



УДК 622.245

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА КОНЦЕНТРАЦИИ ФИБРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПРИ ДИСПЕРСНОМ АРМИРОВАНИИ



THE EFFECT OF THE CONCENTRATION OF FIBER ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT STONE WITH DISPERSED REINFORCEMENT

Рожков Сергей Юрьевич

магистрант,
Тюменский индустриальный университет
darenok@bk.ru

Овчинников Василий Павлович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры
бурения нефтяных и газовых скважин,
руководитель образовательной программы
«Технологические решения строительства
скважин на месторождениях со сложными
геолого-технологическими условиями их разработки»,
Тюменский индустриальный университет
ovchinnikovvp@tyuiu.ru

Рожкова Оксана Владимировна

администратор образовательной программы
«Технологические решения строительства
скважин на месторождениях со сложными
геолого-технологическими условиями их разработки»,
Тюменский индустриальный университет
rozhkovaov@tyuiu.ru

Аннотация. Данная статья посвящена анализу параметров физико-механических свойств тампонажного камня, на основе раствора с добавлением базальтовой фибры.

Ключевые слова: портландцемент, фибра, прочность на сжатие, изгиб и растяжение, армирование, объем волокон.

Rozhkov Sergey Yuryevich

Undergraduate,
Tyumen Industrial University
darenok@bk.ru

Ovchinnikov Vasily Pavlovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor, department of oil and gas well drilling,
head of the educational program «Technological
solutions for well construction in fields with
complex geological and technological
conditions for their development»,
Tyumen Industrial University
ovchinnikovvp@tyuiu.ru

Rozhkova Oksana Vladimirovna

Administrator of the educational program
«Technological solutions for well construction
in fields with complex geological
and technological conditions
for their development»,
Tyumen Industrial University
rozhkovaov@tyuiu.ru

Annotation. This article is devoted to the analysis of the physico-mechanical properties of cement stone, based on mortar with the addition of basalt fiber.

Keywords: portland cement, fiber, compressive strength, bending and tension, reinforcement, fiber volume.

Портландцементы, обладая несомненными преимуществами перед другими тампонажными материалами, имеют и существенные недостатки, которые зачастую значительно снижают качество крепи. Прежде всего, это относится к изоляционным свойствам цементного камня, на которые значительное влияние оказывают его деформационные характеристики [1].

Одним из перспективных направлений повышения сопротивляемости тампонажного камня при динамических нагрузках является его дисперсное армирование. В качестве армирующих фибр используются резаные волокна из различных материалов с различной геометрией. Упрочнение волокнами основывается на предположении, что цементная матрица передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих по поверхности, раздела. При модуле упругости волокна большего, чем цементной матрицы, считается, что основную часть приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиционного материала пропорциональна их объемному содержанию [2]. Цементная матрица обеспечивает сопротивление сжимающим напряжениям, а армирующий волокнистый компонент (фибра) – растягивающим и изгибающим напряжениям.

Фибра от Латинского «fibra» – волокно, материал, изготавливаемый пропиткой нескольких слоёв. Изначально это относилось к изготовлению картона. В настоящее время под фиброй понимают компонент в виде нитей различной длины, используемый для армирования бетона. Наиболее распространена в нефтегазовой промышленности базальтовая фибра.

Базальтовая фибра – короткие отрезки базальтового волокна, предназначенные для дисперсного армирования вяжущих. Диаметр волокна – от 20 до 500 мкм. Длина волокна – от 1 до 150 мм. Базальтовая фибра производится из расплава горных пород типа базальта при температуре выше



1400 °С. Базальтовое волокно, созданное из природного камня, имеет очень хорошие показатели по химической стойкости. Волокна диаметром 16–18 мкм имеют 100 % стойкость к воде, 96 % к щёлочи, 94 % к кислоте. Модуль упругости волокна находится в пределах от 7 до 60 ГПа, прочность на растяжение от 600 до 3500 Мпа. В настоящее время в России базальтовая фибра производится длиной 3, 6 и 12 мм, что и ограничивало проведенные исследования.

Тампонажный камень имеет тенденцию к деформационным изменениям, что влияет на прочность тампонажного камня. Добавление фибры в состав тампонажного раствора влияет на некоторые показатели полученного раствора и сформированного на его основе камня. В частности, величина расширения выше за счет того, что кристаллизационное давление расширяющей добавки передается на каркас, образованный фиброй [3].

