

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

**Серова Роза Фаиковна**

к.т.н., доцент кафедры *Строительные материалы и технологии*  
Карагандинского Государственного технического университета  
Казахстан, г. Караганда

**Рахимова Галия Мухамедиевна**

к.т.н., доцент кафедры *Строительные материалы и технологии*  
Карагандинского Государственного технического университета  
Казахстан, г. Караганда

**Стасилович Евгения Александровна**

магистр технических наук, ассистент кафедры *Строительные материалы и технологии*  
Карагандинского Государственного технического университета  
Казахстан, г. Караганда

**Айдарбекова Салтанат Жанабекқызы**

магистрант кафедры *Строительные материалы и технологии*  
Карагандинского Государственного технического университета  
Казахстан, г. Караганда

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены вопросы структурообразования, технологии получения, состава дисперсно-армированных бетонов, а также их физико-механические свойства. Рассмотрены принципы дисперсного армирования различных видов бетонных матриц с применением в качестве армирующих компонентов волокон из стали, стекла, базальта и материалов на основе органического происхождения.

Изучены физико-механические свойства волокон для дисперсного армирования, которые зависят от технологических условий их изготовления, качества совмещаемых компонентов друг с другом, создаваемых связей в объеме бетонной композиции, различием между прочностными и деформационными характеристиками совмещаемых компонентов, соотношениями параметрами волокон.

Исследованы технико-экономические показатели и улучшения экономического эффекта разных видов дисперсно-армированных бетонов по сравнению с другими строительными материалами

**Ключевые слова:** структурообразование, дисперсное армирование, фиброармированный бетон, сталефибробетон, стеклофибробетон, трещиностойкость, растяжение.

## RESEARCH OF PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF DISPERSED-REINFORCED CONCRETE

**Roza F. Serova**

PhD, Associate Professor of department Building materials and technology  
Karaganda State Technical University  
Kazakhstan, the city of Karaganda

**Galiya M. Rakhimova**

PhD, Associate Professor of department Building materials and technology  
Karaganda State Technical University

Kazakhstan, the city of Karaganda

**Yevgeniya A. Stasilovich**

Master of Technical Sciences, assistant of department Building materials and technology

Karaganda State Technical University

Kazakhstan, the city of Karaganda

**Saltanat Zh. Aidarbekova**

Graduate student of department Building materials and technology

Karaganda State Technical University

Kazakhstan, the city of Karaganda

**Abstract:** In this article, questions of structure formation, production technology, the composition of dispersed-reinforced concrete, as well as their physical and mechanical properties are considered. Principles of disperse reinforcement of various types of concrete matrices with the use of fibers from steel, glass, basalt and materials based on organic origin as reinforcing components are considered.

The physicommechanical properties of fibers for disperse reinforcement, which depend on the technological conditions of their manufacture, the quality of the combined components with each other, the relationships created in the volume of the concrete composition, the difference between the strength and deformation characteristics of the combined components, and the fiber parameters are studied.

The technical and economic indicators and improvement of economic effect of different types of dispersed-reinforced concrete in comparison with other building materials are examined.

**Key words:** structure formation, disperse reinforcement, fibro-reinforced concrete, steel-fiber concrete, fiberglass concrete, crack resistance, stretching.

В современном строительстве ежедневно решают задачи по повышению эффективности строительного производства, снижению стоимости материалов, но при этом сохранению или даже улучшению физических, механических, конструкционных и других не менее важных свойств, а также уменьшению трудоемкости технологического процесса, рациональному и экономному использованию материальных и энергетических ресурсов.

Такие сложные задачи требуют наиболее новых, прогрессивных решений. Такое стало возможным с применением в состав бетона ввода 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 таких волокон чрезвычайно обширна. Здесь могут применяться дефицитные волокна, такие как кремний, углерод, вольфрам, и, довольно распространенные в промышленности базальт, стекло, сталь, полимеры. Несомненно, можно применять в качестве армирования и природные древесные волокна, но они в отношении конструкции и ряде прочностных характеристик уступают искусственным волокнам.

Популярность использования таких видов бетонов возрастает за счет использования в них искусственных волокон, как основосоставляющих материалов для производства бетона в строительстве, потому что они используются в качестве армирующего материала.

Такой интерес вызван стремлением значительно повысить прочность на трещиностойкость, растяжение, ударную вязкость бетонных материалов, при этом происходит экономия на других, более дорогих заменителях, составляющих основу

бетонной смеси. А требования современного строительства в получении более прочных эффективных армированных конструкций еще более подогревают интерес строительных организаций в получении такого выгодно во многих планах материала.

