

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN117.pdf>

Статья опубликована 27.02.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ибе Е.Е., Шугурова А.В. Перспективы применения фибробетона при строительстве гидротехнических сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017)

<http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК691.328

Ибе Екатерина Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Филиал в г. Абакан, Россия, Абакан¹

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: k_andruyshina@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=649187

Шугурова Анна Владимировна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Филиал в г. Абакан, Россия, Абакан

Магистрант, 2 курс, направление 08.04.01

E-mail: ann.shu@mail.ru

Перспективы применения фибробетона при строительстве гидротехнических сооружений

Аннотация. В работе предлагается использование фибробетона для гидротехнических сооружений. К гидротехническим бетонам предъявляются повышенные требования такие как долговечность, повышенная морозостойкость, водонепроницаемость, способность противостоять воздействию воды, которым удовлетворяет фибробетон. Экспериментальные исследования подтвердили возможность применения фибробетона с базальтовой фиброй с процентом армирования 1%.

В данной статье представлены результаты расчета модели плотины Саяно-Шушенской Гидроэлектростанции. Массив плотины был смоделирован 8-узловыми изопараметрическими конечными элементами и 6-узловыми изопараметрическими конечными элементами в программном комплексе. Для проведения сравнительного анализа было просчитано 3 варианта секции плотины: из обычного железобетона, с облицовочным слоем из фибробетона толщиной 10 м по периметру поперечного сечения секции плотины, и с облицовочным слоем из фибробетона толщиной 10 м только с рабочей стороны.

Полученные результаты напряженно-деформированного состояния показали, что за счет более высокого модуля упругости фибробетона, а также большей прочности на сжатие и растяжение, в облицовочном слое плотины возникают меньшие нормальные и касательные напряжения. Также усадка бетона существенно влияет на напряженное состояние плотины. Усадочные напряжения возникают вследствие неравномерного остывания бетона, разогретого экзотермическим процессом его схватывания и твердения. Эту проблему позволяет решить фибробетон. Применение фибробетона в качестве облицовочного слоя для плотины уменьшает

¹ 655017, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27

образование потенциальных трещин, которые могут возникнуть при увеличении напряжений в теле плотины, вследствие особых сочетаний нагрузок, обеспечив нормальную эксплуатацию и долговечность конструкции.

Ключевые слова: фибробетон; базальтовая фибра; гидроэлектростанция; плотина; усадка бетона; нормальные напряжения; касательные напряжения; напряженно-деформированное состояние

Введение

В настоящее время на территории России работают 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт. По общей установленной мощности гидроагрегатов, а также выработке электроэнергии, Россия занимает 5 место в мире. При этом в общем объеме производства электроэнергии в России доля ГЭС пока не превышает 21%. При этом по экономическому потенциалу гидроэнергоресурсов Россия занимает второе место в мире (после Китая), однако, по степени их освоения - 20%, т.е. уступает практически всем развитым странам и многим развивающимся государствам. Так, во Франции и Швейцарии этот показатель превышает 90%, Канаде и Норвегии - 70%, США и Бразилии - 50% [5].

Дальнейшее освоение гидропотенциала России государство поставило такие приоритетные задачи как обеспечение надежной и безопасной эксплуатации действующих ГЭС, завершение существующих строек, а также проектирование и сооружение новых гидроэлектростанций [5].

Основным конструкционным строительным материалом при возведении таких сооружений всегда был бетон. Он должен обладать такими свойствами, как долговечность, повышенная морозостойкость, водонепроницаемость, способность противостоять воздействию водной (морской) среды. При строительстве сооружений, работающих непосредственно с водой, используют гидротехнический бетон. К таким бетонам предъявляют дополнительные повышенные требования [10], которым удовлетворяет фибробетон.

В предыдущих статьях [10], [11], [1] были рассмотрены технические характеристики фибробетона, свойства и показатели различных фибровых волокон, выявлены рациональные области применения фибробетонов.

