DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-4-9

*Нелубова В.В. *, кандидат технических наук, доцент,
Бабаев В.Б., кандидат технических наук,
Алфимова Н.И., кандидат технических наук, доцент,
Усиков С.А., аспирант,
Масанин О.О., аспирант,*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия

**Ответственный автор E-mail: nelubova@list.ru*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ФИБРОБЕТОНА

Аннотация: фибробетон один из видов эффективных строительных материалов, обеспечивающих эксплуатационную надежность конструкций за счет набора уникальных свойств. Однако максимальные физико-механические характеристики данного вида изделий достигаются только при условии равномерного распределения волокна в бетонной матрице и оптимальном соотношении сырьевых компонентов. В связи с чем целью работы явилось повышение эффективности производства фибробетонов за счет оптимизации рецептурно-технологических параметров его изготовления. Предварительно был определен оптимальный способ введения волокна в бетонную смесь и вид суперпластификатора, позволяющий обеспечить максимальные физико-механические характеристики изделий. Оптимизация рецептурных параметров проводилась с помощью метода математического планирования эксперимента, где варьировалось – количество цемента, суперпластификатора и базальтовой фибры. После обработки результатов были получены зависимости предела прочности при сжатии от варьируемых факторов, которые позволят подбирать оптимальные дозировки сырьевых материалов при заданных механических характеристиках изделий.

Ключевые слова: фибробетон, мелкозернистый бетон, базальтовое волокно, суперпластификатор

Введение

Как известно индустрия строительного производства не стоит на месте, современные инновационные технологии строительства требуют разработки новых проектных решений и строительных материалов с уникальным набором свойств. На данный момент к наиболее существенных тенденций в области развития строительства можно отнести: использование легких сборно-разборных конструкций; технологий 3D печати [1-6]; рост потребления энергосберегающих конструкций, способствующий увеличению количества производств высокоэффективных теплоизоляционных материалов [6-7]; увеличение доли материалов, изготовленных с использованием техногенного сырья [10-12]; разработка высокоэффективных материалов с заданными свойствами для эксплуатации в экстремальных условиях в том числе – фибробетона [16-21].

Изделия из фибробетона отличаются высокой стойкостью к циклическим и усталостным, а также ударным, растягивающим и скручивающим нагрузкам, которые провоцируют неконтролируемое трещинообразование и разрушением цементной матрицы, а также неравномерное распределение нагрузки на армирующие элементы. Введение в состав бетона фибры позволяет избежать хрупкого разрушения бетона и в тоже время, контролировать трещинообразование.

Основной проблемой, с которой сталкиваются производители изделий из фибробетона является трудность обеспечения равномерного распределения волокна в бетонной матрицы, которая является определяющим фактором, необходимым для достижения максимальных физико-механических характеристик конечных изделий. Решить эту проблемы можно за счет применения различных технологических приемов, в частности, выбора оптимального способа распределения волокна в системе, однако это не всегда является достаточным условием.

В связи с чем целью данной работы явилось рассмотрение возможности повышения эффективности микроармированного мелкозернистого бетона путем оптимизации рецептурно-технологических параметров его производства, таких как способ введения и содержание волокна, вида и количества пластификатора.

Методы и материалы

На настоящий момент, можно выделить сухой способ введения волокна в систему и гидрораспушение. Выбор оптимального способа введения волокна осуществлялся экспериментально, путем приготовления образцов с использованием обозначенных методов введения волокон и сравнением выходных параметров.

Приготовление растворов по первому способу, осуществляется путем смешения сухих компонентов в смесителе с последующим добавлением в него воды затворения. Необходимо отметить, что негативным последствием использования данного способа является механическое повреждение микроармирующего компонента и как результат снижение технико-эксплуатационных характеристик волокна и конечных изделий.

Применение метода гидрораспушения, сущность которого заключается в предварительном перемешивании волокон в воде с последующим введением цемента и песка, позволяет достичь лучшего распределения армирующего элемента в объеме бетона. В качестве недостатка данного способа необходимо выделить слипание отдельных волокон в пучки («ежи»).

