сечения сердечника колонны. Результирующее трехосное напряженное состояние в бетонном сердечнике позволяет значительно повысить несущую способность несущего элемента. Однако искривление армирующего слоя, которое неизбежно возникает из-за обертывания опор, оказывает значительное влияние на эффективность армирования. Поперечное давление в текстиле, возникающее в результате этого эффекта, а также дополнительные пики локальных напряжений на берегах трещин, приводят к снижению предела прочности композиционного материала [3-5].

2. Текстиль-бетон

Текстиль-бетон может быть определен как композитный материал, в котором плоская текстильная структура встроена в качестве армирования в бетонную матрицу. Преимущества по сравнению с известными композитными материалами, такими как железобетон или фибробетон, обусловлены благоприятными свойствами, такими как коррозионная стойкость и возможность упорядоченного ориентирования армирующих волокон. При использовании неметаллического текстильного армирования исключается необходимость в прочном бетонном покрытии для обеспечения долговечности, а также могут быть изготовлены тонкие и в то же время высоконесущие компоненты [6-14].

Текстильная арматура состоит из непрерывных волокон, которые объединяются в пучки от ста, до более чем тысячи нитей, образуя ровинги (непрерывные пучки волокон). Для использования в качестве армирующего компонента в бетоне в основном используются устойчивые к щелочам стекла, углеродные и арамидные волокна. При проведении данных исследований в качестве армирующего материала использовались только углеродные волокна [15-21].

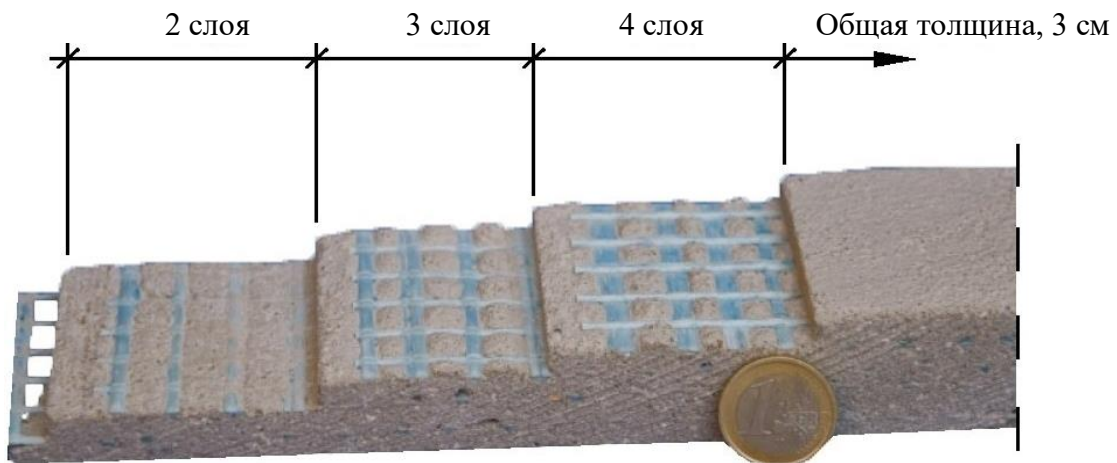


Рисунок 1 - Типичные размеры элементов при усилении текстиль-бетоном 5

3. Экспериментальные исследования

3.1. Объем исследований

В целях расширения существующей базы данных испытаний для усиления опор углеродным бетоном в рамках исследований было изготовлено 24 испытательных образца, армированных углеродным бетоном, с различными параметрами. Рассматривались две разных системы усиления. Для этого образцы были разделены, соответственно, на две серии, каждая из которых была усилена одной из систем. Кроме того, радиусы углов закругления испытуемых образцов были согласованы с квадратными поперечными сечениями. Исходя из этого, выбраны три значения радиусов, чтобы описать влияние результирующего

поперечного давления на текстиль в угловой области.

