

UDC 622.24

Author: BEKBAEV Arstan Abaevich; Ufa State Petroleum Technological University, post-graduate student of the department «Oil and Gas Well Drilling»; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, arstan.bekbaev@gmail.com;

Author: AGZAMOV Farit Akramovich; Ufa State Petroleum Technological University, Professor of the department «Oil and Gas Well Drilling», Doctor of technical sciences, Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, faritag@yandex.ru;

Author: KHAFIZOV Ayrat Rimovich; Ufa State Petroleum Technological University, Head of the department «Oil and Gas Well Drilling», Doctor of technical sciences, Associate professor, Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, hafizov57@mail.ru;

Author: LYAGOV Alexander Vasilievich; Ufa State Petroleum Technological University, Professor of the department «Oil and gas Field Machinery and Eguipment», Doctor of technical sciences, Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, LyagovAV@bashneft.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH ON REINFORCED LIGHTWEIGHT PLUGGING COMPOSITES

EXTENDED ABSTRACT:

Practical aspects of the well construction show that the use of conventional cementing materials do not always provide the necessary level of quality of well casing when the requirements to resources conservation are enhanced. This is true for such complex geological conditions as the alternation of beds with different formation pressures, low fracturing pressure gradients, drilling with ERD etc. The main problems in well casing under these conditions are the losses of cement slurries, low cement top, low-quality formation isolation, and as the result of this – the emergence of cross-flows.

The high quality of well casing will be provided only by means of safe contact between cement stone and limiting surfaces (casing and rock), therefore to use expansion materials for cementing is a well-recognized method [1, 2]. Thus, it is obvious that their application does not give positive results for intervals with a thick filter cake or intervals with cavities, i.e. where space for expansion is greater than the magnitude of the expansion.

At the same time it is very challenging to create high-quality cement in formations with abnormally low formation pressure or low fracture gradient. The



solution of this problem is the use of lightweight cements, which scarcely expand while hardening.

This is due to the fact that lightweight cement slurries are generally obtained by increasing the content of grouting fluid in the solution, resulting in increase of the distance between the crystal hydrates – hardening products, that leads to decrease of crystallization pressure of expansion agents on the space frame of the cement stone [3, 4].

Moreover, such works as secondary reservoir developing (perforation), well completion and fracturing operations create high dynamic load on the cement stone, which leads to its destruction. The stone can be completely destroyed, that often causes premature flooding of wells and incurring additional costs. In this regard, it is necessary to improve the formulation of oil-well cement in order to enhance the properties of the stone in relation to high dynamic loads.

Thus, the crucial task is to create lightweight expanded cements with improved processing properties.

Key words: Cement slurry, basalt fiber, expansion, linear expansion coefficient, well construction.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148)

