

CITATION FOR AN ARTICLE

Tkach E.V., Filimonova Yu.S., Yankovich D.R., Paevsky V.I. Improvement of hydrophysical properties of modified heavy-duty concrete working in severe operating conditions // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 4 (24), pp. 31–42.

УДК 691.328.43

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ И ДОБАВКИ МИКРОКАЛЬЦИТА
В СОСТАВАХ ЭФФЕКТИВНОГО БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНА**

К.А. Эквист, В.В. Белов

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Эквист К.А., Белов В.В., 2024

Аннотация. В статье отмечено, что бетонные тонкостенные облицовочные изделия все чаще используются в современном строительстве, в связи с чем возникает необходимость создания состава, изделия из которого, с одной стороны, должны выглядеть эстетично, а с другой – обладать рядом необходимых строительно-технических свойств. Указано, что готовые изделия отвечают жестким требованиям к прочности, трещиностойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости. Одним из решений данной проблемы обозначено использование фиброволокна как микроармирующего компонента. Исследовано влияние базальтовой фибры и микрокальцита на характеристики бетона.

Ключевые слова: базальтовая фибра, микроармирующий компонент, добавка микрокальцита, базальтофибробетон.

DOI: 10.46573/2658-7459-2024-4-42-49

ВВЕДЕНИЕ

В обзорной статье [1], написанной авторами настоящей работы, указано, что применение дисперсных волокон в составе бетона позволяет значительно улучшить его механические характеристики, такие как прочность, устойчивость к разрушению и деформациям. Волокна создают в бетоне дополнительные арматурные элементы, которые повышают его сцепление и прочность. Это особенно важно при производстве тонкостенных облицовочных изделий, так как они подвержены высоким нагрузкам и воздействию внешней среды.

Выбор типа волокон зависит от требований к конечному продукту. Металлические волокна, например стальные, обладают высокой прочностью и устойчивостью к деформациям, что делает их идеальным выбором для использования в бетоне. Неметаллические волокна, такие как стекловолокно и полимерные волокна, также имеют хорошие прочностные характеристики и могут быть использованы в различных условиях.

Процесс производства фиброармированного бетона требует точного дозирования волокон и их равномерного распределения по объему бетонной смеси. Для этого

применяются специальные добавки и оборудование, которые позволяют достичь оптимального соотношения между волокнами и бетонной матрицей.

Использование фиброармированного бетона в производстве тонкостенных облицовочных изделий дает возможность уменьшить толщину изделий при сохранении необходимых прочности и устойчивости. Это делает их более легкими и экономичными при транспортировке и монтаже, а также расширяет их эстетические возможности. В целом применение дисперсных волокон в производстве эффективных тонкостенных облицовочных бетонных изделий является важным шагом в развитии строительной отрасли. Оно позволяет улучшить качество и долговечность строительных конструкций, а также сократить затраты на их производство и эксплуатацию.

Номенклатура волокон, которые могут быть использованы в армировании, очень широка. Волокна изготавливаются из различных материалов, включая кремний, углерод, вольфрам, базальт, стекло, сталь и полимеры. Волокна из древесины также могут быть использованы, но они имеют некоторые ограничения в отношении конструкционной прочности. Есть возможность использования базальтовых волокон для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств базальтофибробетона (БФБ) [2].

Ключевыми направлениями исследований долговечности и износостойкости БФБ в различных условиях эксплуатации должны быть разработка технологических решений для получения материала с требуемыми физико-механическими характеристиками и разработка нормативных документов и руководящих материалов для проектирования и применения БФБ. Здесь необходимо сотрудничество между научными и исследовательскими учреждениями, строительными компаниями и производителями материалов. Кроме того, важно осуществлять пилотные проекты, где можно оценить эффективность и надежность БФБ в реальных условиях эксплуатации. В результате таких исследований и практической реализации БФБ можно будет получить достоверные данные о его долговечности и эксплуатационной пригодности, а также разработать технологические решения, которые позволят создавать материал с требуемыми характеристиками. Это, в свою очередь, даст возможность широко использовать БФБ в строительстве и получить все его преимущества, такие как высокая прочность, огнестойкость и стойкость к коррозии [3].