Каждая серия состояла из 15 образцов:

- 3 неармированных контрольных образца с радиусом закругления 62,5 мм;
- 9 усиленных образцов квадратного сечения с длиной стороны 150 мм и различными радиусами закругления углов ($R = 25$ мм, $R = 37,5$ мм, $R = 55$ мм);
- 3 усиленных образца с круглым поперечным сечением диаметром 150 мм.

3.2. Системы усиления колонн

Первая серия испытаний была проведена при усилении колонн углеродной тканью типа Tudalit BZT2-V.FRAAS, которая уже была регламентирована и допущена к применению в строительстве [1]. В качестве бетонной матрицы использовался раствор от производителя Maхit под названием VP2 B2 SM20M HS МНК, наносимый на поверхность колонны методом набрызга. Он имеет максимальный размер зерна 2 мм и был специально разработан для углеродного армирования в процессе ручного ламинирования и распыления.

Текстильная арматура GRID Q142 / 142 - CCE - 25 из углеродных волокон, использованная во второй серии испытаний, была разработана производителем Solidian. Эта текстильная арматура имеет размеры ячеек 25 мм по всем направлениям. Как правило, текстиль пропитан эпоксидной смолой. Однако для того, чтобы также обрабатывать текстиль в угловой зоне, его пропитывали по согласованию с производителем гибкой дисперсией на основе стирол-бутадиенового каучука. Мелкозернистый бетон TUDALIT-TF10-PAGEL используется здесь в качестве бетона усиления [22-31].

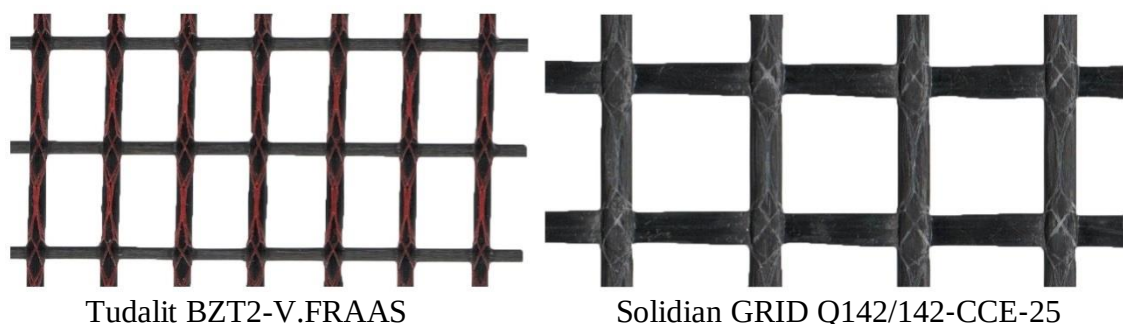


Рисунок 2 - Схемы расположения армирующих волокон

3.3. Геометрические параметры поперечного сечения колонн

Чтобы исследовать влияние различных геометрических форм поперечного сечения на эффективность железобетонного армирования, радиусы закругления углов были оценены от наименьшего в 25 мм, до круглой колонны диаметром 150 мм. Образцы для испытаний с радиусом закругления 62,5 мм служили неармированными контрольными элементами для испытаний. Рассмотренные варианты геометрии поперечного сечения представлены в графическом виде на рисунке 3.

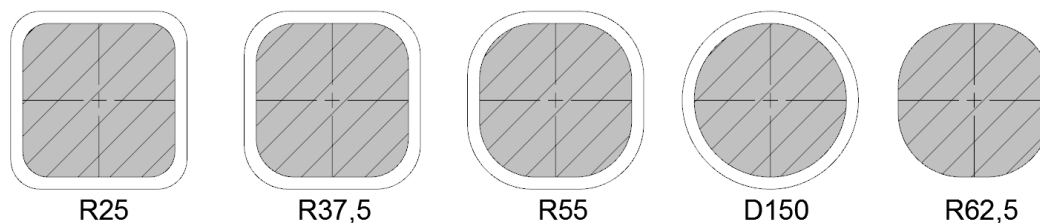


Рисунок 3 - Варианты геометрических форм поперечного сечения

3.4. Изготовление опытных образцов

Для изготовления сердечников несущих колонн использовалась опалубка с гипсовыми трафаретами с разным радиусом закругления по углам. Трафареты крепились с

