

## Исследование деформативных свойств мелкозернистых композитов с использованием органических волокон

Е.А. Каспер<sup>а</sup>, О.С. Бочкарева<sup>б</sup>

Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Луначарского 2, Тюмень, Россия

<sup>а</sup>elena-kasper@mail.ru, <sup>б</sup>olga\_bos09@mail.ru

Статья поступила 10.01.2016, принята 14.02.2016

*Как показывают научные исследования отечественных и зарубежных ученых, введение в состав мелкозернистого бетона химических добавок — модификаторов и реакционно-активных тонкоизмельченных минеральных компонентов природного и техногенного происхождения — существенно повышает качество и улучшает свойства материала. Технико-технологические возможности, особенно переход от обычных бетонов к многокомпонентным составам с широким использованием суперпластификаторов, тонкодисперсных наполнителей и других добавок, позволили свести к минимуму расход воды и цемента в мелкозернистых смесях и резко уменьшить усадку, получая в ряде случаев безусадочные мелкозернистые бетоны. В повышении прочностных и деформативных свойств мелкозернистого бетона большую роль также играет использование дисперсно-армирующих компонентов, значительно расширяющих его технологические и эксплуатационные характеристики, что дает возможность существенно разнообразить сферы применения конструкций из этих материалов в различных областях строительства, в том числе при самых суровых условиях эксплуатационных воздействий. В статье представлены результаты исследований физико-механических свойств дисперсно-армированного полипропиленовым волокном мелкозернистого бетона, модифицированного суперпластификатором и микрокремнеземом. В рамках проведенных научных исследований были изучены составы мелкозернистого бетона с различными дозировками полипропиленового волокна длиной 4 и 8 мм в их взаимосвязи с показателями прочности при сжатии, на растяжение при изгибе, трещиностойкости. Исследования показали эффективность введения в состав мелкозернистого бетона суперпластификатора, микронаполнителя и полипропиленового волокна. Повышение прочности и трещиностойкости разработанного фибробетона обеспечивается комплексным подходом при выборе компонентов для его изготовления и назначением оптимальных параметров при различных сочетаниях факторов.*

**Ключевые слова:** дисперсное армирование; полипропиленовое волокно; микрокремнезем; предел прочности на растяжение при изгибе; трещиностойкость.

## Research the deformation properties of fine-aggregate composites with use of organic fibers

E.A. Kasper<sup>a</sup>, O.S. Bochkareva<sup>b</sup>

Tyumen State University of Civil Engineering; 2, Lunacharsky St., Tyumen, Russia

<sup>a</sup>elena-kasper@mail.ru, <sup>b</sup>olga\_bos09@mail.ru

Received 10.01.2016, accepted 14.02.2016

*Domestic and foreign scientific research show that when introducing chemical additives, such as modifiers and reactionary active finely powdered mineral components of natural and technogenic origin, to the structure of fine-aggregate concrete, the quality of the material and its properties increase much. Technical and technological capabilities, especially transition from usual concrete to multi-component structures with broad use of superplasticizers, fine fillers and other additives, allowed minimizing water and cement consumption in fine-grained mixtures and reducing material shrinkage sharply, receiving non-shrinking fine-aggregate concrete in some cases. The use of dispersion-reinforcing components plays an important part in increasing the strength and deformation properties of fine-aggregate concrete, reinforcing significantly technological and operational characteristics. It gives the possibility to use these materials in various areas of construction including the most severe conditions. The article presents research results for physical and mechanical properties of the fine-aggregate concrete reinforced by disperse polypropylene fiber and modified by superplasticizer and microsilica. Within the scientific research conducted, compositions of fine-aggregate concrete with various doses of polypropylene fiber of 4 and 8 mm long have been studied in their connection with indicators of compressive strength, bending tensile strength, crack resistance. The scientific research showed the efficiency of introducing a superplasticizer, a micro-filler and polypropylene fiber to the composition of fine-aggregate concrete. The increase of the bending tensile strength and cracking resistance of fiber-reinforced concrete is provided with an integrated approach when choosing the materials for concrete production and its optimum parameters under various combinations of factors.*

**Key words:** disperse reinforcing; polypropylene fiber; microsilica; bending tensile strength; cracking resistance.

## Введение

Высокие темпы развития строительной отрасли, которые наблюдаются в последние годы в Тюменской области, требуют решения вопроса о применении местных песков в качестве заполнителей для бетона и активного внедрения многокомпонентных мелкозернистых бетонов [1]. Отсутствие крупного заполнителя значительно упрощает приготовление и укладку бетонной смеси, позволяет снизить стоимость бетона по сравнению с крупнозернистыми бетонами на щебне.

Кроме того, мелкозернистый бетон довольно технологичен, легко и эффективно модифицируется с помощью органоминеральных добавок, обеспечивая получение материалов с различным комплексом свойств [5; 9; 10; 12].