В связи с тем, что не один из рассмотренных способов, ввиду наличие недостатков не позволяет максимально использовать потенциал волокон, был предложен комбинированный метод и исследована возможность получения цементобетона тремя способами:

- I – перемешивание компонентов бетонной смеси при их одновременной загрузки в бетоносмеситель;
- II – введение в формовочную смесь (цемент+песок) предварительно приготовленной суспензии из волокон, воды затворения и пластификатор;
- III – введение в формовочную смесь (цемент+песок+пластификатор) предварительно распушенных в воде волокон.

Обеспечение заданной подвижности бетонной смеси осуществлялось за счет использования суперпластификаторов различной природы:

- Sika VescoCrete 125 Powder (производитель Sika) на основе эфиров поликарбоксилатов;
- СП-1 (производитель Полипласт) – нафталинформальдегидны.

Подбор оптимальной дозировки осуществлялось по стандартной методике ГОСТ 24211-2008. Оптимальной принималась минимальная дозировка суперпластификатора при которой достигалась заданная подвижность бетонной смеси. Для Sika VescoCrete 125 Powder оптимальная концентрация составила – 0,28%, для СП-1 – 0,8%.

Оптимизация рецептурных параметров производилась с помощью метода математического планирования эксперимента.

Результаты и обсуждения

С целью определения влияния способов введения волокна и вида суперпластификатора на прочностные характеристики конечных изделий были заформованы образцы, испытание которых проводилось на 28 суток после твердения в нормальных условиях.

Анализ полученных результатов показал, что вне зависимости от вида, применяемого суперпластификатора наибольшими показателями предела прочности при сжатии и изгибе отличаются образцы, полученные с использованием II способа введения волокон.

Если рассматривать вопросы влияния природы суперпластификатора, то из представленных результатов видно, что наиболее целесообразным является использование СП-1, который, в совокупности с II способом введения волокон, обеспечил рост прочности при сжатии на 46%, и при изгибе на 42,9%, в сравнении с аналогичными составами, полученными с использованием I способа и соответственно на 22,3% и 14,8% в сравнении с составами, полученными III способом. Это можно объяснить гидрофилизацией базальтового волокна путем адсорбции суперпластификатора на его поверхности, что способствует формированию сольватных оболочек и обеспечивает равномерное распределение волокон сначала в воде, а затем и в растворной смеси.

При этом использование суперпластификатора Sika ViscoCrete 125 Powder на поликарбоксилатной основе не дало существенного прироста прочности.

Полученные результаты можно объяснить химической природой добавки, пластифицирующий эффект которой проявляется в большей степени в щелочной среде. В то время как нафталинформальдегидные добавки отличаются универсальностью и их пластифицирующий эффект не зависит от водородного показателя водной среды.

В связи с этим в дальнейших экспериментах был принят II способ получения материала. В качестве пластификатора использовали пластификатор СП-1.

Подбор оптимального состава мелкозернистого бетона осуществлялся с помощью метода математического планирования эксперимента. В качестве факторов варьирования были выбраны количество цемента

(402,5; 408,3; 540,2 кг/м³) добавки (0,5; 0,8; 1,1% от массы цемента) и базальтового волокна (5; 7; 9% от массы цемента).

Выходными параметрами для подбора рациональных технологических параметров выступали предела прочности при сжатии и изгибе. В качестве контрольного выступал мелкозернистый бетон не содержащий в своем составе фиброволокна.

После статистической обработки результатов были получены уравнения регрессии, которые позволили сделать анализ влияния варьируемых факторов на выходные параметры.

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены зависимости предела прочности при сжатии и изгибе от варьируемых параметров и сделан анализ их влияния на механические характеристики конечных изделий (рис. 1, 2).

Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии в зависимости количества волокна:
а) 5%, б) 7%, в) 9%

Fig 1. Change of ultimate strength at compression depending on the amount of fibre:
а) 5%; б) 7%; в) 9%

Рис. 1. Изменение предела прочности при изгибе в зависимости количества волокна:
а) 5%, б) 7%, в) 9%

Fig 2. Change of ultimate strength at bending depending on the amount of fibre:
а) 5%; б) 7%; в) 9%

Выводы

Анализ полученных результатов зависимости предела прочности при сжатии от варьируемых факторов показало, что вне зависимости от других параметров увеличение цемента в системе способствует росту контролируемого параметра (рис. 1), что является вполне закономерным. Однако с позиции оптимального со-

отношения цена-качества наиболее оптимальным является содержание цемента в количестве 480 кг/м^3 , при таком расходе обеспечиваются максимальные физико-механические характеристики изделий без перерасхода вяжущего.

Выявлено, что оптимальным с позиции достижения максимальных значений контролируемых параметров является содержание волокна в системе в количестве 7% от массы цемента, дальнейшее увеличение волокна в системе можно считать нецелесообразным, так как способствует снижению прочности как при сжатии, так и при изгибе.

С позиции суперпластификатора, наиболее оптимальной дозировкой, при которой достигаются максимальные механические характеристики изделий является – 0,8 от массы цемента.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для молодых кандидатов МК-5980.2018.8.

Литература

1. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. P. 218 – 225.
2. Ключев С.В., Ключев А.В., Кузик Е.С. Аддитивные технологии в строительной индустрии // В сборнике: интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 54 – 58.
3. Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Николаенко Е.Ю. Разработка материала на основе известково-карбонатно -кальциевых композиций для аддитивных технологий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 8 – 15.
4. Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шаталова С.В. и др. Формирование свойств композиций для строительной печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 6 – 14.
5. Елистраткин М.Ю., Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Глаголев Е.С. О развитии технологий строительной печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 11 – 19.
6. Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Абсиметов М.В. и др. Адаптация технологии неавтоклавнога газобетона к строительной 3D печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №8. С. 6 – 11.
7. Pospelova E.A., Elistratkin M.Y., Netsvet D.D. Statistical analysis as an instrument for improving the quality of products from cellular concrete // Applied Mechanics and Materials. 2014. T. 670-671. С. 1624 – 1628.
8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I. and ets. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327 (4). 04203311.
9. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders / N.I. Alfimova, M.S. Sheychenko, S.V. Karatsupa, E.A. Yakovlev and ets. // Advances in Environmental Biology. 2014. 8 (13). P. 134 – 138.
10. Ключев С.В., Дураченко А.В. О применении синтетической фибры для дисперсного армирования бетонов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова» (24-26 марта 2015 г., г. Грозный). В 2-х томах. Т.1. – Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2015. С. 324 – 328.
11. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozhukhova M.I. Effect of previously slacked lime on properties of autoclave composite binders // World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (11). P. 1519 – 1524.
12. Kozhukhova N.I., Zhemovsky I.V., Strokova V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemo-activation processes on operational characteristics of geopolymer binder // Research Journal of Applied Sciences. 2015. 10 (10). P. 620 – 623.
13. Doroganov V.A., Evtushenko E.I., Pivinskii Yu.E. Plastic molding refractory mixes based on highly concentrated ceramic binding suspensions of high alumina fireclay // Refractories and Industrial Ceramics. 2007. 48 (1). P. 63 – 68.
14. Ключев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. №1 – 2(66 – 67). С. 56 – 57.
15. Ключев С.В. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон на техногенном сырье и композиционных вяжущих с использованием нанодисперсного порошка // Бетон и железобетон. 2014. №4. С. 14 – 16.