Важными в настоящее время являются вопросы экономии энергии, необходимой для производства различных строительных материалов. Известно, что количество энергии, требующейся для производства бетонов, оказывается минимальным по сравнению с количеством энергии (приведенной к единому эквиваленту), необходимой для изготовления стали, алюминия, стекла, кирпича, пластмасс. Производство бетонных материалов помимо этого требует меньшего по сравнению с производством стали расхода воды и в меньшей степени влияет на загрязнение окружающей среды. Армирование бетонов приводит к соответствующему повышению энергоемкости материала. Так как применение армированных сталью бетонов осуществляется в широких масштабах, становится существенной проблема максимального сокращения расхода металла и наиболее рационального его использования в бетоне [1].

Физико-механические свойства бетона из *стальных волокон* – прочность на сжатие и растяжение, модуль деформации, коэффициенты призмочной прочности – исследования проводились в бетонах с разным водовязующим соотношением, различным содержанием самого вяжущего и объема стальной фибры, а также объемного содержания теста.

Армирование стальными фибрами изменяет свойства материала. С добавлением стальных волокон образуется новый композит – *сталефибробетон*. Его свойства зависят от множества факторов, касающихся типа самой фибры, содержания ее в композите, соотношения параметров арматуры и структуры бетонной матрицы, уровня дисперсности, а также форм размеров сечения, длины волокон.

Результаты выполненного большого комплекса исследований физико-механических свойств *сталефибробетона* позволили установить, что среди многочисленных факторов, оказывающих влияние на значения характеристик свойств наиболее существенными являются: водовязующее отношение, характеристики прочности вяжущего, объемная концентрация теста из вяжущего, концентрация, удельная поверхность и вид фибры в нем [1].

Исследования влияния объемного содержания стальной фибры БМЗ на прочность цементного камня при сжатии и растяжении при изгибе проводились с использованием портландцемента ПЦ 500-Д 20 производства ТОО «Нурхан», расположенным в г. Караганды. Водцементное отношение приравнивалось к значениям 1,0; 1,1 и 1,2 от коэффициента нормальной густоты, равного 0,268, которое составило: В/Ц ц.к.=0,268; 0,295 и 0,322. Цементно-водное отношение равнялось: 3,73; 3,39 и 3,11.

Объемное содержание фибры принималось равным: 0; 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0%. Образцы цементного камня изготавливались в соответствии с требованиями ГОСТ10180-90 и подвергались тепловой обработке по режиму 3ч+3ч+12ч+6ч при температуре изотермической выдержки 400°C.

Свойства *сталефибробетона* и конструкций из него зависят также и от технологии производства: технология приготовления бетонной смеси, формовки конструкции, условия твердения и хранения готовых видов материала. Прочность – это уровень максимальных напряжений, который может выдержать материал без изменений в своей структуре и больших деформаций. Характеристика прочности *сталефибробетона* будет зависеть от класса бетона, параметра применяемой фибровой арматуры, характера ее поверхности, геометрии, а также размеров сечения, длины волокон.

Рост прочности СФБ при сжатии прямо пропорционален классу бетона - матрицы, увеличению содержания фибры, уменьшению относительной длины и практически не зависит от их диаметра. Прочность на сжатие *сталефибробетона* является главной из характеристик для его проектирования в составе бетона и может быть выбрана по прочности на сжатие  $R_f$  или расчетными данными.

Прочность при растяжении СФБ растет прямо пропорционально увеличению содержания фибры и их длины, а также при увеличении прочности сцепления фибры с матрицей. Прочность СФБ при растяжении является одной из определяющих характеристик материала. Независимо от длины и объемного содержания фибры прочность СФБ при осевом растяжении ( $R_{fbt}$ ) иссякает с появлением первой трещины.

Из анализа специалистов  $R_{fbt}$  превышает прочность исходного бетона по сравнению с дисперсно-армированным бетоном при растяжении  $R_{bt}$  до 5 – 6 раз. Прочность на растяжение может быть выбрана в соответствии с классом СФБ по прочности на растяжение  $V_R$  или определена расчетом.