Результат влияния добавления армирующих добавок с различной концентрацией на коэффициент линейного расширения цементного камня в бездобавочном цементе представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние армирования цемента на коэффициент линейного расширения камня (КЛР)

Армирующая добавка	КЛР, % при концентрации волокон				
	0	0,25	0,5	0,75	1
Базальтовая фибра 3 мм	0,12	0,102	0,138	0,084	0,065
Базальтовая фибра 6 мм	0,12	0,113	0,121	0,085	0,092

В графике, представленном на рисунке 1, просматривается рост значений коэффициента линейного расширения цементного камня из бездобавочного цемента при увеличении концентрации волокон различного типа до 0,5 %. Концентрация волокна более 0,5 % не только не приводит к желаемому результату, но даже уменьшает значения расширения цемента. Возможно, концентрация 0,5 % является достаточной для получения эффективной структуры в цементе, когда как большое содержание волокон приводит к перенасыщению фибры в растворе и образованию комков [4].

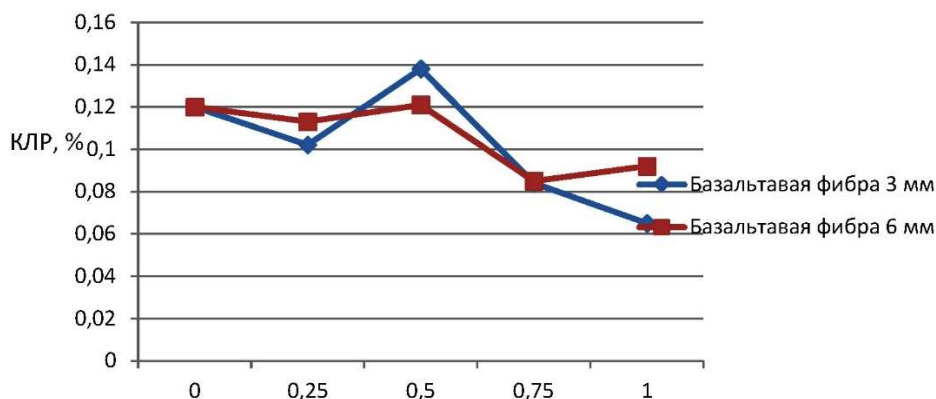


Рисунок 1 – Изменение коэффициента линейного расширения камня в зависимости от длины и содержания волокон

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для дальнейших исследований концентрация армирующей добавки 0,5 % будет наиболее оптимальным значением. Базальтовая фибра 3 мм показала уменьшение показателей расширения.

Далее проведены испытания по определению пределов прочности на изгиб и сжатие, ударной вязкости и деформативности. Для сравнения изготавливались образцы с объемно-произвольной ориентацией волокон.

Для испытаний по определению ударной вязкости изготавливали образцы кубической формы размерами 70x70x70 мм. Все изготовленные образцы твердели в нормальных условиях при $t = 20 \pm 2$ °С и влажности 95–98 % над водой. В качестве входных параметров было принято:

- метод перемешивания;
- объемное содержание фибры;
- водоцементное отношение.

Для образцов цементного камня, полученных из цемента с добавлением 0,5 % базальтовой фибры с длиной волокон 3 мм, 6 мм и 12 мм выявлены средние сравнительные характеристики пределов прочности и оформлены в таблице 2.



Таблица 2 – Влияние длины волокон фибры на предел прочности цементного камня

длина волокна, мм	Предел прочности, Мпа		
	на сжатие	на изгиб	на растяжение
3	37,43	5,17	1,27
6	38,4	7,01	1,57
12	37,44	6,93	1,62

На рисунке 2 представлена диаграмма зависимости влияния длины волокон на показатели прочности цементного камня.