Было выявлено, что фибробетон незаменим в гидротехническом строительстве, где важную роль играет прочность бетона на изгиб. Это связано с трещинообразованием и морозостойкостью бетона, так как вода, попавшая в трещины при замерзании, расширяется и оказывает воздействие на бетонный камень. При многократном таком воздействии бетон приходит в негодность [8].

Методика исследования

В лаборатории ХТИ - филиала СФУ были проведены экспериментальные исследования. В качестве объекта исследования была взята базальтовая фибра (рубленое волокно) ТУ-5952-002-91341008-2012, ООО «Русский базальт», диаметр волокна 200 мкм, длина - 12 мм. Изготавливались образцы с одинаковым составом и разными процентами армирования. Результаты могут зависеть от количества добавляемой фибры, от длины, диаметра волокна, а также от материала. В дальнейшем планируется проведение эксперимента с использованием других видов фибр.

Согласно данным [9] дисперсное армирование улучшает механические характеристики бетонов: повышается прочность при осевом растяжении (до 60-80%), прочность на растяжение

при изгибе (до 250%), увеличивается модуль упругости (на 10%), снижаются деформации усадки и ползучести.

Экспериментальные исследования проводились для обоснования возможности применения фибробетона в качестве облицовочного слоя плотины гидроэлектростанции.

В качестве модели нами рассматривается крупнейшая по установленной мощности электростанция России - Саяно-Шушенская Гидроэлектростанция. Устойчивость и прочность арочно-гравитационной плотины обеспечивается действием собственного веса (на 60%) и частично упором верхней арочной части в берега (на 40%).



Рисунок 1. Плотина Саяно-Шушенской Гидроэлектростанции [12]

По условиям бетонирования и омоноличивания тела плотины её массив разделён радиальными швами на 68 секций. Для расчета в данной работе принята секция длиной 50м. Был проведен расчет в программном комплексе SCAD Office 21.1, массив плотины смоделирован 8-узловыми изопараметрическими конечными элементами (тип 36) и 6-узловыми изопараметрическими конечными элементами (тип 34). Для проведения сравнительного анализа было просчитано 3 варианта секции плотины.

1 вариант: Секция плотины из железобетона класса В20. С модулем упругости 2750000 т/м², коэффициентом Пуассона - 0,2.

2 вариант: Облицовочный слой из фибробетона толщиной 10 м по периметру поперечного сечения секции плотины, внутри (аналогично первому варианту) железобетон класса В20. Облицовочный слой из фибробетона класса В40, который получен из бетона В20, благодаря добавлению базальтовой фибры (1%). По данным [9] модуль упругости увеличен на 10%, что составляет 3025000 т/м², коэффициент Пуассона - 0,3.

3 вариант: Облицовочный слой из фибробетона толщиной 10м только с рабочей стороны, остальная часть выполнена из железобетона. Характеристики фибробетона аналогичны 2 варианту. Все варианты последовательно представлены на рисунке 2.

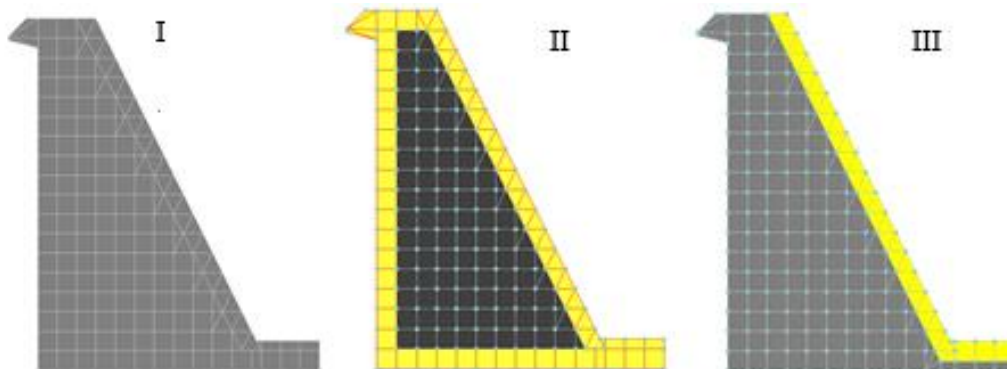


Рисунок 2. Варианты расчета секции плотины (разработано авторами)

Каждая секция рассчитана на одинаковое сочетание нагрузок: собственный вес, противодействие, воздействие воды и давление льда. Результаты расчета и напряжения в теле плотины представлены на рисунках 4, 5.