16. Kirsanov A.I., Stolyarov O.N. Mechanical properties of synthetic fibers applied to concrete reinforcement // Инженерно-строительный журнал. 2018. №4. P. 15 – 23. doi: 10.18720/MCE.80.2.
17. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. Strength of reinforced concrete beams of high-performance concrete and fiber reinforced concrete // Инженерно-строительный журнал. 2018. №1. P. 90 – 100. doi: 10.18720/MCE.77.8.
18. Nikolenko S.D., Sushko E.A., Sazonova S.A., Odnolko A.A. and etc. Behaviour of concrete with a disperse reinforcement under dynamic loads // Инженерно-строительный журнал. 2017. №7. P. 3 – 14. doi: 10.18720/MCE.75.1.
19. Nizina T.A., Balykov A.S. Experimental-statistical models of properties of modified fiber-reinforced fine-grained concretes // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2. P. 13 – 25.
20. Ключев С.В. Особенности формирования фибробетонных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №5. С. 32 – 35.
21. Ключев С.В. Высокопрочный сталефибробетон на техногенных песках КМА // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 11 (178). С. 38 – 39.

References

1. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing. Materials Science Forum. 2019. 945. P. 218 – 225.
2. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Kuzik E.S. Additivny'e tekhnologii v stroitel'noj industrii. V sbornike: intellektual'ny'e stroitel'ny'e kompozity` dlya zelenogo stroitel'stva. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashhennaya 70-letiyu zaslužennogo deyatelya nauki RF, chlena-korrespondenta RAASN, doktora tekhnicheskix nauk, professora Valeriya Stanislavovicha Lesovika. 2016. P. 54 – 58. (rus.)
3. Bahtina T.A., Lyubomirskij N.V., Bahtin A.S., Nikolaenko E.YU. Razrabotka materiala na osnove izvestko-vo-karbonatno-kal'cievyh kompozitsiy dlya additivnyh tekhnologiy. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2019. 4. P. 8 – 15. (rus.)
4. Lesovik V.S., Elistratkin M.YU., Glagolev E.S., SHatalova S.V. i dr. Formirovanie svoystv kompozitsiy dlya stroitel'noj pechati. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2017. 10. P. 6 – 14. (rus.)
5. Elistratkin M.YU., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Glagolev E.S. O razvitii tekhnologiy stroitel'noj pechati. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2018. 5. P. 11 – 19. (rus.)
6. Lesovik V.S., Elistratkin M.YU., Glagolev E.S., Absimetov M.V. i dr. Adaptatsiya tekhnologii neavtoklavno gozobetona k stroitel'noj 3D pechati. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2017. 8. P. 6 – 11. (rus.)
7. Pospelova E.A., Elistratkin M.Y., Netsvet D.D. Statistical analysis as an instrument for improving the quality of products from cellular concrete. Applied Mechanics and Materials. 2014. 670-671. P. 1624 – 1628.
8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I. and etc. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 327 (4). 04203311.
9. Alfimova N.I., Sheychenko M.S., Karatsupa S.V., Yakovlev E.A. and etc. Features of application of high-mg technogenic raw materials as a component of composite binders. Advances in Environmental Biology. 2014. 8 (13). P. 134 – 138.
10. Klyuev S.V., Durachenko A.V. O primeneniі sinteticheskoy fibry` dlya dispersnogo armirovaniya betonov. Materialy` Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennoy 95-letiyu FGBOU VPO «GGNTU im. akad. M.D. Millionshnikova» (24-26 marta 2015 g., g. Grozny`j). V 2-x tomax. 1. – Grozny`j: FGUP «Izdatel'sko-poligraficheskij kompleks «Groznijskij rabochij», 2015. P. 324 – 328. (rus.)
11. Fomina E.V., Strokova V.V., Kozhukhova M.I. Effect of previously slacked lime on properties of autoclave composite binders. World Applied Sciences Journal. 2013. 24 (11). P. 1519 – 1524.
12. Kozhukhova N.I., Zhemovsky I.V., Strokova V.V., Kalashnikova V.A. Influence of mechanical and chemo-activation processes on operational characteristics of geopolymers binder. Research Journal of Applied Sciences. 2015. 10 (10). P. 620 – 623.
13. Doroganov V.A., Evtushenko E.I., Pivinskii Yu.E. Plastic molding refractory mixes based on highly concentrated ceramic binding suspensions of high alumina fireclay. Refractories and Industrial Ceramics. 2007. 48 (1). P. 63 – 68.
14. Klyuev S.V. Primenenie kompozitsionny`x vyazhushhix dlya proizvodstva fibrobetonov. Tekhnologii betonov. 2012. 1-2 (66-67). P. 56 – 57. (rus.)
15. Klyuev S.V. Vy`sokoprochny`j melkozernisty`j fibrobeton na texnogenom sy`r'e i kompozitsionny`x vyazhushhix s ispol`zovaniem nanodispersnogo poroshka. Beton i zhelezobeton. 2014. 4. P. 14 – 16. (rus.)