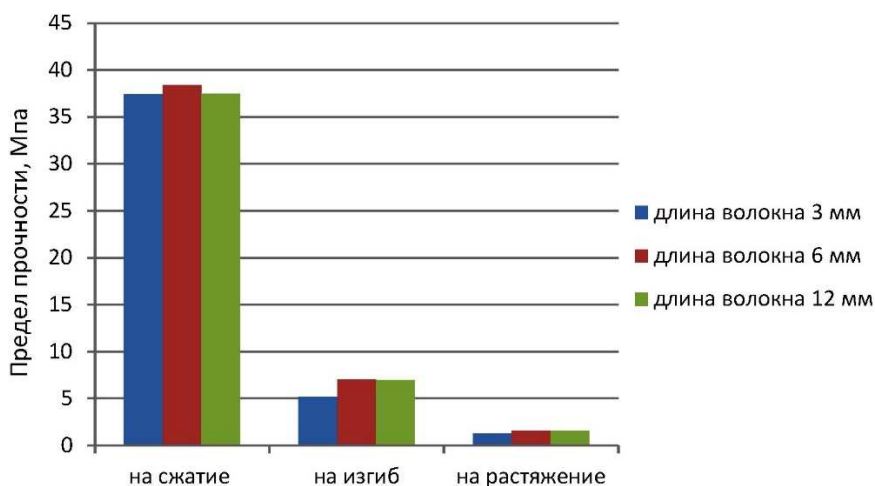


Рисунок 2 – Диаграмма значений показателей прочности цементного камня при разных длинах волокон

Из диаграммы видно, что увеличение длины волокон фибры повышает прочность камня на растяжение и изгиб. Разница же значений прочностных показателей при сравнении длин волокна 12 мм и 6 мм не значительны: на сжатие 2 %, на изгиб на 1 %. Следовательно, применение базальтовых волокон длиной 12 мм при цементировании скважин не целесообразно.

При определении пределов прочности на изгиб и сжатие дисперсно-армированных тампонажного камня испытывались образцы в возрасте 2, 7 и 14 суток; при определении ударной вязкости – в возрасте 14 суток.

В таблице 3 показаны результаты измерения прочности камня на сжатие в возрасте от 2 до 14 суток при различных концентрациях фибры с длиной волокон 6 мм; влияние фибры на прочность цементного камня на изгиб; результаты замеров предела прочности на растяжение.

Таблица 3 – Влияние фибры на прочностные характеристики цементного камня на сжатие, изгиб и растяжение

Показатели	Возраст, сут.	Содержание фибры, %				
		0	0,1	0,5	1	2
Предел прочности на сжатие, мпа в возрасте, сут	2	24,50	24,60	25,70	26,70	27,40
	7	33,80	32,90	36,90	37,70	37,70
	14	37,50	38,40	39,60	38,90	40,80
Предел прочности на изгиб, мпа в возрасте, сут	2	4,04	4,32	5,31	4,94	5,65
	7	5,67	5,83	6,17	6,31	6,41
	14	6,68	7,00	7,43	7,71	7,89
Предел прочности на растяжение, мпа в возрасте, сут	2	0,65	0,82	1,06	1,20	1,29
	7	0,91	0,93	1,24	1,35	1,48
	14	1,27	1,35	1,42	1,44	1,52

На рисунке 3 приведен график зависимости предела прочности тампонажного камня на сжатие от содержания по объему волокон.

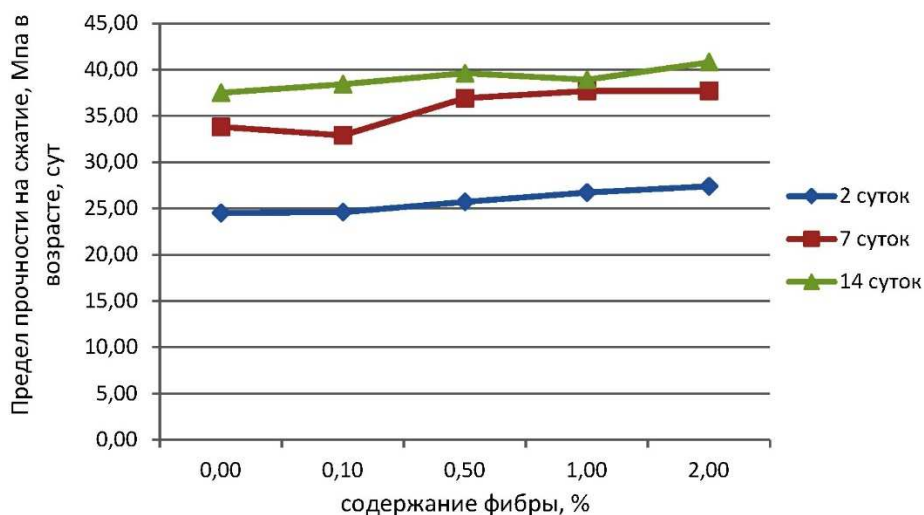


Рисунок 3 – График зависимости предела прочности тампонажного камня на сжатие от содержания фибры по объему волокон