Исследования образцов из высокопрочного бетона свидетельствуют о том, что добавление в них базальтовой фибры повышает прочность бетона при растяжении на 42–48 % [4]. При этом базальтовая фибра существенно увеличивает энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона до 2,2 раза [5].

В работе [6] при изучении влияния содержания базальтовой фибры на энергоемкость ударного разрушения после циклов замораживания и оттаивания было установлено, что энергозатраты на разрушение образцов, содержащих 2 и 4 % базальтовой фибры после 5 циклов замораживания/оттаивания, превосходят энергозатраты на разрушение образцов контрольной (неармированной) серии на 19 и 60 % соответственно. Это свидетельствует о повышении свойства морозостойкости материала, армированного базальтовым волокном.

Решением вопросов экономии, энерго- и ресурсосбережения при производстве фибробетона может стать использование техногенных отходов, в большом количестве получаемых при реконструкции и ремонте промышленных зданий и сооружений или коммуникационных сетей, где одним из основных является минеральная или стеклянная вата [7].

Как отмечено в обзоре [1], перспективным технологическим приемом при получении эффективного БФБ является использование такой дисперсной добавки-наполнителя, как микрокальцит.

В работе [8] установлено, что с повышением дисперсности микрокальцита происходит постепенное улучшение всех свойств цементного камня. Так, если прочность бездобавочного состава составляла на сжатие 53 МПа, а на изгиб – 21 МПа, то прочность состава, содержащего микрокальцит дисперсностью 300 мкм, составляла на сжатие 82 МПа, а на изгиб – 53 МПа. При введении 5 % микрокальцита и с ростом его фракции значение пористости плавно уменьшается с 7,1 до 4,8 %. При повышении дисперсности микрокальцита наблюдается уменьшение значений водопоглощения с 3,4 % для бездобавочного состава до 2,1 % для состава, содержащего микрокальцит с фракцией 300 мкм.

За рубежом также проводятся исследования свойств фибробетонов. Д. Брэнстон установил, что добавление базальтовой фибры в бетон является эффективным средством для предотвращения трещинообразования в результате снижения свободной усадки, а также замедления роста трещин, если они все же возникают [9].

В работе [10] выявлено, что добавление всего лишь 1 % фибры от массы вяжущего значительно повышает момент трещинообразования в бетоне.

Приведенные литературные источники свидетельствуют о том, что базальтовое волокно в составе фибробетона (в определенной пропорции) значительно повышает многие эксплуатационные характеристики: прочность на сжатие и изгиб, морозостойкость, трещиностойкость. Микрокальцит в составе бетона положительно влияет на прочность и плотность готового изделия, увеличивая их. Тем не менее имеются и недостатки, такие как технологические сложности производства и относительно высокая стоимость изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе изучалось влияние базальтовой фибры (как микроармирующего компонента) на характеристики БФБ с добавкой микрокальцита для подбора оптимального состава БФБ и в том числе необходимого водоцементного отношения (В/Ц).

Были задействованы следующие компоненты:

1. Цемент ЦЕМРОС М500 ЦЕМ II А-Ш 42,5 Н.
2. Песок строительный, модуль крупности – 2,1.
3. Пластифицирующая добавка Sika ViscoCrete-200 (ПД).
4. Дисперсная добавка – микрокальцит (мраморный песок). Фракция – 0,2–0,5 мм. Твердость – 2,8 по шкале Мооса.
5. Микроармирующий компонент – базальтовая фибра CemFibra R.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В двухфакторном эксперименте на первом этапе исследований в качестве переменных факторов выбрали содержание фибры, уровни варьирования 3, 4 и 5 % от массы вяжущего, а также В/Ц с уровнями варьирования 0,4; 0,5; 0,6. Количество микрокальцита, составляющее 5 % от массы вяжущего, было принято на основе литературных данных [9]. Таким образом, использовалось 9 экспериментальных составов:

1. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 720 мл (В/Ц = 0,6); фибра – 60 г (5 %).

2. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 720 мл (В/Ц = 0,6); фибра – 36 г (3 %).

3. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 720 мл (В/Ц = 0,6); фибра – 48 г (4 %).

4. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 480 мл (В/Ц = 0,4); фибра – 48 г (4 %).

5. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 480 мл (В/Ц = 0,4); фибра – 36 г (3 %).

6. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 480 мл (В/Ц = 0,4); фибра – 60 г (5 %).

7. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 600 мл (В/Ц = 0,5); фибра – 60 г (5 %).

8. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 600 мл (В/Ц = 0,5); фибра – 36 г (3 %).

9. Цемент – 1 200 г; песок – 1 200 г; микрокальцит – 60 г (5 %); ПД – 3,6 г (0,3 %); вода – 600 мл (В/Ц = 0,5); фибра – 48 г (4 %).

Из данных составов были получены экспериментальные образцы-кубы $10 \times 10 \times 10$ см для определения физико-механических характеристик бетона – плотности и прочности на сжатие. Далее при помощи алгоритма расчета двухфакторного эксперимента и результатов замера характеристик образцов получили объемные поверхностные диаграммы зависимости прочности на сжатие и плотности от В/Ц и количества фибры (рис. 1, 2).

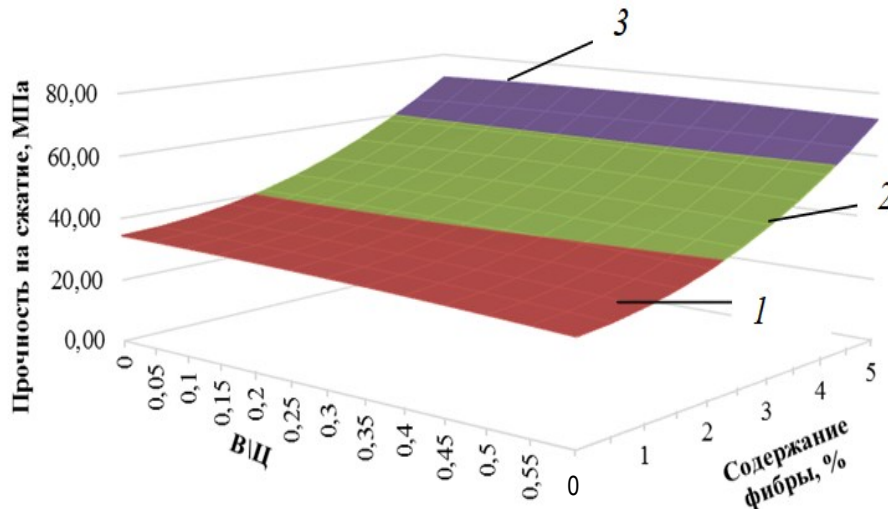


Рис. 1. Зависимости предела прочности на сжатие образцов БФБ от содержания фибры и В/Ц:
1 – 20,00–40,00; 2 – 40,00–60,00;
3 – 60,00–80,00 МПа

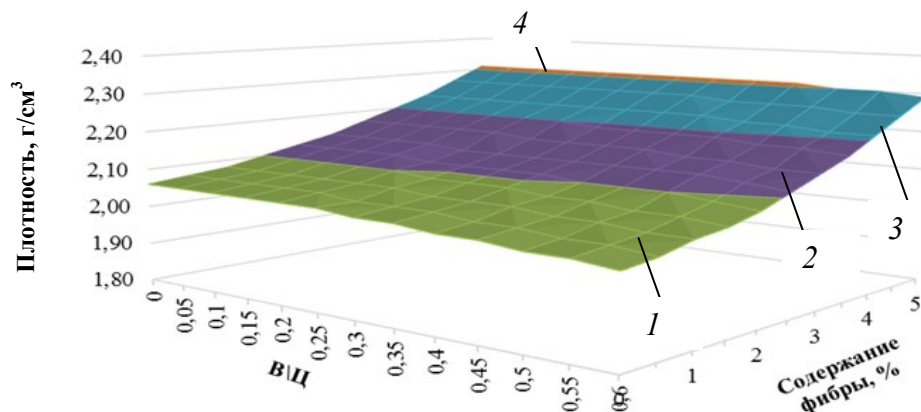


Рис. 2. Зависимости плотности образцов БФБ от содержания фибры и В/Ц: 1 – 2,00–2,10; 2 – 2,10–2,20; 3 – 2,20–2,30; 4 – 2,30–2,40 г/см³