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Experimental research on reinforced lightweight plugging composites.</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 131–148. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148. (In Russian)." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Bekbaev A.A., Agzamov F.A., Khafizov A.R., Lyagov A.V. </a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2017/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="arstan.bekbaev@gmail.com" rel="cc:morePermissions">arstan.bekbaev@gmail.com</a>.
```

References:

1. *Danyushevsky V.S., Aliev R.M., Tolstykh I.F.* Spravochnoe rukovodstvo po tamponazhnym materialam [Reference guide for oil wells]. 2nd ed. Moscow, Nedra, 1987. (In Russian).



2. *Karimov N.Kh., Danyushevsky V.S., Rakhimbaev Sh.M.* Razrabotka receptur i primenenie rasshirjajushhihsja tamponazhnyh cementov: obzornaja informacija [Development of receipts and application of expanding oil-well cement: overview information]. Moscow, VNIIOENG, 1980. (In Russian).
3. *Agzamov F.A., Izmukhambetov B.S., Tokunova E.F.* Himija tamponazhnyh i burovnyh rastvorov [Chemistry of oil wells and drilling fluids]. Saint-Petersburg, Nedra, 2011. 268 p. (In Russian).
4. *Karimov N.Kh., Akchurin Kh.I., Gazizov Kh.V., Izmukhambetov B.B., Karimov I.N.* Method for obtaining expanding oilwell material. Patent of the Russian Federation No. 2105132, 1998. (In Russian).
5. *Agzamov F.A., Samsykin A.V., Sherekin A.S.* Primenenie armirujushhih dobavok pri povyshenii germetizirujushhej sposobnosti cementnogo kamnja v krepki skvazhin [Application of reinforcing additives with increasing the sealing capacity of cement stone in the crepe wells]. *Burenie i neft'* [Drilling and oil]. 2007. № 2. P. 36–38. (In Russian).
6. *Royak S.M., Royak G.S.* Special'nye cementy [Special cements]. Moscow, Stroiizdat, 1983. (In Russian).
7. *Kravchenko I.V.* Rasshirjajushhiesja cementy [Expanding cements]. Moscow: Gosstroyizdat, 1962. (In Russian).
8. *Abutalipova E.M.* Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials / Bugai D.E., Avrenyuk A.N., Strel'tsov O.B., Sungatullin I.R. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016.
9. *Abutalipova E.M.* Integrated information systems in the management of the chemical and petrochemical industries / Popova E.V., Avrenyuk A.N., Khakimov T.A., Smol'nikov S.V. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016.
10. *Agzamov F.A., Babkov V.V., Karimov I.N.* O neobhodimoi velichine rasshirenii tamponazhnyh materialov [On the necessary size expansion of oil-well materials]. *Territorija Neftegaz* [Territory of Neftegaz]. 2011. No. 8. P. 14–15. (In Russian).
11. *Agzamov F.A., Tikhonov M.A., Karimov I.N.* Vlijanie fibroarmirovanija na svoystva tamponazhnyh materialov [Influence of fibroarmorization on properties of oil-filled materials]. *Territorija Neftegaz* [Territory of oil and gas]. 2013. No. 4. P. 76–80. (In Russian).
12. *Levshin V.A., Novokhatsky D.F., Parinov P.F., Sidorenko Yu.I.* Dispersnoarmirovannye tamponazhnye materialy [Disperse-reinforced plugging materials]. *Neftjanoe hozjajstvo* [Oil industry]. 1982. No. 3. P. 25–27. (In Russian).
13. *Babkov V.V., Mokhov V.N., Davletshin M.B., Parfenov A.V.* Tehnologicheskie vozmozhnosti povyshenija udarnoj vynoslivosti cementnyh betonov [Technological possibilities of increasing the shock endurance of cement concretes]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2000. No. 10. P. 19–20. (In Russian).



14. *Rabinovich F.N.* O nekotorykh osobennostyah raboty kompozitov na osnove disper-sno-armirovannykh betonov [On some features of the work of composites based on dispersed-reinforced concrete]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1998. № 6. P. 19–23. (In Russian).
15. *Bokshchina S.Z.* Voloknistye kompozicionnye materialy [Fibrous composite materials]. Moscow, Mir, 1967. (In Russian).
16. *Krylov V.A., Korolev K.I.* Fibrobeton i ego primenenie v stroitel'stve [Fibre-concrete and its application in construction]. Moscow, NIIZhB, 1979. (In Russian).
17. *Pashchenko A.A.* Armirovanie neorganicheskikh vjazhushhih veshhestv mineral'nymi voloknami. Nauka – stroitel'nomu proizvodstvu [Reinforcement of inorganic binders with mineral fibers. Science in the building production]. Moscow, Stroyizdat. 1988. (In Russian).
18. *Buchkin A.V., Stepanova V. F.* Cementnye kompozicii povyshennoj korrozionnoj stojkosti, armirovannye bazal'tovymi voloknami [Cement compositions of enhanced corrosion resistance, reinforced with basalt fibers]. *Stroitel'nye Materialy* [Building Materials]. 2006. No. 6. P. 82–83. (In Russian).
19. *Tikhonov M.A.* Issledovanie mehanizma razrusheniya cementnogo kamnja i raz-rabotka armirovannykh tamponazhnykh cementov [Investigation of the mechanism of destruction of cement stone and the development of reinforced oil-well cement cements]. *Materials of the III International. Sci. Seminar.* Ufa: FGBOU VPO UGN-TU, «Reactive». P. 42–44. (In Russian).