Из приведённого графика видно, что максимальный результат при определении предела прочности на сжатие получен при введении армирующего волокна в процентном соотношении 2 %. Образцы с объёмным содержанием фибры в соотношении 0,1 % имеют наименьший предел прочности на сжатие. Введение фибры увеличивает предел прочности на сжатие; в возрасте 2 суток на 10,5 %, 7 суток на 12,5 % и 14 суток на 8 %.

На рисунке 4 приведен график зависимости предела прочности тампонажного камня при изгибе от содержания по объему волокон.

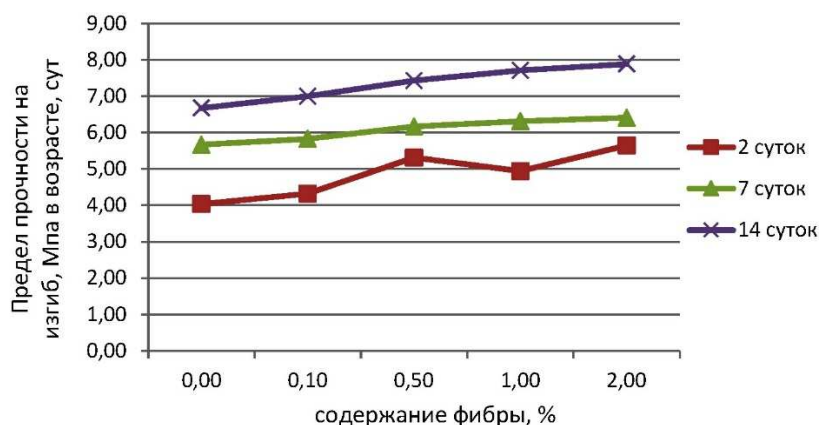


Рисунок 4 – График зависимости предела прочности тампонажного камня на изгиб от содержания фибры по объему волокон

Из полученного графика видно, что с увеличением объема фибры в растворе предел прочности на изгиб увеличивается: в возрасте 2 суток на 30 %, 7 суток на 12 % и 14 суток на 15 %.

На рисунке 5 приведен график зависимости предела прочности тампонажного камня на растяжение от содержания по объему волокон.

Из представленного графика видно, что с увеличением объема фибры в растворе предел прочности на растяжение увеличивается: в возрасте 2 суток на 50 %, 7 суток на 39 % и 14 суток на 17 %.

Таким образом, результаты экспериментов убедительно показывают, что введение фибры положительно влияет на прочностные показатели тампонажного камня. Влияние фибры на прочностные свойства цементного камня достаточно значимое [5, 6, 7, 8]. Например, при концентрации фибры 0,5 и 2,0 % прирост прочности на растяжение составил 60 и 135 % соответственно. Прирост прочности на изгиб, при тех же концентрациях фибры составил 30 и 40 %, а прирост прочности на сжатие составил 5 и 12 % соответственно. Увеличение прочностных показателей на сжатие, изгиб и растяжение в возрасте 2 суток имеют более ярко выраженный характер: от 10,5 % на сжатие, 30 % на изгиб и 50 % на растяжении. При меньших сроках твердения влияние фибры наиболее заметно для прочности камня на растяжение, в меньшей степени для прочности на изгиб и сжатие. При исследовании образцов в



возрасте 14 суток пределы прочности достигают наибольших величин, свойства камня стабилизируются: 8 % на сжатие, 15 % на изгиб и 17 % на растяжение. Влияние фибры на прочности на изгиб и растяжение примерно одинаковы и в два раза превышают влияние предела прочности на сжатие.

