

УДК 691.328.44

**РАЗРАБОТКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛОВ
ДЛЯ ЗДАНИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**DEVELOPING OPPORTUNITIES FOR IMPROVING THE QUALITY
OF THE SEXES FOR TEXTILE BUILDINGS**

Е.И. ШМИТКО, В.Е. РУМЯНЦЕВА, Н.А. БЕЛКОВА

E.I. SHMITKO, V.E. RUMYANTSEVA, N.A. BELKOVA

**(Воронежский государственный технический университет,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Voronezh State Technical University,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: verlnata@mail.ru, varrym@gmail.com, shmitko@vgsu.vrn.ru

В статье рассмотрены возможности повышения прочностных и деформативных характеристик цементных бетонов для полов промышленных зданий. Показано, что для повышения качества полов возможно их дисперсное армирование с помощью волокна различного типа. Установлено, что оптимальный расход базальтового и полипропиленового фиброволокна составляет 2 кг на 1 м³ бетонной смеси. Определены значения нормативных показателей фибробетона для полов.

The article considers the possibility of increasing strength and deformation characteristics of cement concretes for floors of industrial buildings. It has been shown that to improve the quality of floors, their disperse reinforcement with the help of fibers of various types is possible. The optimum consumption of basalt and polypropylene fiber has been found to be 2 kg per 1 m³ of concrete mixture. Values of standard indices of fibrobeton for floors are determined.

Ключевые слова: цементный бетон, фиброволокно, базальтовая фибра, полипропиленовая фибра, трещиностойкость.

Keywords: cement concrete, fibrous fiber, basalt fiber, polypropylene fiber, crack strength.

Основные требования к полам производственных зданий представлены в СП 29.13330.2011 [1], согласно которому их характеристики назначаются в зависимости от интенсивности внешних воздействий (механических, химических и т.п.). Полы для зданий текстильной промышленности чаще всего выполняют с использованием в качестве основного материала тяжелого бетона на цементном вяжущем. Такие полы испытывают значительные и умеренные механические воздействия, а также воздействия различных жидкостей с различными дозировками. Например, в результате жизнедеятельности грибов на полах предприятий текстильной промышленности выделяются органические кислоты: лимонная, уксусная, щавелевая и другие [2]. Прочностные характеристики этих полов должны соответствовать классу бетона по прочности не ниже В 22,5. Также к покрытиям полов предъявляются повышенные требования по показателю пылеотделения (истираемость должна составлять не более 0,4 г/см² для малопылящих и беспыльных типов покрытия). Помимо вышеизложенного к монолитным бетонным полам предъявляются особые требования по трещиностойкости, зависящей от показателя деформативности, в частности, усадки как на начальном этапе схватывания и твердения материала покрытия, так и на этапе его эксплуатации в условиях попеременного увлажнения и высыхания. В целом все вышеизложенные характеристики определяют износостойкость и долговечность покрытия пола.

Как показывают многочисленные исследования [3...8], одним из эффективных способов улучшения качества цементного бетона по показателю деформативности является дисперсное армирование, которое обеспечивает принципиальное изменение условий и энергетики образования трещин в структуре материала.

Так, исследования В.В. Белова и Л.Р. Маиляна [9], [10] показали, что применение базальтового фиброволокна обеспечивает больший эффект для улучшения качества бетона с фиброволокном, получившего название "фибробетон". Базальтофибробетон по сравнению с обычным тяжелым бетоном обладает более высокой прочностью и меньшей деформативностью, так как армирующее его базальтовое волокно обеспечивает более высокую степень дисперсности армирования цементного камня, а само базальтовое волокно обладает высокой прочностью.

Однако по данным В. Б. Бабаева [11] установлено, что волокно, находящееся в щелочной среде при гидратации цемента, характеризуется недостаточной щелочестойкостью: длительное хранение (72 дня) фибры в щелочном растворе способствует ее растворению.

Альтернативой базальтовому фиброволокну специалисты называют полимерные волокна различного состава (полиамидные, полипропиленовые, полиэфирные и т.д.). Исследованиями [12] установлено, что полипропиленовое волокно является эффективным дисперсным армирующим компонентом мелкозернистого бетона, способ-

ствующим повышению прочности на растяжение при изгибе и его трещиностойкости.