Результаты исследования

Результаты исследований базальтофибробетона представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследования базальтофибробетона

№ п/п	% армирования	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Класс бетона по прочности на сжатие
1	5%	12,17	6,18	B10
2	3%	15,78	6,8	B15
3	1%	23,76	6,7	B22,5
4	0,5%	20,26	6,75	B15

Составлено автором

По результатам исследований видно, что прочность при сжатии увеличивается в 1,95 раз. О полученных результатах можно судить по рисунку 3. На рисунке показана зависимость прочности бетона на сжатие и изгиб от содержания фибры в % по массе.



Рисунок 3. Зависимость прочности бетона на сжатие и изгиб от содержания базальтовой фибры (разработано авторами)

По графикам видно, что оптимальный процент армирования для увеличения прочности на сжатие и изгиб - 1%. В дальнейшем планируется проведение эксперимента с использованием стальной фибры и проведение сравнительного анализа. По результатам определения оптимального процента армирования был разработан гидротехнический фибробетон класса B40 для применения его в качестве облицовочного слоя плотины ГЭС.

По результатам расчета в программном комплексе напряженно-деформированного состояния массива плотины можно сделать вывод о целесообразности использования фибробетона в качестве облицовочного слоя. Нормальные и касательные напряжения при сравнении трех вариантов плотин представлены на рисунках 4, 5.

