

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.328.5

### ЭФФЕКТИВНЫЕ ФИБРОБЕТОННЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ ОБЛИЦОВОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

*К.А. Эквист, В.В. Белов**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Эквист К.А., Белов В.В., 2024

**Аннотация.** В статье приведен обзор применения базальтового волокна (фибры) и других дополнительных составляющих (например, микрокальцита) для улучшения строительно-технических свойств бетона. Анализ источников показал, что использование базальтового волокна в качестве армирующего компонента положительно влияет на ряд свойств материала, таких как прочность на изгиб, прочность на сжатие и морозостойкость, а микрокальцит позволяет уменьшить пористость материала и увеличить плотность.

**Ключевые слова:** базальтовая фибра, микроармирующий компонент, фибробетон, микрокальцит.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-5-12**

Актуальность настоящей работы обуславливается тем, что бетонные тонкостенные облицовочные изделия становятся все более популярными в современном строительстве, а следовательно, возникает необходимость создания состава, изделия из которого, с одной стороны, должны выглядеть эстетично, а с другой – обладать рядом необходимых строительно-технических свойств. Готовые изделия должны отвечать жестким требованиям к прочности, трещиностойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости.

Указанные сложные задачи требуют новых, прогрессивных решений. Последние стали возможны при вводе в состав бетона дисперсных волокон. Для армирования используют различные виды волокон, имеющих металлическое, неметаллическое, органическое и природное происхождение. Названия такому бетону дают в зависимости от волокон, используемых в его составе (фиброармированный бетон, сталефибробетон, стеклофибробетон и т.д.). Номенклатура названных волокон чрезвычайно обширна. Здесь могут применяться дефицитные волокна, такие как кремний, углерод, вольфрам, а также довольно распространенные в промышленности базальт, стекло, сталь, полимеры. Несомненно, для армирования можно использовать и природные древесные волокна, но в отношении конструкции и ряда прочностных характеристик они уступают искусственным [1].

Различными отечественными и зарубежными учеными была показана принципиальная возможность применения базальтовых волокон для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств мелкозернистого бетона. Массовое применение базальтофибробетона (БФБ) в строительстве сдерживается недостаточной изученностью его долговечности, износостойкости и пригодности в различных условиях

эксплуатации. Препятствиями для широкого внедрения этого материала являются отсутствие технологических решений, направленных на получение БФБ с нормируемыми физико-механическими характеристиками, неоднозначность результатов исследований стойкости базальтового волокна в цементных матрицах, а также данных о долговечности в нормативных и руководящих материалах для проектирования [2].

Базальтовые волокна представляют интерес для применения в строительстве благодаря их механическим характеристикам. Основные из них: диаметр волокон от 10 до 20 мкм; температура применения от  $-200$  до  $+600$  °С; плотность  $2\ 800$  кг/м<sup>3</sup>; модуль упругости от  $9\ 100$  до  $11\ 000$  МПа.

Исследования образцов из высокопрочного бетона свидетельствуют о том, что добавление в них базальтовой фибры повышает его прочность при растяжении на 42–48 % [3]. В статье [4] также было отмечено, что базальтовая фибра существенно увеличивает энергоёмкость разрушения мелкозернистого бетона до 2,2 раза.

В результате изучения влияния содержания базальтовой фибры на энергоёмкость ударного разрушения после определенного числа циклов замораживания и оттаивания в работе [5] были получены следующие данные: 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, что говорит о повышении морозостойкости материала, армированного базальтовым волокном (рис. 1).

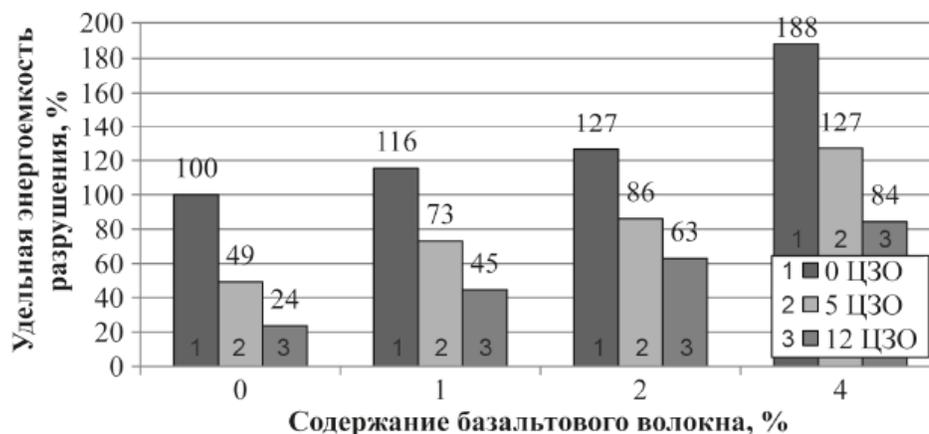


Рис. 1. Изменения удельной энергоёмкости разрушения мелкозернистого бетона, армированного базальтовым волокном, при неизменном количестве сбрасываний груза, в зависимости от количества циклов замораживания/оттаивания [5]

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 (либо стеклянная) вата [6].