Прочность на растяжение при изгибе является одним из важных показателей СФБ, который зависит от содержания фибры и её длины, прочности её сцепления с бетонной матрицей, класса бетонной матрицы и превышает прочность исходного бетона в 3,5-5 раз. Как другие характеристики СФБ, прочность СФБ при изгибе может быть выбрана в соответствии с классом СФБ по прочности на растяжение при изгибе  $V_{fb}$  или определена расчетом [2].

Динамическая прочность СФБ при сжатии (призменная) на 35% выше прочности исходного бетона. Она возрастает с увеличением объемного содержания фибры и уменьшением их относительной длины. Развитие трещин и разрушение в сталефибробетоне наступает медленнее, чем в железобетоне, более чем в 10 раз. Причем вязкость разрушения, характерная для СФБ при воздействии ударной нагрузки, до 40 раз выше аналогичной характеристики бетона [2]. По литературным данным предел выносливости сталефибробетонных конструкций выше железобетонных на 30% и составляет  $0,95 R_{bn}$ .

Силовые деформации. Показателем деформативности СФБ является модуль деформации – непостоянная величина и существенно зависящая от стадийности работы. Начальный модуль упругости СФБ зависит как от соответствующего показателя исходного бетона, так и от коэффициента фибрового армирования. Значение начального модуля упругости СФБ выше соответствующей характеристики бетона матрицы на 30% ... 100% [2].

Деформативность СФБ характеризуется, помимо указанного выше, предельными деформациями сжатия  $\epsilon_{fc,u}$  и растяжения  $\epsilon_{ft,u}$ . Предельная сжимаемость СФБ  $\epsilon_{fc,u}$  превышает сжимаемость бетона до 3-х раз и составляет в среднем  $12 \times 10^{-3}$ , предельная растяжимость СФБ  $\epsilon_{ft,u}$  существенно выше аналогичной характеристики бетона, по имеющимся данным она составляет  $6...8 \times 10^{-4}$  [2].

Деформации ползучести СФБ ниже ползучести исходного бетона при сжатии на 10...21%, при растяжении - на 40...50%.

Можно отметить, что фибра сдерживает деформации усадки бетона в СФБ и способствует их более равномерному протеканию. Снижение деформаций усадки СФБ по отношению к неармированному бетону, по оценкам специалистов, составляет 30 ... 60%. При повышенных температурах усадка СФБ ниже усадки исходного бетона на 10 ... 23% [2].

Трещиностойкость. Для СФБ характерна высокая трещиностойкость, которая зависит не только от объемного содержания фибры, но и от дисперсности армирования. Чем более однородна бетонная матрица и, чем выше уровень дисперсности армирования, тем выше, при прочих равных условиях, предел трещиностойкости СФБ, который до 20-ти раз может превышать трещиностойкость исходного бетона [2].

Долговечность строительного материала зависит от таких свойств как морозостойкость, стойкость к коррозии, водонепроницаемость и трещиностойкость. Исходя из анализа свойств сталефибробетона, то этот материал обладает очень высокими показателями долговечности. Что доказано экспериментальным путем, где сравнивались

обычный бетон и бетон с применением стальной фиброарматуры. Показатели по морозостойкости второго превысили в семь раз показатели обычного бетона.

Водонепроницаемость СФБ, как другие его гидрофизические свойства, зависит от структуры материала, прямо пропорциональна дисперсности фибрового армирования и содержанию фибры в объеме материала конструкции. По оценкам специалистов, водонепроницаемость СФБ превышает эту характеристику бетона почти в 2 раза [3].



Рисунок 1 - Образцы – кубы (10x10x10 см) после испытаний на раскалывание из staleфибробетона, изготовленного с листовой фиброй (1),  $m_{fv} = 1\%$ , из бетона (2), фрезерованной,  $m_{fv} = 2\%$  (3), токарной (4) и проволоочной (5) фиброй

Коррозионная и фильтрационная стойкость СФБ определяются количеством фибровой арматуры и структурой порового пространства СФБ. Матрица СФБ обладает повышенными защитными свойствами по отношению к волокнам. Экспериментально доказано, что в СФБ образуются капилляры с размером не более 0,01 мм, а это делает его влагонепроницаемым, а значит и обладающим высокой коррозионной стойкостью, превышающей почти в 2 раза коррозионную стойкость исходного бетона [3].

Теплофизические свойства СФБ – теплопроводность  $l_f$ , температуропроводность  $a_f$ , теплоемкость  $C_f$ , в общем случае зависят от объемного содержания фибры и влажности материала. Температуропроводность СФБ выше этого показателя исходного бетона до 16%; теплопроводность СФБ  $l_f$  превышает теплопроводность исходного бетона  $l_0$  до 30%, теплоемкость СФБ практически равна теплоемкости бетона[3].