20. *Ishbaev G.G., Dilmiev M.R., Ishbaev R.R., Latypov T.R.* Razrabotka tamponazhnykh materialov povyshennoj udarnoj prochnosti [Development of plugging materials with enhanced impact strength]. *Burenie i Neft'* [Drilling and Oil]. 2015. № 9. P. 38. (In Russian).
21. *Agzamov F.A., Karmov I.N.* Special'nye tamponazhnye materialy s zadannymi svo-istvami [Special plugging materials with specified properties]. *Burenie i Neft'* [Drilling and oil]. 2008. № 12. P. 26–27. (In Russian).
22. Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing / *Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu.V., Pavlova I.V., Shulaev N.S.* *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences.* 2017. (2). P. 118–128.

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Bekbaev A.A., Agzamov F.A., Khafizov A.R., Lyagov A.V. Experimental research on reinforced lightweight plugging composites. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction.* 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 131–148. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148). (In Russian).



УДК 622.24

Автор: **БЕКБАЕВ Арстан Абаевич**, аспирант каф. «Бурение нефтяных и газовых скважин», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, arstan.bekbaev@gmail.com;

Автор: **АГЗАМОВ Фарит Акрамович**, д-р техн. наук, проф. каф. «Бурение нефтяных и газовых скважин», проф. «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, faritag@yandex.ru;

Автор: **ХАФИЗОВ Айрат Римович**, д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой «Бурение нефтяных и газовых скважин», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, hafizov57@mail.ru;

Автор: **ЛЯГОВ Александр Васильевич**; д-р техн. наук, доцент, профессор ПК «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, LyagovAV@bashneft.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АРМИРОВАННЫХ ОБЛЕГЧЕННЫХ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

Практика строительства нефтяных скважин показывает, что применение традиционных тампонажных материалов не всегда обеспечивает необходимое качество крепления скважин при повышении требований к охране недр. Это относится к таким сложным геологическим условиям, как чередование интервалов с различными пластовыми давлениями, наличие горизонтов с низкими градиентами давлений гидроразрыва пластов, большие отходы от вертикали и т.д. Основными проблемами при креплении скважин в таких условиях являются: поглощение тампонажных растворов, недоподъем цементного раствора до проектной высоты, недостаточно качественное разобщение пластов и возникновение вследствие этого межпластовых перетоков.

Высокое качество крепления скважин будет обеспечиваться только при надежном контакте цементного камня с ограничивающими его поверхностями (обсадная колонна и горная порода), поэтому применение расширяющихся тампонажных материалов при цементировании является общепризнанным [1, 2]. При этом очевидно, что их применение не даст положительных результатов в интервалах с толстой глинистой коркой или интервалах каверн, т.е. там, где пространство для расширения больше, чем величина самого расширения.



В то же время весьма сложна задача качественного цементирования в пластах с аномально низким пластовым давлением или с низким градиентом гидроразрыва, решением которой является применение облегченных цементов, которые при твердении практически не расширяются.

Это связано с тем, что облегченные тампонажные растворы обычно получают увеличением содержания жидкости затворения в растворе, в результате чего увеличивается расстояние между кристаллогидратами – продуктами твердения цемента, приводящее к снижению кристаллизационного давления расширяющих добавок на пространственный каркас цементного камня [3, 4].

Кроме того, такие работы, как вторичное вскрытие пласта (перфорация), освоение скважины и гидроразрыв пласта создают большие динамические нагрузки на цементный камень, которые ведут к его разрушению. При этом цементное кольцо может быть полностью разрушено, что часто приводит к преждевременному обводнению скважин, и компании несут дополнительные расходы. В этой связи, необходимо совершенствовать рецептуры тампонажных цементов с целью улучшения свойств камня по отношению к высоким динамическим нагрузкам.

Таким образом, актуальной является задача получения облегченных расширяющихся тампонажных цементов с улучшенными технологическими свойствами.

Ключевые слова: тампонажный раствор, фиброволокно, базальтовая фибра, расширение, коэффициент линейного расширения, строительство скважин.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148

МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Исследование армированных облегченных тампонажных материалов </span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 4. – С. 131–148. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Бекбаев А.А., Арзамов Ф.А., Хафизов А.П., Лягов А.В. </a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-4-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-4-2017/</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="arstan.bekbaev@gmail.com" rel="cc:morePermissions">arstan.bekbaev@gmail.com</a>.
```