Проведенные в работе [7] экспериментальные исследования показали, что применение базальтовых волокон при дисперсном армировании бетонов позволяет не только увеличить прочностные показатели при сжатии и растяжении в 1,5 и 1,3 раза

соответственно, но и значительно улучшить деформативные характеристики материала: повысить значения предельных деформаций при сжатии на 79 %, при растяжении – на 56 %, увеличить начальный модуль упругости на 23 %.

За рубежом также проводятся исследования свойств фибробетонов. Д. Брэнстон [8] обнаружил, что добавление базальтовой фибры в бетон является эффективным средством для предотвращения трещинообразования в результате снижения свободной усадки бетона, а также для замедления роста трещин, если они все же возникают.

В статье [9] выявлено, что добавление всего лишь 1 % фибры от массы вяжущего значительно повышает момент трещинообразования в бетоне (рис. 2).

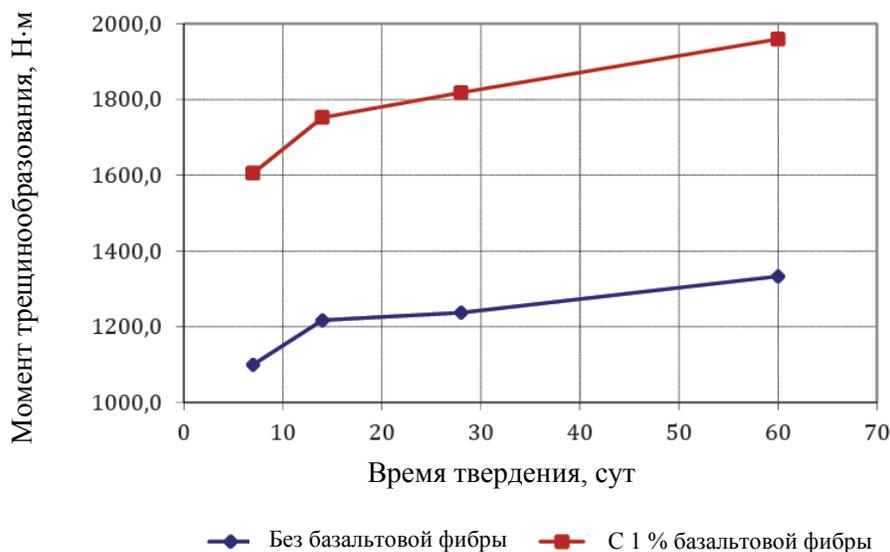


Рис. 2. Момент трещинообразования образцов из высокопрочного бетона в зависимости от времени твердения [12]

Другой насущной проблемой экологического и технического характера при получении эффективных цементобетонных изделий является модифицирование цемента путем использования дисперсных добавок. При производстве цемента  $\text{CO}_2$  выделяется в атмосферу как непосредственно во время нагревания карбоната кальция с образованием извести и диоксида углерода, так и (косвенно) в ходе сжигания большого количества топлива. Цементная промышленность создает около 10 % глобальных антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ , из которых 60 % приходится на химический процесс, а 40 % – на сжигание топлива. Согласно проведенным исследованиям, на 4 млрд т цемента, производимого ежегодно, приходится 8 % мировых выбросов  $\text{CO}_2$ . Эти выбросы могут быть уменьшены за счет снижения содержания клинкера в цементе, а также с помощью альтернативных методов производства цемента, таких как использование тонкодисперсных добавок на основе вторичного сырья промышленного производства и сырья от переработки горных пород (шлаков, зол, микрокремнезема, карбонатной муки). Наличие в строительной смеси эффективных модифицирующих добавок может обеспечить снижение расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  растворной или бетонной смеси до 15–30 %, а также улучшить свойства материала при правильном подборе состава [10].