Сталефибробетон является более огнестойким материалом, чем сталь и железобетон, так как при температурах пожара он практически сохраняет на нормативный срок свои прочностные и деформативные свойства. Исследования СФБ, подвергнутого высокотемпературному нагреву при пожаре (до  $t = 500^\circ\text{C}$ ), проведенные с целью оценки его работоспособности, показали, что энергия разрушения СФБ до 200 раз превышает этот показатель обычного бетона, а коэффициент интенсивности напряжений – в 12 раз. При этом СФБ с фибрами из низкоуглеродистой стали выдерживает нагрев, без снижения прочности, до температуры 450 – 537 $^\circ\text{C}$ ; с фибрами из нержавеющей стали до температуры 1590 – 1595 $^\circ\text{C}$  [2].

Исследования СФБ на истираемость свидетельствуют о структурном улучшении этого материала в сравнении с неармированным бетоном. Показатель истираемости

улучшается, в среднем, в 2 раза сравнении с неармированным бетоном и фибры истираются совместно с бетонной матрицей [3].

Кавитационная стойкость – это специфическое свойство СФБ, которое выделяет его из всех известных материалов. Эта характеристика в 2,5 раза выше, чем у неармированного или армированного другими способами бетона. Особенно она повышается при армировании стальными фибрами полимербетона. Для невысоких скоростей потока достаточной кавитационной стойкостью обладает СФБ и без полимерных добавок [3].

Из данных, приведенных в таблице 1 видно, что при увеличении водоцементного отношения от 3,11 до 3,73 при объемном содержании в бетоне фибры до 1 % рост прочности на сжатие происходит равномерно, а на растяжение при изгибе резко возрастает с повышением объемного количества фибры. Однако при увеличении объемного содержания фибры с 1 до 3% прочность на растяжение при изгибе увеличивается не более чем на 20%.

Влияние объемного содержания стальной фибры на сопротивление сжатию цементного камня при исследуемых цементно-водных отношениях увеличивается в разной степени от 8 до 23% при увеличении содержания фибры до 3%. По предварительным данным представляется возможным принять увеличение сопротивления сжатию цементного камня по 5% на каждый процент увеличения содержания фибры [4].

Таблица 1

Результаты исследований физико-механических свойств цементного камня, армированного стальной фиброй  $d=0,8$  мм  $L=50$  мм

| Ц/В  | Характеристики свойств | Физико-механические свойства, МПа, при объемном содержании фибры в % |      |       |       |       |
|------|------------------------|----------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|
|      |                        | 0                                                                    | 0,5  | 1,0   | 2,0   | 3,0   |
| 3,73 | сжатие                 | 60                                                                   | 62,4 | 62,8  | 64    | 65    |
|      | растяжение при изгибе  | 1,404                                                                | 6,7  | 14,81 | 15,52 | 17,12 |
| 3,39 | сжатие                 | 55,2                                                                 | 61,9 | 63,8  | 67,7  | 70,2  |
|      | растяжение при изгибе  | 0,398                                                                | 3,93 | 10,38 | 11,26 | 12,87 |
| 3,11 | сжатие                 | 50,6                                                                 | 50,0 | 50,8  | 53,08 | 57,3  |
|      | растяжение при изгибе  | 0,3                                                                  | 0,55 | 2,46  | 7,24  | 11,32 |

В результате выполненного анализа на основе научных исследований по влиянию содержания стальной фибры на сопротивление сжатию фибробетона по классу прочности на сжатие и удобоукладываемости бетонной смеси установлены колебания прочности в зависимости от объемного содержания в составе фибр.

Практически все виды *синтетических волокон* (нейлоновые, капроновые, полипропиленовые и др.) обладают, как уже отмечалось, химической стойкостью к воздействиям щелочной среды гидратирующихся портландцементов. Здесь будут описаны результаты исследований по изучению свойств бетонов с дисперсной арматурой из волокон органического происхождения, включая синтетические волокна [4].

Рассмотренные данные экспериментов дают наглядное пособие, что введение синтетических волокон в бетонную матрицу не сказывается положительным результатом по прочности материала на растяжение или сжатие, изгиб при действии на него статической нагрузки. Все это происходит потому, что бетон не в состоянии передать свои статические усилия на волокна, модуль упругости которых значительно ниже модуля упругости бетона. Поэтому целесообразным выходом для использования синтетических волокон и применения их в строительстве будет зависеть от условий работы конструкции в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации его в окружающей среде.