Общий принцип получения расширяющихся цементов состоит в том, что внутри затвердевающего цементного камня начинают появляться и увеличиваться в объеме некоторые новообразования, раздвигающие каркас образующегося камня.

В строительной практике широко используются расширяющиеся и напрягающиеся цементы, причем механизм расширения и химия процесса подробно освещены в литературе [6–9]. При этом все происходящие процессы можно увидеть, поскольку они проходят на поверхности. Расширяющиеся цементы для крепления скважин во многом аналогичны по механизму [1, 2]. Однако есть существенные отличия, связанные с большими водоцементными отношениями, снижающими эффект расширения.

На рис. 1 схематически показано поведение расширяющей добавки при увеличении водоцементного отношения (V/C) в тампонажном растворе. Между продуктами твердения (кристаллогидратами) находится расширяющая добавка, пунктиром отмечено ее увеличение, при котором она раздвигает кристаллогидраты друг от друга, приводя к расширению цементного камня и нарастанию внутренних напряжений.

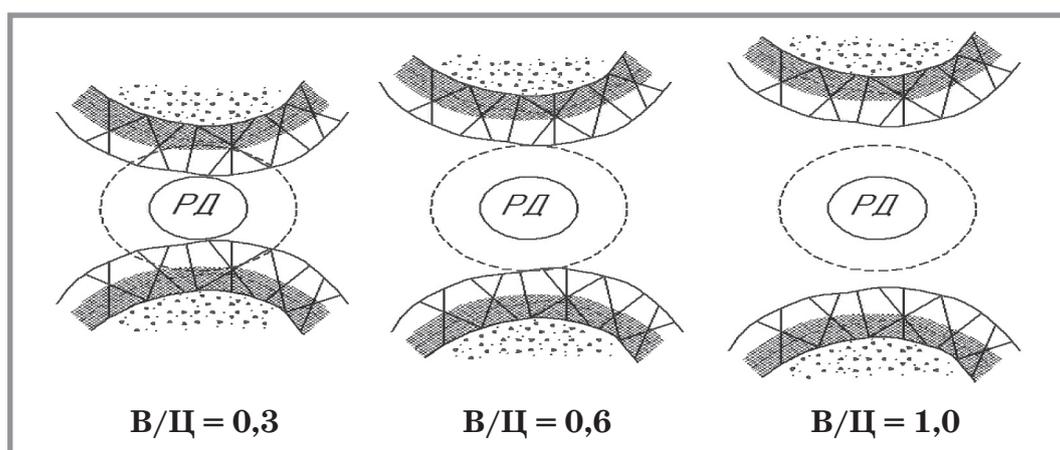


Рис. 1. Схема, поясняющая механизм расширения цемента при увеличении водоцементного отношения



При водоцементном отношении (равном 1,0) расстояние между кристаллогидратами очень сильно увеличивается, приводя к тому, что расширяющая добавка после расширения может не достигнуть их. Таким образом, цементный камень за счет контракции может даже дать усадку, что приведет к образованию канала между обсадной колонной и цементным камнем, цементным камнем и горной породой.

Нами экспериментально была исследована кинетика расширения облегченных цементов в зависимости от водоцементного отношения при 20 и 50°C. Мы считаем, что такой диапазон температур весьма приемлем в работе с облегченными цементами, так как цементы низкой плотности в основном применяются на небольших глубинах, в которых пластовая температура не превышает 50°C. Кроме того, в России – тысячи скважин, где разница между забоем и устьем не превышает 25–30°C.

В качестве облегченного тампонажного цемента использовался гельцемент, получаемый добавкой в цемент глины. Последняя, обладая способностью адсорбировать воду в больших количествах, снижает плотность раствора. Гельцементные растворы и в настоящее время успешно применяются при креплении скважин, поскольку из них формируется цементный камень с удовлетворительной прочностью. Достоинством гельцементных растворов является пониженная водоотдача – в 2–3 раза ниже, чем у обычных цементных растворов.

В качестве расширяющей добавки использована добавка ДР-50, работающая на основе оксидного расширения.

Экспериментальные исследования параметров цементных растворов и полученного камня проводились согласно стандарту АРІ. Коэффициент линейного расширения изучался на приборе, разработанном компанией Шлюмберже. Прибор имеет кольцевую форму и моделирует затрубное пространство скважины [10]. Для определения давления расширения, возникающего при твердении расширяющихся цементов, был разработан специальный прибор. Взаимодействие цементной матрицы с расширяющими, облегчающими добавками и фиброй оценивались электронной микроскопией. Для изучения фазового состава продуктов твердения использован рентгенофазовый метод.