При разработке состава фибробетона необходимо прежде всего обеспечить оптимальность параметров их армирования: вид волокон, их относительная длина и расход в смеси, которые должны назначаться, исходя из требований к изделиям и конструкциям. Оптимальные показатели армирования позволяют получить бетоны с более плотной структурой, повышенной прочностью и долговечностью.

Целью наших исследований было получение оптимальных составов бетона для по-

лов с армирующим компонентом – фиброволокном различного типа.

Для изготовления образцов использовался портландцемент класса ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО "Осколцемент", песок кварцевый с модулем крупности $M_k = 1,9...2,2$, щебень гранитный фракции 5...20 мм. Состав бетона был принят в соответствии с нормативными документами для класса бетона В 25. В качестве армирующей добавки использовалось фиброволокно марки Fibra №1 (изготовитель ООО "ИНКОМСТРОЙ") с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатели	Вид фиброволокна	
	базальтовое	полипропиленовое высокопрочное
Материал	100% базальт	100% первичный полипропилен
Толщина волокон, мкм	11-18; 19-21	18
Прочность на разрыв, МПа	2700...3200	579
Модуль упругости, МПа	85...95	16000...17000
Удлинение, %	3,2	20...25
Плотность, г/см ³	2,2	0,91-0,93
Стойкость к щелочной среде бетона	средняя	высокая
Температура плавления, °С	1260	165
Длина волокна, мм	12, 20	12, 20

На первом этапе исследований проводилась оптимизация состава бетона по параметру расхода фиброволокна в зависимости от его вида и длины. На рис. 1 представлены зависимости прочности при сжатии, на рис. 2 – прочности при изгибе от вида, расхода и длины фиброволокна.

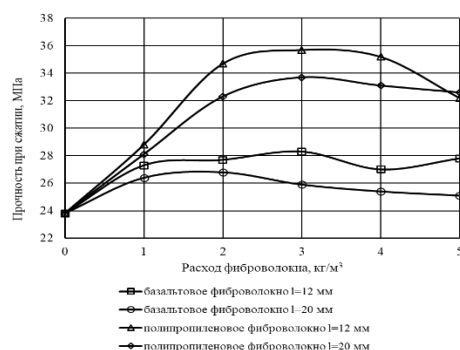


Рис. 1

Из полученных данных следует, что введение фиброволокна любого типа повышает прочностные показатели бетона. При этом прочность при сжатии увеличивается всего на 20...40%, а прочность при изгибе в 2...2,5 раза, что объясняется армирующим действием волокон, которые создают объемную сетку в структуре бетона.

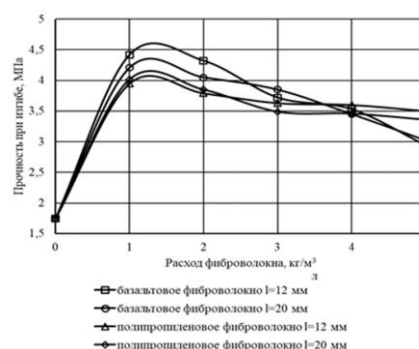


Рис. 2

Повышение расхода базальтового фиброволокна практически не влияет на прочность при сжатии бетона, которая колеб-

лется в пределах от 26 до 28 МПа независимо от длины фиброволокна. Для бетона с полипропиленовым фиброволокном наблю-

дается увеличение прочности при сжатии при увеличении расхода до 3 кг/м^3 независимо от длины фиброволокна, дальнейшее повышение расхода приводит к некоторому снижению прочности, что можно объяснить разуплотняющим действием фибры.

Что касается показателя прочности при изгибе, то независимо от вида фиброволокна максимальные значения прочности соответствуют расходу $1...2 \text{ кг/м}^3$. Увеличение расхода фиброволокна приводит к снижению этого показателя: с $4,4...4,5 \text{ МПа}$ до $3,0 \text{ МПа}$ для бетона с базальтовым фиброволокном ($30...35\%$). Для бетона с полипропиленовым фиброволокном это снижение меньше: с $4,2$ до $3,5 \text{ МПа}$, то есть всего на 17% . Это можно объяснить большей эластичностью и гибкостью полипропиленового фиброволокна, которые в больших количествах переплетаются друг с другом и формируют сплошную армирующую сетку. Базальтовое фиброволокно имеет большую жесткость и меньшую гибкость, поэтому при превышении расхода сверх оптимального образуются разрозненные скопления волокон, так называемые "ежи". Из полученных данных также следует, что длина фиброволокна практически не влияет на прочностные свойства бетона. Так, прочность при сжатии бетона с базальтовым фиброволокном при расходе 2 кг/м^3 колеблется в пределах $27...28 \text{ МПа}$, при изгибе – $4,0...4,4 \text{ МПа}$.