Данные показывают, что с возрастанием количества фибры в составе прочность на сжатие и плотность увеличиваются. Кроме того, можно отметить, что увеличение В/Ц почти не влияет на прочность, в то время как плотность в таком случае падает. Момент начала понижения плотности с ростом В/Ц приходится на значение 0,4.

Оптимальное количество фибры в составе БФБ – 5 % от массы вяжущего при В/Ц = 0,4.

Из данного состава, а также контрольного состава бетона без добавления микрокальцита и базальтового волокна были изготовлены образцы-кубы $10 \times 10 \times 10$ см для сравнительного испытания на прочность при сжатии.

Ниже приведены графики сравнения характеристик экспериментальных образцов из выявленного оптимального состава и базовых образцов без добавления микрокальцита и базальтового волокна (рис. 3, 4).

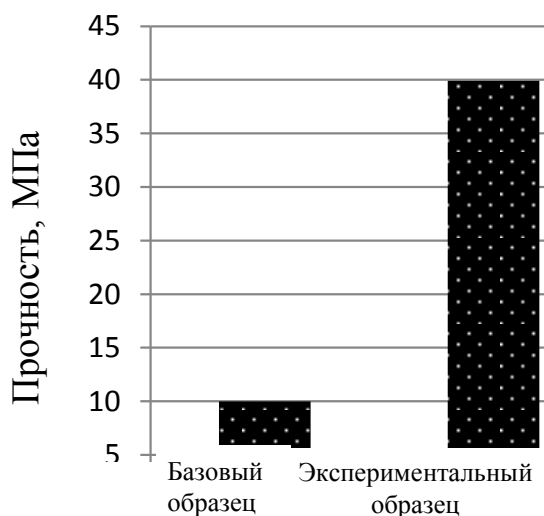


Рис. 3. Сравнение прочности на сжатие базового и экспериментального образцов

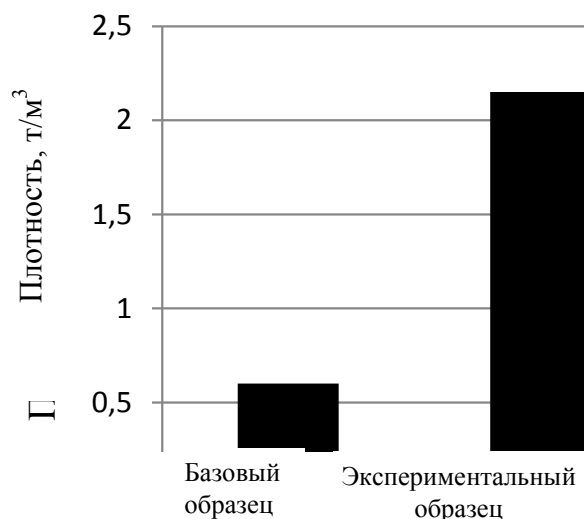


Рис. 4. Сравнение плотности базового и экспериментального образцов

Средняя прочность при сжатии БФБ оптимального состава составила 39,9 МПа, средняя плотность образцов – 2,1 т/м³, пористость – 10,7 %.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом:

1. Базальтовая фибра, благодаря своей высокой прочности и модулю упругости, обеспечивает эффективное дисперсное армирование бетона, что способствует повышению его способности выдерживать сжимающие нагрузки. Это происходит за счет того, что волокна фибры, распределяясь по всему объему бетона, создают пространственный каркас, который препятствует распространению трещин и повышает сопротивление бетона разрушению.

2. Добавление базальтовой фибры способствует уменьшению пористости бетона за счет заполнения пустот и улучшения сцепления между частицами. Это приводит к увеличению плотности бетона, что, в свою очередь, также повышает его прочность.