В данной работе выполнена оценка прочностных и деформативных показателей дисперсно-армированного полипропиленовым волокном мелкозернистого бетона, модифицированного суперпластификатором и микрокремнеземом в установленных оптимальных дозировках.

В качестве добавки была применена полифункциональная добавка Viseal POL для бетонных и строительных растворов в дозировке 3 % от расхода цемента. Оптимальная дозировка была выявлена опытным путем.

Особая роль в модификации структуры бетона придается и реакционно-активным тонкоизмельченным минеральным компонентам природного и техногенного происхождения [10]. В качестве микрозаполнителя был применен микрокремнезем конденсированный (отходы ферросилиция) в оптимальной дозировке 5 % от расхода цемента (производитель — ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат»). Характеристика микрокремнезема: модуль активности — 112 %; массовая доля  $\text{SiO}_2$  — 86,6 %; удельная поверхность —  $12 \text{ м}^2/\text{г}$ ; насыпная плотность —  $210 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Эффективным средством повышения прочности бетона на растяжение и изменения образования трещин на всех уровнях его структуры является дисперсное армирование, способствующее увеличению долговечности и трещиностойкости [2–4; 7; 8; 11; 13–20].

Армирование цементных композитов фиброй различного типа (металлической, минерального или органического происхождения) позволяет снизить их усадочные деформации, повысить трещиностойкость и прочность на растяжение при изгибе, а также выпускать облегченные строительные конструкции с повышенными эксплуатационными характеристиками [13–20].

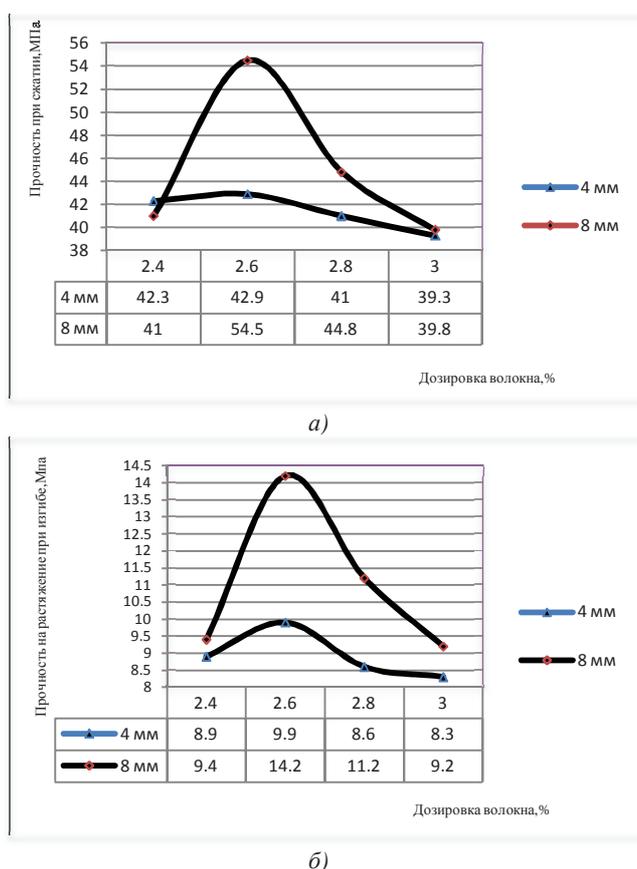
Одним из эффективных видов фибры является полипропиленовое волокно, обладающее химической стойкостью к щелочной среде цементного камня [4; 8; 13]. По прочности оно превосходит сталь и обладает, за счет малого диаметра волокон (50 мкм), гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементной матрицей. При этом относительное удлинение при разрыве полипропиленовой фибры в 10 раз ниже, чем стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении. В исследованиях было использовано поли-

пропиленовое волокно длиной 4 и 8 мм, диаметром 50 мкм, плотностью  $900 \text{ кг}/\text{м}^3$ , прочностью на растяжение 700 МПа.

**Методика и результаты исследований.** Целью экспериментальных исследований явилось изучение влияния длины полипропиленового волокна и его процентного содержания на прочностные и деформативные характеристики мелкозернистого бетона.

В качестве параметров варьирования были приняты длина волокон (4 и 8 мм) и их процентное содержание (2,4; 2,6; 2,8; 3,0 % от расхода вяжущего). Выходными параметрами были прочность на сжатие, на растяжение при изгибе и коэффициент трещиностойкости, который оценивался по отношению предела прочности на растяжение при изгибе к пределу прочности на сжатие [3; 6].