Таким образом, по результатам первого этапа исследований выявлено, что оптимальный расход фиброволокна составляет $1...2 \text{ кг/м}^3$ вне зависимости от его длины.

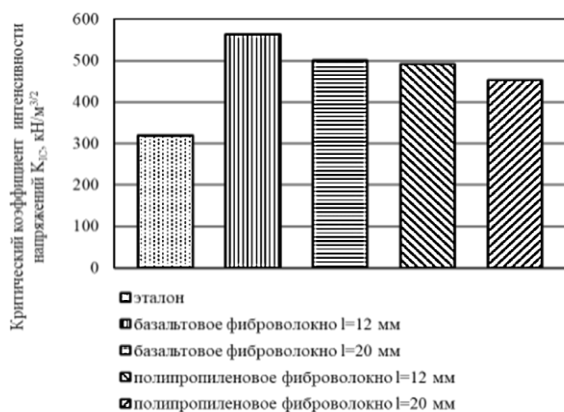


Рис. 3

На втором этапе исследований проводилась оценка влияния вида и длины фиброволокна на показатели трещино-стойкости и истираемости бетона для полов. Расход фиброволокна составил 2 кг/м^3 смеси. Трещиностойкость бетона оценивалась по коэффициенту интенсивности напряжений – критерию пропорциональности напряжений, обусловливающему начало развития трещины.

Значения показателя критического коэффициента интенсивности напряжений (K_{IC}) (рис. 3 – зависимость критического коэффициента интенсивности напряжений от вида и длины фиброволокна) согласуются с полученными значениями прочности при изгибе (рис. 2). Максимальное значение получено для бетона с базальтовым фиброволокном ($560 \text{ кН/м}^{3/2}$ против $310 \text{ кН/м}^{3/2}$ для эталона). Значение K_{IC} для бетона с полипропиленовым фиброволокном несколько ниже ($450...490 \text{ кН/м}^{3/2}$). При этом большие значения соответствуют бетону с фиброволокном длиной 12 мм , независимо от его типа, то есть волокна такого размера лучше распределяются в бетонной смеси и создают более прочную армирующую сетку.

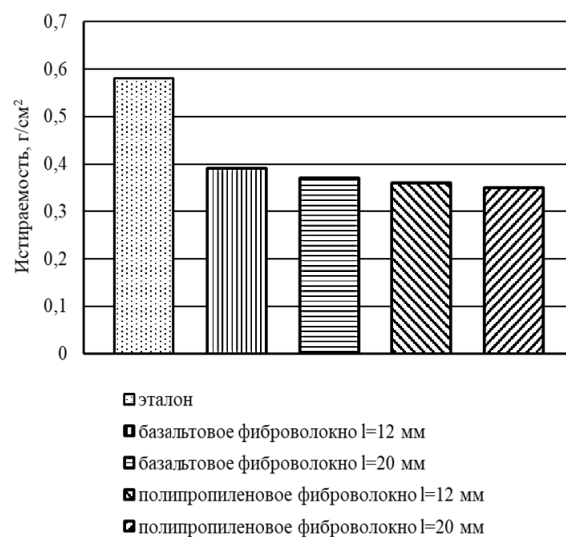


Рис. 4

И, наконец, обратимся к результатам, приведенным на рис. 4, на котором представлена зависимость величины истираемости от вида и длины фиброволокна. Как видно из полученных данных, величина

истираемости бетона-эталона составляет 0,58 г/см², что превышает нормативное значение в 0,4 г/см² (для полов мало-пылящих). Введение фибры любого типа и длины снижает этот показатель до значения 0,35...0,39 г/см², то есть обеспечивает требования нормативных документов. При этом значение истираемости не зависит ни от вида, ни от размера фиброволокна.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что введение и полипропиленового, и базальтового фиброволокна улучшает качество бетона для полов.