3. Микрокальцит, благодаря мелкому размеру частиц, способствует более плотной упаковке компонентов бетона, что уменьшает количество пустот и увеличивает плотность материала. Это достигается путем заполнения микрокальцитом пространства между более крупными частицами, такими как песок и щебень, за счет чего улучшается их сцепление и уменьшается пористость бетона.

4. Микрокальцит может способствовать улучшению гидратации цемента, что ведет к образованию более плотной и прочной кристаллической структуры цементного камня. Благодаря этому увеличивается прочность бетона при сжатии.

ВЫВОДЫ

В ходе исследовательской работы было доказано положительное влияние базальтового фиброволокна и микрокальцита на характеристики бетона, а именно на прочность при сжатии и плотность. Данные компоненты существенно повышают физико-механические показатели бетона. Кроме того, на основе литературных источников, представленных выше, можно сделать вывод, что базальтовая фибра также положительно влияет на морозостойкость и трещиностойкость бетона.

Результаты настоящей работы позволяют обосновать оптимальные составы БФБ для получения эффективных тонкостенных облицовочных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эквист К.А., Белов В.В. Эффективные фибробетонные тонкостенные облицовочные изделия // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 5–12.
2. Котляревская А.В., Лубенец Я.В., Котляревский А.А. Актуальность применения базальтовой фибры в современном строительстве // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 11. С. 507–516.
3. Окольников Г.Э., Йочич М., Курлин М. Перспективы применения полидисперсно-армированных фибробетонов // *Системные технологии*. 2021. № 1 (38). С. 86–88.

4. Плевков В.С., Колупаева С.Н., Кудяков К.Л. Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях // *Вестник ТГАСУ*. 2016. № 3. С. 95–109.
5. Алексеев К.Н., Курилко А.С., Захаров Е.В. Влияние базальтового волокна (фибры) на вязкость и энергоемкость разрушения мелкозернистого бетона // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 12. С. 56–63.
6. Алексеев К.Н. Влияние циклов замораживания-оттаивания на способность мелкозернистого бетона сопротивляться динамическим (ударным) нагрузкам в зависимости от содержания базальтовой фибры // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018. № 12. С. 84–91.
7. Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Ничинский А.Н. Физико-технические свойства фибробетонных с использованием вторичного минераловатного сырья // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 16–20.
8. Урбанов А.В., Манушина А.С., Дмитриева Е.А., Курдюмова С.Е., Потапова Е.Н. Разработка строительной смеси для малых архитектурных форм // *Успехи в химии и химической технологии*. 2017. Т. 31. № 1. С. 25–27.
9. Branston J., Das S., Kenno S.Y., Taylor C. Influence of Basalt Fibres on Free and Restrained Plastic Shrinkage // *Cement and Concrete Composites*. 2016. Vol. 74, pp. 182–190.
10. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волоконного высокопрочного бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. С. 396–403.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЭКВИСТ Кирилл Алексеевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: hgfcch@gmail.com

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Эквист К.А., Белов В.В. Использование базальтовой фибры и добавки микрокальцита в составах эффективного базальтофибробетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 4 (24). С. 42–49.

**THE USE OF BASALT FIBER AND MICROCALCITE ADDITIVES
IN THE COMPOSITIONS OF EFFECTIVE BASALT FIBER CONCRETE**

K.A. Ekvist, V.V. Belov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In the article it is noted that concrete thin-walled facing products are increasingly used in modern construction, in connection with which there is a need to create a composition, the products of which, on the one hand, should look aesthetically pleasing, and on the other hand - have a number of necessary construction and technical properties. It is indicated that the finished products meet strict requirements for strength, crack resistance, frost resistance and corrosion resistance. One of the solutions to this problem is the use of fiber as a microreinforcing component. The influence of basalt fiber and microcalcite on concrete characteristics was investigated.

Keywords: basalt fiber, micro-reinforcing component, microcalcite additive, basalt fiber concrete.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

EKVIST Kirill Alekseevich – Master’s Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: hgfcch@gmail.com

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Ekvist K.A., Belov V.V. The use of basalt fiber and microcalcite additives in the compositions of effective basalt fiber concrete // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 4 (24), pp. 42–49.