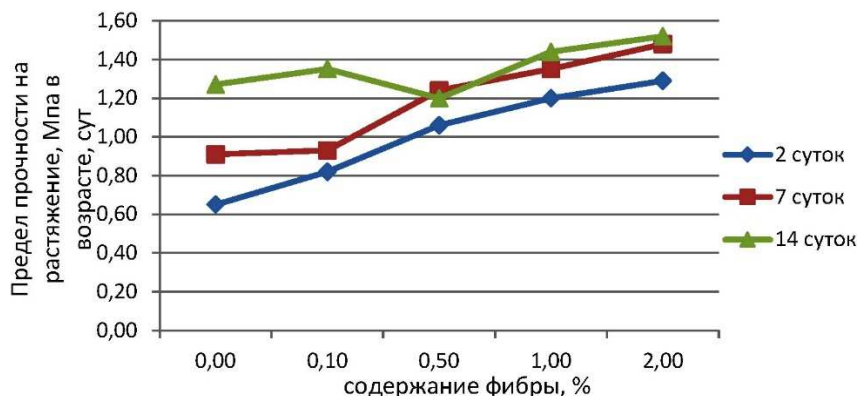


Рисунок 5 – График зависимости предела прочности тампонажного камня на растяжение от содержания фибры по объему волокон

Из всего выше перечисленного следует вывод, что для достижения наилучших прочностных показателей при дисперсном армировании тампонажного камня необходимо применять базальтовую фибру с длиной волокна 6 мм и в концентрации 0,5 %.

Литература

1. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Бурение нефтяных и газовых скважин : учеб. пособие для вузов. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 632 с.
2. Моделирование динамических воздействий на крепь скважины на основе метода конечных элементов / Ф.А. Агзамов [и др.] // Нефтегазовое дело : научн. техн. журн. – УГНТУ, 2011. – Т. 9. – № 4. – С. 1824.
3. Самсыкин А.В., Агзамов Ф.А., Шерекин А.С. Применение армирующих добавок при повышении герметизирующей способности цементного камня в крепи скважин // Бурение и нефть. – 2007. – № 2. – С. 36–38.
4. Агзамов Ф.А., Тихонов М.А., Каримов И.Н. Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // Территория нефтегаз. – 2013. – № 4. – С. 76–80.
5. Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности / Г.Г. Ишбаев [и др.] // Бурение и Нефть. – 2015. – № 9. – С. 38.
6. Агзамов Ф.А., Бекбаев А.А. Исследование влияния армирующих добавок на расширение в облегченных цементах // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14. – № 1. – С. 11–19.
7. Исследование армированных облегченных тампонажных материалов / А.А. Бекбаев [и др.] // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 131–148.
8. Специальные тампонажные материалы для низкотемпературных скважин / П.В. Овчинников [и др.]. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 115 с.

References

1. Basarygin Yu.M., Bulatov A.I., Proselkov Yu.M. Drilling of oil and gas wells: a training manual for universities. – M. : «Nedra-Business Center» LLC, 2002. – 632 p.
2. Modeling of dynamic effects on well support on the basis of finite element method / F.A. Agzamov [et al.] // Petroleum and gas business: scientific and technical journal. – UGNTU, 2011. – Vol. 9. – № 4. – P. 1824.
3. Samsykin A.V., Agzamov F.A., Sherekin A.S. Application of reinforcing additives at increase of hermetic sealing ability of a cement stone in fastening of wells // Drilling and oil. – 2007. – № 2. – P. 36–38.
4. Agzamov F.A., Tikhonov M.A., Karimov I.N. Fibro-reinforcement influence on the plugging materials properties // Territory of oil and gas. – 2013. – № 4. – P. 76–80.
5. Development of the plugging materials of the increased impact strength / G.G. Ishbaev [et al.] // Drilling and oil. – 2015. – № 9. – С. 38.
6. Agzamov F.A., Bekbaev A.A. Research of the reinforcing additives influence on the expansion in the light cements // Oil and gas business. – 2016. – V. 14. – № 1. – P. 11–19.
7. Investigation of the reinforced light plugging materials / A.A. Bekbaev [et al.] // Nanotechnology in construction : scientific Internet journal. – 2017. – V. 9. – № 4. – P. 131–148.
8. Special plugging materials for the low-temperature wells / P.V. Ovchinnikov [et al.]. – M. : LLC «Nedra-Business Center», 2002. – 115 p.