Одно из самых важных свойств таких волокон для производства бетона является то, что синтетика повышает сопротивление бетона ударным нагрузкам. При мгновенном приложении нагрузки, необходимой для разрушения бетонной матрицы, после того как в нем образовались трещины, энергия затрачивается на выдергивание пластичных волокон из бетона. Когда время действия нагрузки чрезвычайно мало, необходимо за короткий промежуток произвести большую работу, чтобы обеспечить выдергивание большой массы весьма тонких и пластичных волокон из объема бетона.



Рисунок 2 - Полипропиленовые волокна

Известны результаты эксперимента, проведенного в США. Несколько групп бетонных элементов, армированных обычной стержневой арматурой и содержащих дополнительную арматуру, в том числе из синтетических (найлоновых, полипропиленовых и полиэтиленовых) волокон, стальных фибр и асбестовых волокон, были помещены в эпицентр взрыва. Обследование этих элементов после взрыва показало, что все виды волокон обеспечили определенный эффект. Однако наибольшая эффективность была достигнута при применении стальных фибр размером 0,43x38мм и найлоновых нитей в 15 денье (денье - толщина нити, выражаемая массой 9000м данной нити, г) длиной 75мм. Характерно, что наименьшие повреждения имели элементы, армированные нейлоновыми волокнами. Использование волокон позволило существенно повысить сопротивление бетона раздроблению при взрыве и уменьшить скорость разлета кусков бетона. Бетонные элементы, включающие только стержневую арматуру, при взрыве были полностью разрушены, тогда как такие же элементы, включающие волокнистую арматуру, при тех же условиях сохранили относительную форму и размеры и могли быть полностью восстановлены при ремонте [4].

Синтетические волокна имеют плохую смачиваемость и соответственно плохую адгезию к цементному камню. Обеспечение совместной работы волокон с бетоном может быть достигнуто только за счет их механического заанкеривания (зацепления). С этой точки зрения, наибольший интерес представляют волокна, имеющие конструкцию в виде спирали или скрученные (переплетенные) в жгут. Эффективность волокон тем выше, чем больше их относительная длина ( $l_f/d_f$ ). Наилучшие результаты достигнуты на бетонах с содержанием синтетических волокон 0,15-0,25% по массе (0,4-0,65% по объему) при длине 10-100мм [1].

Использование в составе бетона синтетических волокон в качестве арматуры положительно сказывается на уменьшении усадочных деформаций бетона, повышении

морозостойкости, сопротивлению усталости материала, влиянию атмосферных факторов за счет своей гибкости и устойчивости к агрессивным внешним средам.

Физико-механическими и прочностными свойствами *базальтовой фибры*, занимаются многие ученые строительных и научно-исследовательских институтов во всем мире. Таким образом, были сделаны следующие выводы:

1. Базальтофибробетон выдерживает нагрузки, превосходящие в несколько раз нагрузки, выдерживаемые неармированным бетоном. При этом разрушается он упруго-пластичным характером, тогда как неармированный бетон просто раскалывается на отдельные части.

2. Волокно из базальта снижает усадку во время твердения бетона на ранних сроках

3. Доказано экспериментальным путем, что базальтовое волокно снижает усадочные деформации при твердении, особенно на ранних сроках, что повышает сопротивление восприятия напряжений внутри бетона при переменном замораживании и оттаивании, то есть увеличивает морозостойкость.

4. Фибра в бетоне снижает его проницаемость. Марка по водонепроницаемости может достигать значений W16, в зависимости от пропорции и марки бетона. Коэффициент диффузионной проницаемости для хлоридов равен  $1 \times 10^{-9}$  см<sup>2</sup>/сек, что соответствует особо плотному бетону.

5. Срок эксплуатации изделий армированных базальтовым волокном увеличивается в два раза за счет того, что он улучшает свойства бетона, противостоящие агрессивным средам окружающей среды.