Микрокальцит – минеральный наполнитель высокого качества, который используют в качестве добавки к бетону и не только. Любая каменная мука, особенно полученная из мрамора, т.е. микрокальцит, повышает строительные качества бетона. Она делает его прочнее, увеличивает стойкость к коррозии и снижает водопоглощение. Так, в бетонах повышенной прочности каменную муку применяют как закрашивающий наполнитель. С его использованием производится ряд строительных смесей (сухие штукатурочные покрытия; шпаклевки; затирки, замазки; строительные растворы декоративного применения; красящие составы; побелки).

Тонкодисперсные наполнители получили широкую популярность в бетонном производстве, поскольку добавляют бетону ряд специальных свойств: повышают плотность структуры материала; снижают вероятность образования пор и пустот; увеличивают водонепроницаемость смесей; уплотняют контактную зону цемента с заполнителем.

Установлено, что в мраморе имеется некоторое количество растворимых соединений, представленных по большей части бикарбонатом кальция, который может помогать формированию указанных выше соединений не только на поверхности мрамора, но и внутри цементного камня. Протекание химических реакций мрамора с продуктами гидратации цемента приводит к повышению прочности бетона, а также снижению его водопоглощения и повышению морозостойкости вследствие уплотнения внутриводяного пространства цементного камня [11].

В статье [12] опытным путем было установлено, что с повышением дисперсности микрокальцита происходит постепенное улучшение всех свойств цементного камня. Так, если прочность на сжатие бездобавочного состава составляла 53 МПа, а на изгиб – 21 МПа, то у состава, содержащего микрокальцит дисперсностью 300 мкм, прочность на сжатие была 82 МПа, а на изгиб – 53 МПа. При введении 5 % микрокальцита и с ростом его фракции значение пористости плавно уменьшалось с 7,1 до 4,8 %. При повышении дисперсности микрокальцита наблюдалось снижение значений водопоглощения от 3,4 % для бездобавочного состава до 2,1 % для состава, содержащего микрокальцит с фракцией 300 мкм.

Озвученные выше рецептурные факторы не являются единственными параметрами, которые необходимо учитывать при получении эффективных тонкостенных облицовочных материалов, набирающих сегодня большую популярность. При использовании многослойных конструкций особое место в архитектуре занимает именно отделочный слой. Важными свойствами, кроме эстетической стороны, являются долговечность и прочность. Масштабы объектов капитального строительства растут с каждым годом, и сложность их обслуживания тоже возрастает, поэтому особое внимание уделяется размерам, весу и удобству эксплуатации облицовочных материалов.

К числу востребованных на рынке форм-факторов облицовочных материалов относятся бетонные тонкостенные панели. Применение новых большиеразмерных изделий является основной задачей для проектировщиков-архитекторов. Одним из самых эффективных материалов для таких изделий выступает фибробетон. Его преимущества заключаются в высокой прочности на сжатие и растяжение при изгибе, огнестойкости, атмосферостойкости, эстетичности, практически водонепроницаемости материала. Все они наиболее полно реализуются в фибробетонных тонкостенных облицовочных панелях, достигаются в том числе и за счет эффективной технологии изготовления данных изделий. Наиболее часто применяемая технология делится на два вида – вибролитье и

торкретирование. В первом случае раствор мелкодисперсной бетонной смеси с фиброй вымешивается в смесителе и формируется путем литья и вибрационного воздействия (рис. 3). Во втором случае смесь наносится с помощью специализированного оборудования (рис. 4).



Рис. 3. Технология вибролитья [13]



Рис. 4. Технология торкретирования [13]

Малый вес фибробетонных тонкостенных облицовочных панелей достигается прежде всего за счет их толщины. Панели имеют достаточно большую плотность (до  $1\,800\text{ кг/м}^3$ ), и при толщине изделий от 25 до 40 мм их средняя масса составляет  $54\text{ кг/м}^2$ .

У технологии торкретирования важными преимуществами являются относительная быстрота изготовления, возможность получения изделий сложной конфигурации и способность к нанесению сразу на подоснову (несущую стену, кладку и т.п.). Недостатки этого метода: относительная пористость материала, появление на лицевой поверхности волосков фибры, что отрицательно сказывается на эстетической стороне изделий, а также неоднородность нанесения, которая сильно зависит от профессионального навыка изготовителя.

Второй способ позволяет получать материалы с высокой плотностью (до  $2\,350\text{ кг/м}^3$ ) и прочностью, а также качеством лицевого слоя за счет высокочастотного вибрирования (фибра под вибрацией поднимается с поверхности формообразователя).

Использование дополнительной вибрации в целом улучшает качество материала, но усложняет процесс изготовления [13].