помощью акрилового герметика. После изготовления сердечников колонн штукатурные трафареты удалялись и утилизировались. Далее из их середины этих колонн вырезались столбики высотой 35 см, которые затем шлифовали до зернистой структуры и подготавливали к армированию. Армирующие слои системы наносились методом ламинирования вручную. В то время как образцы для испытаний серии ZT-M были обработаны тремя слоями армирующего материала, то при проведении испытаний образцов типа SOL-P использовалось два слоя. Уменьшенное количество слоев во второй серии связано с использованием текстиля. Большие площади поперечного сечения ровинга и, как следствие, повышенная жесткость текстиля позволили связать лишь два слоя с постоянной толщиной слоя 15 мм. Поддержание равномерности толщины слоя в 5 мм обеспечена путем приклепления шаблонов к торцам элементов во время нанесения покрытия.

3.5. Проведение испытаний

Все испытания проводились со следящим управлением, чтобы можно было точно проанализировать процессы перераспределения усилий в армирующем слое при его разрушении. Испытываемые образцы получали предварительную нагрузку 20 кН. Данные измерительных приборов непрерывно контролировались и регистрировались. Для этого на противоположных сторонах были установлены индуктивные датчики перемещения и тензометрические датчики для измерения деформаций. Результаты документировались вплоть до снижения несущей способности, примерно, на 50%, так что можно было записать всю процедуру испытания и поведение испытуемых образцов.

4. Оценка полученных результатов

Увеличение несущей способности элементов было достигнуто со всеми исследованными вариантами геометрии первой серии испытательных образцов, усиленных системой армирования BZT-M (3 эффективных слоя толщиной в 15 мм). Диаграммы напряжения-деформации, представленные на рисунке 4, показывают четкое перераспределение нагрузки после разрушения сердечника на систему армирования, в результате чего на диаграмме наблюдалось увеличение угла наклона.

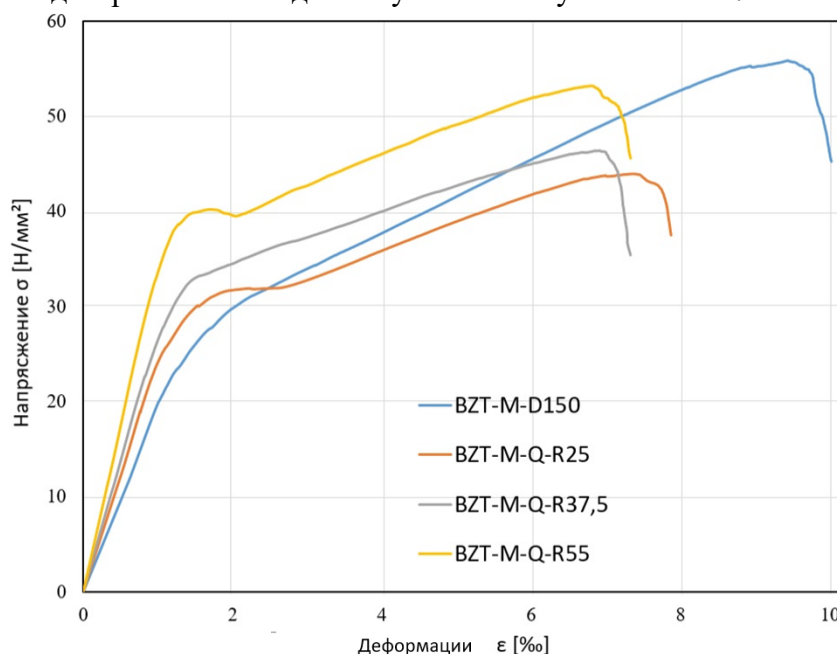


Рисунок 4 - Диаграммы состояния «напряжение-деформация» обеих систем армирования

Образцы для испытаний второй серии, усиленные системой SOL-P (2 эффективных слоя толщиной в 15 мм), незначительно изменяют несущую способность элементов. После разрушения сердечника слой усиления включается в силовое сопротивление, но только в