Анализ результатов исследований (на рисунке) показал, что введение полипропиленового волокна длиной 8 мм в количестве 2,6 % является оптимальным. Прирост прочности на сжатие составил 66,2 %, на растяжение при изгибе — 153,6 %, коэффициент трещиностойкости — 0,26 (таблица).



**Рис. 1.** Влияние дозировки и длины полипропиленового волокна на прочность мелкозернистого бетона: а — при сжатии; б — на растяжение при изгибе

При увеличении содержания волокон до 3 % наблюдается снижение прочности на сжатие ввиду того, что такое количество волокон приводит к концентрации напряжений и разрушению бетона.

Коэффициент трещиностойкости

№ состава	Длина волокон, мм	Содержание волокон, %	В/Ц	Коэффициент трещиностойкости
1 (без добавки)	–	–	0,47	0,17
2 (с добавкой)	–	–	0,33	0,2
3	4	2,4	0,35	0,21
4		2,6	0,35	0,23
5		2,8	0,44	0,21
6	–	3,0	0,46	0,21
7	8	2,4	0,42	0,23
8		2,6	0,44	0,26
9		2,8	0,44	0,25
10		3,0	0,46	0,23

### Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о том, что полипропиленовое волокно является эффективным дисперсным армирующим компонентом мелкозернистого бетона. С увеличением длины фибр и их процентного содержания повышается прочность на растяжение при изгибе и соответственно прочность конструкции.

По анализу результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод об эффективности использования полипропиленового волокна для дисперсного армирования мелкозернистого бетона с целью повышения прочности на растяжение при изгибе и трещиностойкости.

### Литература

- Каспер Е.А., Черноусова К.В., Позднякова А.А. Мелкозернистые бетоны на основе сырьевых ресурсов Тюменской области // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. материалов междунар. научно-практ. конф. Тюмень, 2014. Т. 2. С. 17-20.
- Каспер Е.А., Бочкарева О.С. Мелкозернистые бетоны, дисперсно-армированные базальтовой фиброй // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1 (25). С. 135-138.
- Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: моногр. М.: АСВ, 2004. 560 с.
- Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы. 2004. № 6. С. 13-15.
- Лесовик Р.В., Топчиев А.И., Агеева М.С. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI в. 2007. № 7. С. 16-18.
- Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Модифицированные высококачественные бетоны: науч. изд. М.: АСВ, 2006. 368 с.
- Кудяков А.И., Дубасаров Д.И., Ушакова А.С., Кудяков К.Л., Невский А.В. Особенности дисперсного микроармирования цементных систем // Материалы Первой Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Перспективные материалы в технике и строительстве (ПМТС-2013)». Томск, 2013. С. 359-361.
- Кудяков А.И., Симакова А.С., Ефремова В.А. Повышение качества высокопрочных бетонов микроармированием цементного камня // Материалы Пятой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инвестиции, строительство и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики». Томск, 2015. Ч. 2. С. 308-311.
- Белых С.А., Черниговская М.Н., Буянова Э.Э. Обеспечение стабильности свойств золошлаковых отходов Иркутской области при применении в цементных материалах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. № 4. С. 235-239.
- Белых С.А., Буянова Э.Э., Черниговская М.Н. Изучение влияния состава бурых углей на фазовый состав гидратированного цементного камня с золой-уноса // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки. 2011. Т. 2. С. 185-193.
- Каспер Е.А., Солонина В.А., Бочкарева О.С. Исследование влияния стеклошлакового волокна на трещиностойкость бетона // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. материалов всерос. научно-практ. конф. ТюмГАСУ. Тюмень. 2009. С. 194-196.
- Каспер Е.А., Бочкарева О.С. Анализ эффективности зарубежных добавок – модификаторов бетона // Сборник материалов X научной конференции молодых учёных, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ. Тюмень, 2011. С. 59-62.
- Abdulhadi M.A. comparative study of basalt and polypropylene fibers reinforced concrete on compressive and tensile behavior // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). 2014. Vol. 9, № 6. P. 295–300.
- Elshekh A.E.A., Shafiq N., Nuruddin M.F., Fathi A. Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete // Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 14, № 10. P. 1073–1077.
- Abu-Lebdeh T., Hamoush S., Heard W., Zornig B. Effect of matrix strength on pullout behavior of steel fiber reinforced very-high strength concrete composites // Construction and Buildings Materials. 2011. № 25. P. 39–46.
- Plank J., Sachgenhauser B. Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution // Cement and Concrete Research. 2009. № 39 (1). P. 1–5.
- Padron I., Zollo R.F. Effect of Synthetic Fibers on Volume Stability and Cracking of Portland Cement Concrete and Mortar // ACI Materials Journal. 1990. Vol. 87, № 4. July-Aug. 1990. P. 327-332.

18. Beaudoin J.J. Handbook of Fiber Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science). Noyes: William Andrew, 1990. 194 p.