Фибробетонные плиты эффективно использовать в фасадных системах быстровозводимых зданий. Стоимость фибробетона значительно выше стоимости обычного бетона. Данный недостаток компенсируется долговечностью материала. Фибробетоны дают экономический эффект за счет высоких показателей долговечности, эксплуатационной пригодности, износостойкости, трещиностойкости, ударопрочности, а также повышения межремонтного ресурса и безопасности зданий и сооружений при пожарах и сейсмических воздействиях.

Данный продукт отвечает как требованиям качества, так и стремлению к использованию тонких и сравнительно легких большемразмерных изделий. В целом использование фибробетона является гораздо более экономичным, чем использование железобетона, особенно с учетом экономии сырьевых ресурсов и затрат на транспортировку и монтаж конструкций. Фибробетон имеет отличные характеристики (термостойкость и морозостойкость, негорючесть и стойкость к воздействию микроорганизмов), благодаря которым он находит широкое применение в особо суровых климатических условиях [14].

В заключение необходимо сделать следующие выводы: базальтовое волокно в составе фибробетона (в определенной пропорции) значительно повышает многие эксплуатационные характеристики, такие как прочность на сжатие и изгиб, морозостойкость, трещиностойкость; микрокальцит в составе бетона положительно влияет на прочность и плотность готового изделия, увеличивая их. На основе двух данных компонентов можно создать эффективные облицовочные изделия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляревская А.В., Лубенец Я.В., Котляревский А.А. Актуальность применения базальтовой фибры в современном строительстве // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 11. С. 507–516.
2. Окольников Г.Э., Йочич М., Курлин М. Перспективы применения полидисперсно-армированных фибробетонов // *Системные технологии*. 2021. № 1 (38). С. 86–88.
3. 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.
4. 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.
5. 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 (научно-технический журнал)*. 2018. № 12. С. 84–91.
6. Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Ничинский А.Н. Физико-технические свойства фибробетонов с использованием вторичного минераловатного сырья // *Современные бетоны: наука и практика*. 2019. С. 16–20.
7. Бучкин А.В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный тонким базальтовым волокном. Дисс... канд. техн. наук. М. 2011. 20 с.

8. 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. P. 182–190.
9. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волоконистого высокопрочного бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. № 14 (15). С. 396–403.
10. Копаница Н.О., Демьяненко О.В., Куликова А.А. Комплексные добавки на основе вторичных ресурсов для модификации цементных композиций // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2023. Т. 334. № 1. С. 136–144.
11. Повышение коррозионной стойкости базальтового волокна в цементных бетонах / К.А. Сарайкина [и др.] // *Строительные материалы*. 2016. № 1-2. С. 27–31.
12. 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.
13. Огнева К.Н. Применение тонкостенных армированных материалов для облицовки гражданских зданий // *Научные труды Калужского государственного университета имени К.Э. Циолковского. Серия: Естественные и технические науки*. Калуга: КГУ им. К.Э. Циолковского, 2020. С. 48–52.
14. Давтян А.С., Киракосян В.А. Предпосылки развития тонкостенных конструкций в перспективе использования в строительстве быстровозводимых зданий. *Проектирование и строительство: Сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров*. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 104–108.

#### 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. Эффективные фибробетонные тонкостенные облицовочные изделия // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 5–12.

**EFFECTIVE FIBER-CONCRETE THIN-WALLED  
CLADDING PRODUCTS**

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

**Abstract.** The article gives an overview of the use of basalt fiber and other additional components (e.g. microcalcite) to improve the construction and technical properties of concrete, microcalcite) to improve the construction and technical properties of concrete. The analysis of of sources has shown that the use of basalt fiber as a reinforcing component has a positive effect on a number of material properties such as flexural strength, compressive strength and frost resistance, while microcalcite reduces the porosity of the material and increases its density.

**Keywords:** basalt fibre, micro-reinforcing component, fibre concrete, microcalcite.

**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 Production 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. Effective fiber-concrete thin-walled cladding products // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 3 (23), pp. 5–12.

**УДК 691.328**

**ДЕФЕКТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ НАРУШЕНИИ  
НОРМ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Ю.Ю. Курятников*  
*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Курятников Ю.Ю., 2024

**Аннотация.** При анализе рекламаций на железобетонные изделия выявлено, что большое количество причин возникновения дефектов связано с нарушением правил и норм транспортировки, складирования, монтажа и эксплуатации изделий и сооружений. Представлены реальные примеры из практики, методы решения проблемы.

**Ключевые слова:** железобетонные изделия, обследования изделий и сооружений, дефекты, нормы складирования, нормы монтажа, правила эксплуатации, многопустотные плиты перекрытий, коррозия бетона.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-12-20**