небольшой степени, так что прочность бетона сердечника на сжатие не превышает. Тем не менее, результаты испытаний для цилиндрических опытных образцов показали эффективность армирующего слоя, за счет которого было достигнуто среднее увеличение несущей способности по сравнению с неармированными контрольными образцами на 23%. Полученные результаты указывают на явную проблему склеивания внутри ровингов, поскольку, несмотря на большие площади поперечного сечения пряжи по сравнению с системой BZT-M, было достигнуто меньшее увеличение несущей способности.

По мере того, как площадь поперечного сечения ровинга увеличивается, доля сердцевинного волокна увеличивается квадратично, тогда как окружность и, следовательно, доля кромочного волокна увеличивается только линейно. Поскольку краевые волокна находятся в прямом контакте с бетонной матрицей, их адгезионная связь улучшается за счет полного или частичного соединения. С другой стороны, в сердцевинные волокна проникают продукты гидратации или вторичное покрытие лишь изредка, и они в основном могут активироваться силами трения. При увеличении содержания волокон в сердечнике качество композита по отношению к общей площади поперечного сечения ухудшается в процентном отношении.

Напряжения на границе раздела волокон-матриц значительно выше, чем на границе раздела волокон-волокон. Существует неравномерное нагружение волокон, которое, согласно результатам исследований *Ohno* и *Hannant* [32], иллюстрируется механической моделью, представленной на рисунке 5.

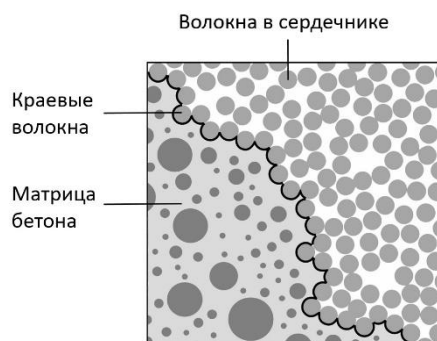


Рисунок 5 - Кривая расширения сердечника и краевых волокон согласно упрощенной механической модели *Ohno* и *Hannant*

5. Интерпретация результатов испытаний

На основе оценки полученных данных можно найти простую аналитическую связь для прогнозирования увеличения несущей способности испытываемых образцов, усиленных углеродистым бетоном. Для этой цели по результатам эксперимента были определены отношения давления связывания и прочности бетона в сердечнике по сравнению с отношениями прочности при сжатии к прочности бетона и перенесены на диаграмму. Такая формулировка известна из литературы и была выбрана на основе современных моделей проектирования армирования колонн текстильным бетоном.

Все существующие результаты испытаний были использованы для формулирования расчетной формулы для прогнозирования увеличения несущей способности за счет обвязки углеродистым бетоном.

Эмпирические константы формулы описываются уравнением линейной регрессии. Аналитическая зависимость полученных результатов испытаний (рисунок 6) имеет следующий вид:

$$\frac{f_{cc}}{f_{co}} = 3,28 \cdot \frac{f_{l,u}}{f_{co}} + 0,92,$$

где f_{cc} — прочность обжатого бетона; $f_{l,u}$ — давление обжатия от слоя усиления; f_{co} — прочность бетона на сжатие.