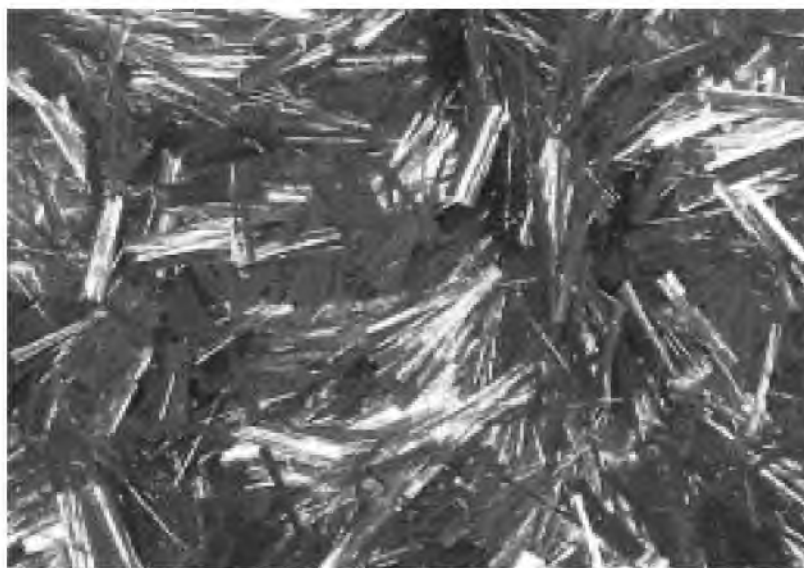


Рисунок 3 - Базальтовое фиброволокно

В ходе испытаний бетонов с базальтовой фиброй было установлено:

1. На границе цементного камня и волокон базальта, проходит хемосорбционное взаимодействие с появлением вновь образующихся новообразований, относящихся к низкоосновным гидросиликатам кальция [5].

2. Базальтовая фибра состоит из еще более тонких волокон. На их поверхности в местах дефектов образующихся от механических воздействий происходит процесс кристаллизации, появляется сеть тонких гексагональных пластин и игольчатых кристаллов, которые срастаются со сферическими зёрнами цементной системы, дополнительно усиливая действие волокна как дисперсной арматуры. Волокно

имеет полую структуру, в торцевую часть которой проникают продукты гидратации с образованием кристаллических сростков. Благодаря этому происходит увеличение прочности цементного камня [5].

Фибра в бетоне вступает в такую реакцию с камнем цемента, что становится с ним единым целым, придавая ему тем самым дополнительные прочностные характеристики. Структура базальтофибробетона схожа с бетоном, армированным металлической сеткой, но базальтофибробетон намного прочнее, так как базальтовая фибра в бетоне обладает более высокой степенью дисперсности в армируемом камне, бетон, который армирован базальтовой фиброй, может выдерживать большие деформационные напряжения, за счет того, что волокно не подвержено пластическим деформациям при напряжении, а его модуль упругости выше чем у стали. Повышение прочности цементного камня также происходит благодаря влиянию волокон базальта на места концентрации напряжений которые ослаблены из-за структурных дефектов, либо вследствие повышенной пористости [6].

Делая вывод о назначении базальтового волокна в бетоне можно выделить основные его положительные качества, влияющие на характеристику дисперсно армированного бетона:

- увеличивает срок службы в два раза;
- бетонная конструкция с использованием базальтового волокна способна выдерживать более мощные ударные и динамические нагрузки на материал;
- придает коррозионную стойкость бетону;
- повышает морозостойкость;
- сопротивление воздействию высоких температур;
- увеличивает коэффициент истираемости бетона до 60%;
- уменьшает трещинообразование и усадочные трещины во время критического момента высыхания бетона и в первые пару часов усадки.

#### Список литературы:

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография // Ф. Н. Рабинович. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 560 с.
2. Рабинович Ф.Н., Рудой В.М., Освоение производства стеклофибробетонных конструкций в Москве // Промышленное и гражданское строительство. – 1995. - №6.- с.13-15.
3. Книтл И., Боегл М. Использование самоуплотняющегося сталефибробетона при производстве сборных железобетонных конструкций // Бетонный завод. – 2008. – №3. – с.14-19.
4. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами // ВНИИЭСМ. – М. – 1976. – 73с.
5. Скобинская А.А., Бамбура А.Н., Ватагин С.С., Костиков В.С., Катруца Ю.А. // Инструкция по технологии изготовления строительных конструкций из дисперсно армированного базальтофибробетона. – НИИСК. – Киев. – 1992.- 38с.
6. Рабинович Ф.Н., Еткин Н.В. Перспективы освоения производства базальтовых волокон на базе Норильского горно-металлургического комбината // Строительные материалы. –1997. –№8–с.6-7.