2. Независимо от типа фиброволокна (полипропиленовое или базальтовое) оптимальный расход составляет 1...2 кг на 1 м³ смеси.

3. Определены значения характеристик фибробетона, соответствующие нормативам:

- классы бетона с полипропиленовым фиброволокном: по прочности при сжатии – В 30, по прочности на растяжение при изгибе – Вt 2,8, марка по истираемости G1 – не более 0,7 г/см² (низкой истираемости);

- классы бетона с базальтовым фиброволокном: по прочности при сжатии – В 25, по прочности на растяжение при изгибе – Вt 3,6, марка по истираемости G1 – не более 0,7 г/см² (низкой истираемости).

Решение о применении конкретного типа фибры должно приниматься на основе технических и экономических соображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 29.13330.2011 Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 (с Изменением №1). – М., 2011.

2. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 1. С. 206...212.

3. Коротких Д.Н. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетона // Вестник гражданских инженеров. – 2009, №3 (20). С. 126...128.

4. Баженов Ю.М., Демьянова В.С. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: АСВ, 2006.

5. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетона // Строительные материалы. – 2004, №10. С.47...51.

6. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсноармированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. – М.: АСВ, 2004.

7. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н. Явления массопереноса в системе "цементный раствор-композитная пластиковая арматура" на стадии структурообразования композита. – Часть 1. Физические представления и математическая постановка задачи // Academia. Архитектура и строительство. – 2020, № 1. С. 118...123.

8. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. – В-9052 Zwijnaarde.

9. Маляян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Щербань Е.М. Выбор видов волокон для дисперсного армирования изделий из центрифугированного бетона // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ" Том 9. №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf> (доступ свободный).

10. Белов В.В., Абрамов Д.Г. Определение нормативных и расчетных характеристик фибробетона на местных отходах базальтовой ваты // Химия, физика и механика материалов. – 2018, № 4 (19). С.28...43.

11. Бабаев В.Б., Строчкова В.В., Нелюбова В.В., Савгир Н.Л. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013, №2. С.63...66.

12. Клюев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсноармированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. – 2011, № 3. С. 7...9.

REFERENCES

1. SP 29.13330.2011 Poly. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.03.13-88 (s Izmeneniem №1). – M., 2011.

2. Chesnokova T.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. Modelirovanie protsessa biorazrusheniya betona na predpriyatiyakh tekstil'noy promyshlennosti // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2020, № 1. S. 206...212.

3. Korotkikh D.N. Printsipy formirovaniya struktury i prognozirovaniye prochnosti fibrobetonov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. – 2009, №3 (20). S.126...128.

4. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S. Modifitsirovannye vysokokachestvennyye betony. – M.: ASV, 2006.

5. Pukhareno Yu.V. Printsipy formirovaniya struktury i prognozirovaniye prochnosti fibrobetonov // Stroitel'nye materialy. – 2004, №10. S.47...51.

6. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersnoarmirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii. – M.: ASV, 2004.

7. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. Yavleniya massoperenosa v sisteme "tsementnyy rastvor-kompozitnaya plastikovaya armatura" na stadii strukturoobrazovaniya kompozita. – Chast' 1. Fizicheskie predstavleniya i matematicheskaya postanovka zadachi //Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. – 2020, № 1. S. 118...123.

8. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. – B-9052 Zwijnaarde.

9. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Shcherban' E.M. Vybor vidov volokon dlya dispersnogo armirovaniya izdeliy iz tsentrifugirovannogo betona // Internet-zhurnal "NAUKOVEDENIE" Tom 9. №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/71TVN417.pdf> (dostup svobodnyy).

10. Belov V.V., Abramov D.G. Opredelenie normativnykh i raschetnykh kharakteristik fibrobetona na mestnykh otkhodakh bazal'tovoy vaty // Khimiya, fizika i mekhanika materialov. – 2018, № 4 (19). S. 28...43.

11. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Savgir N.L. K voprosu o shchelochestoykosti bazal'tovoy fibry v tsementnoy sisteme // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. – 2013, №2. S.63...66.

12. Klyuev S.V., Lesovik R.V. Dispersnoarmirovanny melkozernisty beton s ispol'zovaniem polipropilenovogo volokna // Beton i zhelezobeton. – 2011, №3. S. 7...9.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 10.12.20.