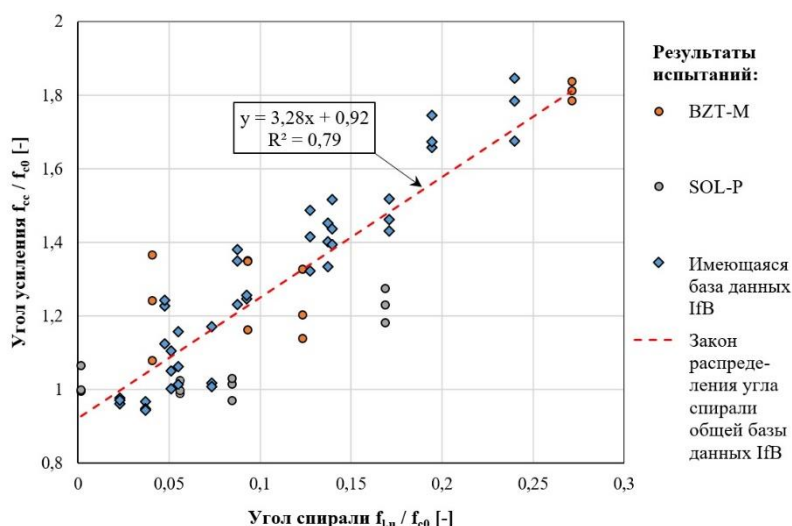


Рисунок 6 - Увеличение несущей способности колонны за счет армирования текстиль-бетоном

Приведенная формула действительна для соотношения $f_{lu}/f_{c0} < 0,3$. Кроме того, формула действительна только для колонн с круглым и квадратным поперечным сечением. Чтобы использовать формулу для прямоугольных поперечных сечений, база данных должна быть расширена и перекалибрована путем дополнительных испытаний образцов с различными размерами поперечного сечения в направлениях по осям OX и OY.

6. Заключение

1. Выполнены экспериментальные исследования колонн квадратного поперечного сечения (при наличии скруглений в углах) и круглого поперечного сечения, усиленных углебетоном с использованием двух систем усиления: Tudalit BZT2-V.FRAAS и Solidian GRID Q142/142-CCE-25.
2. Установлено, что использование усиления сечений углебетоном может привести к росту несущей способности до 23% за счет поперечного обжатия ядра сечения.
3. На основании экспериментальных данных получена аналитическая зависимость для прочности железобетонных колонн квадратного поперечного сечения (при наличии скруглений в углах) и круглого поперечного сечения, усиленных углебетоном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-31.10-182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). Deutsches Institut für Bautechnik (12.2016).
2. Käseberg S., Holschemacher K., Curbach M. Zum Tragverhalten CFK-umschnürter Stahlbetonstützen mit Kreisquerschnitt. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018). H. 7. S. 505-514.
3. Holschemacher K., Meßerer D., Heiden B. Test method for curvature-dependent tensile strength reduction of textile reinforced concrete (TRC). Proceedings of the 4th fib Symposium, Melbourne, Australia, 2018.
4. Meßerer D., Heiden B., Bielak J., Holschemacher K. Prüfverfahren zur Ermittlung des Krümmungseinflusses auf die Zugfestigkeit von Textilbeton. Bauingenieur 93 (2018). H. 11. Pp. 454-462.
5. Curbach M., Jesse F. Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau. Vol. 104 (2009). Nr. 1. S. 9-16.
6. Хольшемахер К., Либольдт М., Шладитц Ф., Титце М., Булгаков А.Г. Углебетон: от научных исследований до строительной практики // Сб. научн. тр. ПААСН. Т. 2. М.: Изд. АСВ, 2019, С. 580-591.
7. Scheerer S., Schladitz F., Curbach M. Textile reinforced Concrete – from the idea to a high performance material. In: Brameshuber, W. (Ed.): Proc. of FERRO-11 and 3rd ICTRC (PRO 98), 7.–10.6.2015 in Aachen, Bagneux: S.A.R.L.Rilem Publ. 2015. S. 15–33.
8. Curbach M., Ortlepp R. (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 528 - Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung – Abschlussbericht (gekürzte Fassung), <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-86425>
9. Curbach M; Ortlepp R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis – Tagungsband zum 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6); Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen) Berlin, 19.9.2011 – 20.9.2011, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-77684>