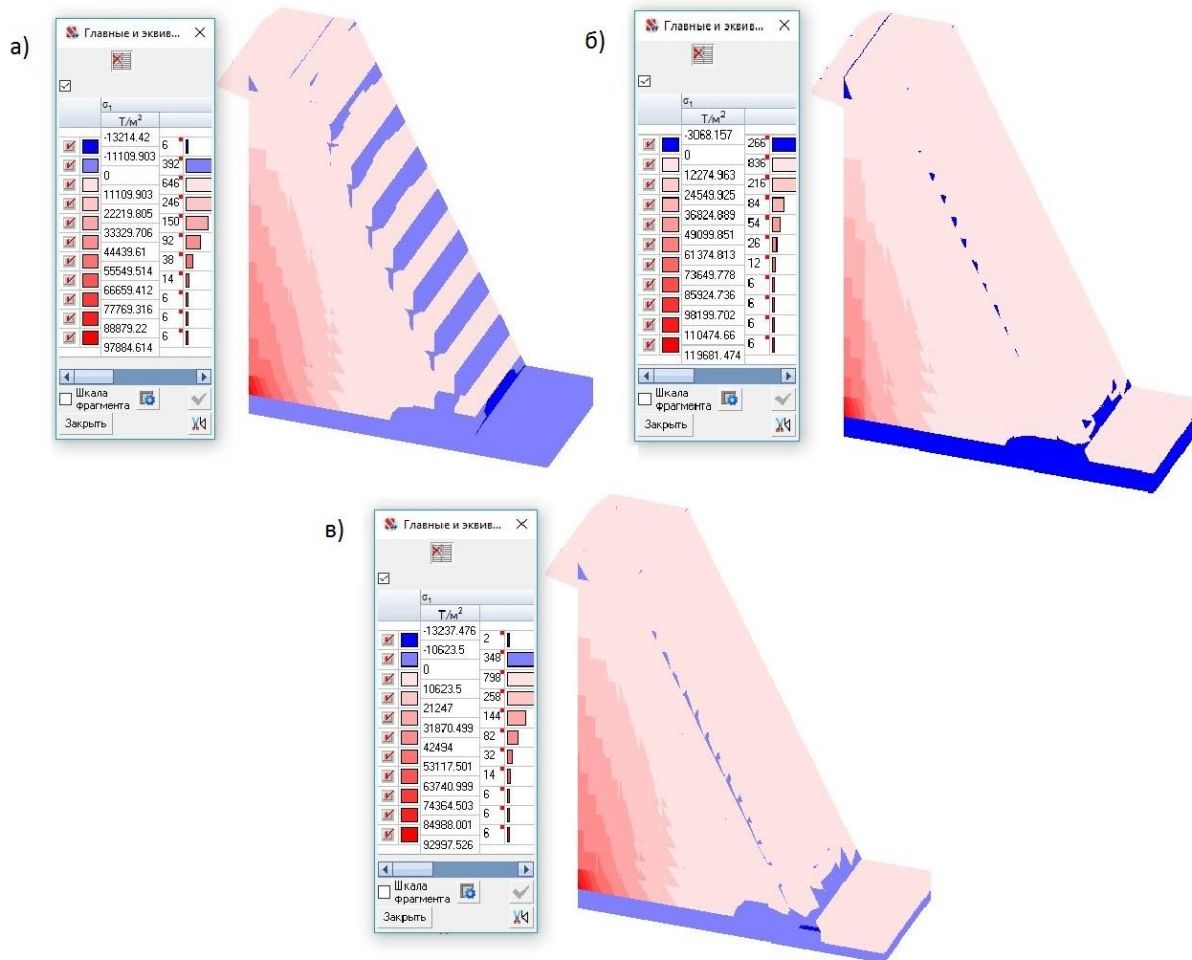


Рисунок 4. Нормальные напряжения в теле плотины: а - железобетонная плотина, б - железобетонная плотина с облицовкой из фибробетона по периметру сечения, в - железобетонная плотина с облицовкой из фибробетона с рабочей стороны (разработано авторами)

За счет более высокого модуля упругости фибробетона, а также большей прочности на сжатие и растяжение, в теле плотины возникают меньшие нормальные напряжения.

С применением фибробетона в качестве облицовочного слоя, напряжения в основании плотины уменьшились на 72% при облицовке по периметру сечения, и на 5% при облицовке только с рабочей стороны. Нормальные напряжения в уровне нижнего бьефа уменьшаются по сравнению с обычным железобетоном на 77% во втором случае и на 20% в третьем. С напорной стороны нормальные напряжения снижены на 18% и 29% для второго и третьего случая соответственно, относительно обычного железобетона.