16. Kirsanov A.I., Stolyarov O.N. Mechanical properties of synthetic fibers applied to concrete reinforcement. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2018. 4. P. 15 – 23. doi: 10.18720/MCE.80.2.
17. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. Strength of reinforced concrete beams of high-performance concrete and fiber reinforced concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2018. 1. P. 90 – 100. doi: 10.18720/MCE.77.8.
18. Nikolenko S.D., Sushko E.A., Sazonova S.A., Odnolko A.A. and ets. Behaviour of concrete with a disperse reinforcement under dynamic loads. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2017. 7. P. 3 – 14. doi: 10.18720/MCE.75.1.
19. Nizina T.A., Balykov A.S. Experimental-statistical models of properties of modified fiber-reinforced fine-grained concretes. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2016. 2. P. 13–25.
20. Klyuev S.V. Osobennosti formirovaniya fibrobetonnykh kompozitov. *Vestnik BG TU im. V.G. Shuhova*. 2015. 5. P. 32 – 35. (rus.)
21. Klyuev S.V. Vy'sokoprochnyy`j stalefibrobeton na texnogenny`x peskax KMA. *Stroitel'ny`e materialy`, oborudovanie,ologii XXI veka*. 2013. 11 (178). P. 38 – 39. (rus.)

*Nelyubova V.V. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Babayev V.B., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Alfimova N.I., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Usikov S.A., Postgraduate,
Masanin O.O., Postgraduate,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia*
*Corresponding author E-mail: nelyubova@list.ru

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FIBRE CONCRETE PRODUCTION

Abstract: fiber concrete is one of the types of effective building materials that ensure the operational reliability of structures due to a set of unique properties. However, the maximum physicommechanical characteristics of this type of products are achieved only if the fiber is evenly distributed in the concrete matrix and the optimum ratio of raw materials is reached. In this connection, the aim of the work was to increase the production efficiency of fiber-reinforced concrete by optimizing the formulation and technological parameters of its manufacture. The optimal method of introducing the fiber into the concrete mix and the type of superplasticizer were previously determined, which allowed ensuring the maximum physicommechanical characteristics of the products. Optimization of prescription parameters was carried out using the method of mathematical planning of the experiment, where the amount of cement, superplasticizer and basalt fiber were varied. After processing the results, the dependences of the compressive strength on variable factors were obtained, which would allow to select the optimal dosages of raw materials for given mechanical characteristics of the products.

Keywords: fiber concrete, fine grain concrete, basalt fiber, superplasticizer

Для цитирования: Нелюбова В.В., Бабаев В.Б., Алфимова Н.И., Усиков С.А., Масанин О.О. Повышение эффективности производства фибробетона // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №2. С. 4 – 9. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-4-9

For citation: Nelyubova V.V., Babayev V.B., Alfimova N.I., Usikov S.A., Masanin O.O. Improving the efficiency of fibre concrete production. *Construction Materials and Products*. 2019. 2 (2). P. 4 – 9. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-2-4-9

*Поступила в редакцию 5 января 2019 г.
Принята в доработанном виде 2 марта 2019 г.
Одобрена для публикации 28 марта 2019 г.*

*Received: January 5, 2019.
Revised: March 2, 2019.
Accepted: March 28, 2019.*