10. Hegger J.; Voss S.: Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete. In: Engineering Structures, Vol. 30 (2008). Iss. 7. Pp. 2050-2056.
11. Hegger J.; Will N.; Bruckermann O. et al.: Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete. In: Materials and Structures, Vol. 39 (2006). Iss. 8. pPp. 765–776.
12. Curbach M.; Offermann R.; Assmann U. (Hrsg.): Verstärken mit Textilbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau Spezial, Januar 2015.
13. May S.; Michler H.; Schladitz F. et al.: Lightweight ceiling system made of carbon reinforced concrete. In: Structural Concrete (2018) DOI: 10.1002/suco.201700224.
14. Schumann A.; Michler H.; Schladitz F. et al.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. In: Structural Concrete. (2017). DOI: 10.1002/suco.201700147.
15. C³ – Carbon Concrete Composite e.V.; TUDALIT e.V. (Hrsg.): Tagungsband der 9. Carbon- und Textilbetontage. Dresden, 2017.
16. Kulas C.: Allgemein bauaufsichtliche Zulassungen von Sandwichwänden und Modulbauten. In: TUDALIT Magazin, Heft 17, TUDALIT e.V. (Hrsg.), 2017, S. 20.
17. Von der Heid A.; Spelter A.: Allgemein bauaufsichtliche Zulassungen von Sandwichwänden und Fertigteilgaragen. In: TUDALIT Magazin, Heft 17, TUDALIT e.V. (Hrsg.), 2017, S. 21.
18. Michler H.: Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgäu. In: Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013), S. 325–334.
19. Hegger J.; Goralski C.; Kulas C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton, in: Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011). S. 64–71.
20. Helbig T.; Unterer K.; Kulas C. et al.: Fuß- und Radwegbrücke aus Carbonbeton in Albstadt-Ebingen. In: Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016). S. 676–685.
21. Rizalla S. H.; Tadros G.: FRP for prestressing of concrete bridges in Canada. ACI Special Publication (2003) 215. S. 75–90.
22. Ushijima K.; Enomoto T.; Koso N.; Yamamoto Y.: Field deployment of carbon-fiber-reinforced polymer in bridge applications. PCI Journal 61 (2016) 5. S. 29–36.
23. Beckmann B.; Frenzel M.; Lorenz E.; Schladitz F.; Rempel S.: Biegetragverhalten von textilbetonverstärkten Platten. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015) S1, S. 47–53 – DOI: 10.1002/best.201400117
24. Curbach M.; Ortlepp R.; Weiland S.; Hauptenbacher, B.: Textilbewehrter Beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007). Heft 6. S. 353–361.
25. Hentschel M.; Schumann A.; Ulrich H.; Jentzsch S.: Sanierung der Hyparschale Magdeburg. Bautechnik, XX (2019) H. 1
26. Schladitz F.; Lorenz E.; Jesse F.; Curbach M.: Verstärkung einer denkmalgeschützten Tonnenschale mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009). Heft 7. S. 432–437.
27. Al-Jamous A.; Uhlig K.: Sanierung der historischen Betonbogenbrücke in Naila. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden, 2017. S. 71–78.
28. Feix J.; Hansl M.: Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 25. Dresdner Brückenbausymposium. 09./10.3.2015, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden. S. 99–110.
29. Egger M.; Feix J.: Textilbeton im Ingenieurbau, Innsbrucker Bautage 2017, Band 6, 23. Februar 2017 in Innsbruck. S. 88-108.
30. Weiland S.; Schladitz F.; Schütze E.; Timmers R.; Curbach M.: Rissinstandsetzung eines Zuckersilos. Bautechnik 90 (2013) H. 8, S. 498–504. DOI: 10.1002/bate.201300046
31. Erhard E.; Weiland S.; Lorenz E.; Schladitz F.; Beckmann B.; Curbach M.: Anwendungsbeispiele für Textilbetonverstärkung. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015) S1, S. 74–82. DOI: 10.1002/best.201400124
32. Ohno S.; Hannant D.J.: Modelling the Stress-Strain Response of Continuous Fibre Reinforced Cement Composites. ACI Materials Journal 91 (1994), S. 306-312.