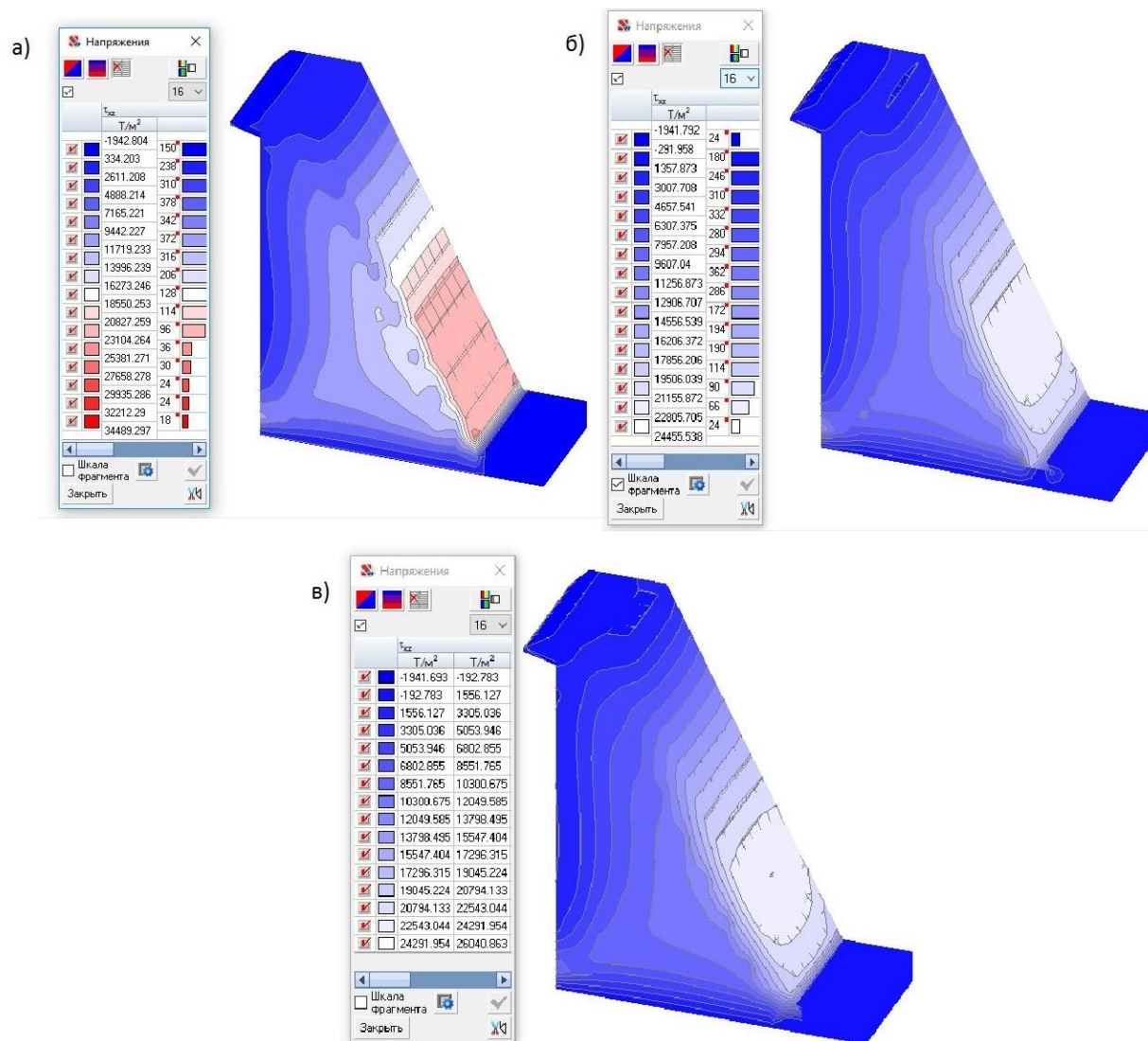


Рисунок 5. Касательные напряжения в теле плотины: а - железобетонная плотина, б- железобетонная плотина с облицовкой из фибробетона по периметру сечения, в - железобетонная плотина с облицовкой из фибробетона с рабочей стороны (разработано авторами)

Тоже самое можно наблюдать на примере касательных напряжений. С рабочей стороны наблюдается снижение касательных напряжений на 29% в случае облицовки по периметру сечения плотины, и на 25% при облицовке только с рабочей стороны, по сравнению с обычным железобетоном.

Выводы

Проанализировав результаты расчета программного комплекса, можно сделать вывод о том, что наилучшие показатели получились при облицовке фибробетонным слоем толщиной 10м по всему периметру сечения секции плотины.

На напряженное состояние плотины, помимо этого, существенно влияет усадка бетона. Усадочные напряжения возникают вследствие неравномерного остывания бетона, разогретого экзотермическим процессом его схватывания и твердения. Эту проблему позволяет решить фибробетон, который будет являться компенсатором напряжений, что уже достаточно подробно изучено различными авторами.