19. Vondran G.L., Nagabhushanam M., Ramakrishnan V. Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes // Fiber Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments. London and New York, 1990. P. 533-543.

20. Gopalaratnam V.S., Shah, S.P., Batson, G.B., Criswell M.E., Ramakrishnan V., Wecharatana, M. Fracture Toughness of Fiber Reinforced Concrete // ACI Materials Journal. 1991. Vol. 88, № 4. July-Aug. 1991. P. 339-353.

#### References

1. Kasper E.A., Chernousova K.V., Pozdnyakova A.A. Fine-aggregate concretes on the basis of raw material resources of the Tyumen region // Aktual'nye problemy stroitel'stva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoi Sibiri: sb. materialov mezhdunar. nauchno-prakt. konf. Tyumen', 2014. T. 2. P. 17-20.

2. Kasper E.A., Bochkareva O.S. The fine-aggregate concrete reinforced by a disperse basalt fiber // Systems. Methods. Technologies. 2015. № 1 (25). P. 135-138.

3. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, design: monogr. M.: ASV, 2004. 560 p.

4. Volkov I.V. Problems of application of fiber-reinforced concrete in domestic construction // Stroitel'nye Materialy. 2004. № 6. P. 13-15.

5. Lesovik P.B., Topchiev A.I., Ageeva M.C. Ways of increasing the effectiveness of fine-aggregate concrete // Construction materials, the equipment, technologies of XXI century. 2007. № 7. P. 16-18.

6. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S. Modified ultra high performance concrete: nauch. izd. M.: ASV, 2006. 368 p.

7. Kudyakov A.I., Dubasarov D.I., Ushakova A.S., Kudyakov K.L., Nevskii A.V. Features of disperse microreinforcing of cement systems // Materialy Pervoi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Perspektivnye materialy v tekhnike i stroitel'stve (PMTS-2013)». Tomsk, 2013. P. 359-361.

8. Kudyakov A.I., Simakova A.S., Efremova V.A. Improvement of quality of high-strength concrete micro reinforcing of a cement stone // Materialy Pyatoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Investitsii, stroitel'stvo i nedvizhimost' kak material'nyi bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki». Tomsk, 2015. Ch. 2. P. 308-311.

9. Belykh S.A., Chernigovskaya M.N., Buyanova E.E. Ensuring stability of properties the ash of waste of the Irkutsk region at

application in cement materials // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2010. № 4. P. 235-239.

10. Belykh S.A., Buyanova E.E., Chernigovskaya M.N. Studying of influence of composition of brown coals on phase structure of the hydrated cement stone with ashes ablation // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2011. T. 2. P. 185-193.

11. Kasper E.A., Solonina V.A., Bochkareva O.S. The study of the influence of glass slag fibers on the crack resistance of concrete // Aktual'nye problemy stroitel'stva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoi Sibiri: sb. materialov vseros. nauchno-prakt. konf. TyumGASU. Tyumen'. 2009. P. 194-196.

12. Kasper E.A., Bochkareva O.S. Analysis of the effectiveness of foreign additives, modifiers of concrete // Sbornik materialov X nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i soiskatelei TyumGASU. Tyumen', 2011. P. 59-62.

13. Abdulhadi M.A. comparative study of basalt and polypropylene fibers reinforced concrete on compressive and tensile behavior // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). 2014. Vol. 9, № 6. P. 295-300.

14. Elshekh A.E.A., Shafiq N., Nuruddin M.F., Fathi A. Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete // Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 14, № 10. P. 1073-1077.

15. Abu-Lebdeh T., Hamoush S., Heard W., Zornig B. Effect of matrix strength on pullout behavior of steel fiber reinforced very-high strength concrete composites // Construction and Buildings Materials. 2011. № 25. P. 39-46.

16. Plank J., Sachgenhauser B. Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution // Cement and Concrete Research. 2009. № 39 (1). P. 1-5.

17. Padron I., Zollo R.F. Effect of Synthetic Fibers on Volume Stability and Cracking of Portland Cement Concrete and Mortar // ACI Materials Journal. 1990. Vol. 87, № 4. July-Aug. 1990. P. 327-332.

18. Beaudoin J.J. Handbook of Fiber Reinforced Concrete: Principles, Properties, Developments and Applications (Building Materials Science). Noyes: William Andrew, 1990. 194 p.

19. Vondran G.L., Nagabhushanam M., Ramakrishnan V. Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes // Fiber Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments. London and New York, 1990. P. 533-543.

20. Gopalaratnam V.S., Shah, S.P., Batson, G.B., Criswell M.E., Ramakrishnan V., Wecharatana, M. Fracture Toughness of Fiber Reinforced Concrete // ACI Materials Journal. 1991. Vol. 88, № 4. July-Aug. 1991. P. 339-353.