REFERENCES

1. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-31.10-182: Verfahren zur Verstärkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). Deutsches Institut für Bautechnik (12.2016).
2. Käseberg S., Holschemacher K., Curbach M. Zum Tragverhalten CFK-umschnürter Stahlbetonstützen mit Kreisquerschnitt. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018). H. 7. S. 505-514.
3. Holschemacher K., Meßerer D., Heiden B. Test method for curvature-dependent tensile strength reduction of textile reinforced concrete (TRC). Proceedings of the 4th fib Symposium, Melbourne, Australia, 2018.
4. Meßerer D., Heiden B., Bielak J., Holschemacher K. Prüfverfahren zur Ermittlung des Krümmungseinflusses auf die Zugfestigkeit von Textilbeton. Bauingenieur 93 (2018). H. 11. Pp. 454-462.

5. Curbach M., Jesse F. Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau. Vol. 104 (2009). Nr. 1. S. 9-16.
6. Хольшемахер К., Либольдт М., Шладитц Ф., Титце М., Булгаков А.Г. Углебетон: от научных исследований до строительной практики // Сб. научн. тр. РААСН. Т. 2. М.: Изд. АСВ, 2019, С. 580-591.
7. Scheerer S., Schladitz F., Curbach M. Textile reinforced Concrete – from the idea to a high performance material. In: Brameshuber, W. (Ed.): Proc. of FERRO-11 and 3rd ICTRC (PRO 98), 7.–10.6.2015 in Aachen, Bagneux: S.A.R.L.Rilem Publ. 2015. S. 15–33.
8. Curbach M., Ortlepp R. (Hrsg.): Sonderforschungsbereich 528 - Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung – Abschlussbericht (gekürzte Fassung), <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-86425>
9. Curbach M.; Ortlepp R. (Hrsg.): Textilbeton in Theorie und Praxis – Tagungsband zum 6. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6); Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen) Berlin, 19.9.2011 – 20.9.2011, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-77684>
10. Hegger J.; Voss S.: Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete. In: Engineering Structures, Vol. 30 (2008). Iss. 7. Pp. 2050-2056.
11. Hegger J.; Will N.; Bruckermann O. et al.: Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete. In: Materials and Structures, Vol. 39 (2006). Iss. 8. pPp. 765–776.
12. Curbach M.; Offermann R.; Assmann U. (Hrsg.): Verstärken mit Textilbeton. In: Beton- und Stahlbetonbau Spezial, Januar 2015.
13. May S.; Michler H.; Schladitz F. et al.: Lightweight ceiling system made of carbon reinforced concrete. In: Structural Concrete (2018) DOI: 10.1002/suco.201700224.
14. Schumann A.; Michler H.; Schladitz F. et al.: Parking slabs made of carbon reinforced concrete. In: Structural Concrete. (2017). DOI: 10.1002/suco.201700147.
15. C³ – Carbon Concrete Composite e.V.; TUDALIT e.V. (Hrsg.): Tagungsband der 9. Carbon- und Textilbetontage. Dresden, 2017.
16. Kulas C.: Allgemein bauaufsichtliche Zulassungen von Sandwichwänden und Modulbauten. In: TUDALIT Magazin, Heft 17, TUDALIT e.V. (Hrsg.), 2017, S. 20.
17. Von der Heid A.; Spelter A.: Allgemein bauaufsichtliche Zulassungen von Sandwichwänden und Fertigteilgaragen. In: TUDALIT Magazin, Heft 17, TUDALIT e.V. (Hrsg.), 2017, S. 21.
18. Michler H.: Segmentbrücke aus textilbewehrtem Beton – Rottachsteg Kempten im Allgäu. In: Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013), S. 325–334.
19. Hegger J.; Goralski C.; Kulas C.: Schlanke Fußgängerbrücke aus Textilbeton, in: Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011). S. 64–71.