В теле плотины возникают различные напряженные состояния, которые могут зависеть, например, от наполненности водохранилища, или от особого сочетания нагрузок, включая сейсмическое воздействие. При сейсмическом воздействии, что очень актуально в нашем регионе, возникают сжимающие напряжения у низовой части и растягивающие - у верховой. При увеличении растягивающих напряжений образуются потенциальные трещины, что в дальнейшем может привести к разрушению. Благодаря снижению нормальных и касательных напряжений в основании плотины, с рабочей и подпорной стороны, в уровне нижнего и верхнего бьефа, фибробетон способен обеспечить нормальную эксплуатацию и долговечность плотины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shugurova A.V. Possibility of application fiber concrete for construction in the republic of Khakassia / A.V. Shugurova, N.A. Éclair // Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективны-2016», Строительные конструкции и управляемые системы - Красноярск, 2016 г. - с. 4-6.
2. Войлоков И.А. Применение дисперсного армирования при строительстве гидротехнических сооружений // Инженерно-строительный журнал №1. - Санкт-Петербург. - 2009. - с. 28-32.
3. Волосухин В.А. Применение фибробетона для увеличения срока службы причальных сооружений / В.А. Волосухин, А.И. Тищенко, В.В. Чертов // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. №2 - 1 (21) - с. 84-85.
4. Гербер Д.В. Исследование влияния наномодифицированных волокон на свойства композиционных материалов с цементной матрицей / Д.В. Гербер // Успехи в химии и химической технологии. Том XXV №6 (122) - Москва. - 2011. - с. 22-25.
5. Ибе Е.Е. Гидротехнический бетон на композиционном портландцементе с минеральными добавками, содержащими высокоглиноземистые шлаки: дис. ... канд. техн. наук. Томск. - 2016. - 161 с.
6. Леденев В.В. Влияние фибр на прочностные характеристики фибробетона / В.В. Леденев, В.М. Струлев, М.С. Спицына, О.В. Лошакова // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. вып. 16. - Тамбов. - 2004. - с. 31-34.
7. Пухаренко Ю.В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2005 - 48 с.
8. Румянцев И.С. Улучшение свойств гидротехнического бетона путем добавления в его состав фибр в виде колец / И.С. Румянцев, Р.Д. Хоромец // «Природообустройство и рациональное природопользование - необходимые условия социально-экономического развития России». Сборник научных трудов МГУП. Часть 1, 2005 г.
9. Смирнов Д.А. Упругость и ползучесть сталефибробетона: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург. - 2011. - 106 с.
10. Эклер Н.А. К вопросу о применении фибробетона в гидротехническом строительстве / Н.А. Эклер, А.В. Шугурова // «Наука в современном информационном обществе» - North Charleston, SC, USA, 2015 - с. 135-139.
11. Эклер Н.А. Перспективы применения фибробетона для строительства жилых зданий в условиях Республики Хакасия / Н.А. Эклер, А.В. Шугурова // «Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики» - Томск, 2016. - с. 553-556.

Ibe Ekaterina Evgenievna

Siberian federal university, Russia, Abakan
E-mail: k_andruyshina@mail.ru

Shugurova Anna Vladimirovna

Siberian federal university, Russia, Abakan
E-mail: ann.shu@mail.ru

Possibility of application fiber concrete in the construction of hydraulic structures

Abstract. In this article fiber concrete is proposed the use for hydraulic structures. By hydraulic concrete increased requirements such as durability, high frost resistance, water resistance, ability to withstand exposure to water, which meets the fibrous concrete. Experimental studies have confirmed the possibility of using fiber concrete with basalt fiber of reinforcement with a percentage of 1%.

This article presents the results of the calculation model of the dam of the Sayano-Shushenskaya Hydropower station. An array of the dam was modeled 8-node isoparametric finite elements and 6-node isoparametric finite elements in the software package. For a comparative analysis was counted 3 different sections of the dam: from reinforced-concrete, with facing layer of fiber-reinforced concrete thickness of 10 m around the perimeter of the cross-sectional section of the dam, and with the facing layer of fiber-reinforced concrete thickness of only 10 m from the operating side.

The results of the stress-strain state have shown that due to a high modulus fiber concrete, as well as a greater compressive strength and tensile, in a facing layer of the dam there are less normal and shear stresses. Also, concrete shrinkage significantly affects the stress state of the dam. Shrinkage stresses occur due to uneven concrete cooling, heated exothermic its setting and hardening. This problem can solve fiber concrete. The use of fiber concrete as a covering layer for dam reduces the formation of potential cracking that can occur with an increase in stress in the body of the dam, due to the special combination of loads, ensuring normal operation and durability.

Keywords: fiber concrete; basalt fiber; hydroelectric dam; concrete shrinkage; normal stresses; shear stresses; the stress-strain state