20. Helbig T.; Unterer K.; Kulas C. et al.: Fuß- und Radwegbrücke aus Carbonbeton in Albstadt-Ebingen. In: Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016). S. 676–685.
21. Rizalla S. H.; Tadros G.: FRP for prestressing of concrete bridges in Canada. ACI Special Publication (2003) 215. S. 75–90.
22. Ushijima K.; Enomoto T.; Koso N.; Yamamoto Y.: Field deployment of carbon-fiber-reinforced polymer in bridge applications. PCI Journal 61 (2016) 5. S. 29–36.
23. Beckmann B.; Frenzel M.; Lorenz E.; Schladitz F.; Rempel S.: Biegetragverhalten von textilbetonverstärkten Platten. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015) S1, S. 47–53 – DOI: 10.1002/best.201400117
24. Curbach M.; Ortlepp R.; Weiland S.: Hauptenbucher, B.: Textilbewehrter Beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007). Heft 6. S. 353–361.
25. Hentschel M.; Schumann A.; Ulrich H.; Jentzsch S.: Sanierung der Hyparschale Magdeburg. Bautechnik, XX (2019) H. 1
26. Schladitz F.; Lorenz E.; Jesse F.; Curbach M.: Verstärkung einer denkmalgeschützten Tonnenschale mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009). Heft 7. S. 432–437.
27. Al-Jamous A.; Uhlig K.: Sanierung der historischen Betonbogenbrücke in Naila. In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 27. Dresdner Brückenbausymposium. 13./14.3.2017, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden, 2017. S. 71–78.
28. Feix J.; Hansl M.: Pilotanwendungen von Textilbeton für Verstärkungen im Brückenbau In: Curbach, M. (Hrsg.): Tagungsband zum 25. Dresdner Brückenbausymposium. 09./10.3.2015, Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden. S. 99–110.
29. Egger M.; Feix J.: Textilbeton im Ingenieurbau, Innsbrucker Bautage 2017, Band 6, 23. Februar 2017 in Innsbruck. S. 88-108.
30. Weiland S.; Schladitz F.; Schütze E.; Timmers R.; Curbach M.: Rissinstandsetzung eines Zuckersilos. Bautechnik 90 (2013) H. 8, S. 498–504. DOI: 10.1002/bate.201300046
31. Erhard E.; Weiland S.; Lorenz E.; Schladitz F.; Beckmann B.; Curbach M.: Anwendungsbeispiele für Textilbetonverstärkung. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015) S1, S. 74–82. DOI: 10.1002/best.201400124
32. Ohno S.; Hannant D.J.: Modelling the Stress-Strain Response of Continuous Fibre Reinforced Cement Composites. ACI Materials Journal 91 (1994), S. 306-312.

Информация об авторах:

Хольшемахер Клаус

Высшая школа техники, экономики и культуры, Лейпциг, Германия,
доктор технических наук, профессор, профессор факультета гражданского строительства.
E-mail: klaus.holschemacher@htwk-leipzig.de

Булгаков Алексей Григорьевич

Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства.
E-mail: agi.bulgakov@mail.ru

Полиенко Владислав

Высшая школа техники, экономики и культуры, Лейпциг, Германия,
аспирант факультета гражданского строительства.
E-mail: wladislaw.polienko@htwk-leipzig.de

Information about authors:

Holschemacher Klaus

Higher School of Technology, Economics and Culture, Leipzig, Germany,
doctor of technical sciences, professor, professor of the Faculty of Civil Engineering.
E-mail: klaus.holschemacher@htwk-leipzig.de

Bulgakov Alexey G.

Southwest State University, Kursk, Russia,
doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of Industrial and Civil Engineering.
E-mail: agi.bulgakov@mail.ru

Polienko Vladislav

Higher School of Technology, Economics and Culture, Leipzig, Germany,
postgraduate student at the Faculty of Civil Engineering.
E-mail: wladislaw.polienko@htwk-leipzig.de