Состав тампонажных растворов и коэффициенты линейного расширения (КЛР) цементного камня приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при уменьшении плотности цементного раствора путем увеличения водоцементного отношения снижается коэф-



Таблица 1

**Влияние водоцементного отношения раствора (В/Ц)
на коэффициент линейного расширения получаемого камня**

Вязущее	РД, %	КЛР, %, при твердении цементов с различным В/Ц, %				
		0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
<i>Температура 20°C</i>						
ПЦ+ глина (7–10%)	10	1,92	1,65	1,54	1,47	1,01
<i>Температура 50°C</i>						
ПЦ+ глина (7–10%)	10	0,92	0,68	0,48	0,37	0,36

коэффициент линейного расширения, что подтверждает все сказанное выше о кинетике расширения облегченных цементов.

Мы полагаем, что для получения облегченных расширяющихся тампонажных материалов необходимо сочетать расширяющую добавку с армирующей добавкой (фиброй). Это позволяет получить эффект расширения в облегченных тампонажных растворах, суть которого состоит в следующем. При твердении цементов протекает два конкурирующих процесса. Первый – усадка, вызываемая контракцией, второй – расширение, связанное с увеличением объема образовавшегося цементного геля по сравнению с объемом цемента [11]. Суммарный результат этих процессов, разнонаправленно влияющих на изменение объема твердеющей системы, и будет определять усадку или расширение при твердении цементов. При использовании расширяющих добавок совместно с фиброй величина расширения получается выше за счет того, что кристаллизационное давление расширяющей добавки передается на каркас, образованный фиброй.

Проверка указанных предположений проводилась экспериментально. Для этого определялся коэффициент линейного расширения (КЛР) у цементов, облегченных пеностеклом в количестве 5,5%, с добавлением различных видов волокон (БФ – базальтовая фибра 3 и 6 мм; Асбест; ВСМ – волокно строительное микроармирующее). Результаты, представленные в табл. 2, показали, что волокна оказывают реальное



Таблица 2

Влияние армирующих добавок в составе цемента на коэффициент линейного расширения (КЛР) при твердении

Номер опыта	В/Ц	ДР-50, %	Вид армирующей добавки (0,5%)	Т, °С	Коэффициент линейного расширения (КЛР)
					24 часа
1	0,8	10	–	22	0,914
				50	0,604
2	0,8	10	–	22	1,16
				50	0,654
3	0,8	10	Базальтовая фибра 3 мм	22	1,605
				50	0,688
4	0,8	10	Базальтовая фибра 6 мм	22	1,548
				50	0,732
5	0,8	10	ВСМ	22	1,913
				50	0,951
6	0,8	10	Асбест	22	1,514
				50	1,157

влияние на расширение цементных растворов при твердении, наилучшие результаты получены при добавлении ВСМ.

Ранее проведенные работы [11–18], показали, что базальтовая фибра имеет высокую адгезию с цементной матрицей. На рис. 2 показаны полученные нами снимки электронной микроскопии, которые показывают плотную область контакта между фиброй и матрицей и отсутствие между ними зазоров и каких-либо трещин.

На рис. 3 показано взаимодействие между базальтовой фиброй, продуктами твердения и расширяющей добавкой. Наличие расширяющей добавки было доказано проведением элементного анализа ядра. Можно уверенно это утверждать, поскольку ядро практически содержит только гидроксид кальция. Из этого рисунка также можно сделать вывод о том, что все компоненты находятся в тесном контакте друг с другом, что в очередной раз подтверждает нашу рабочую гипотезу.



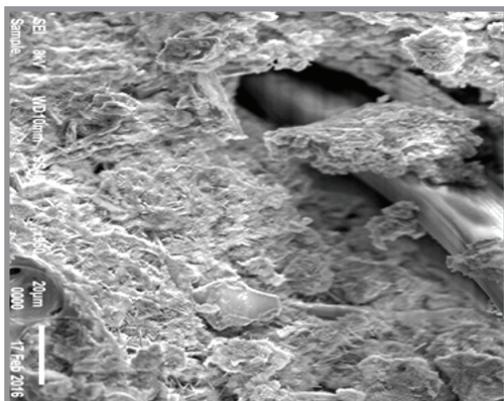


Рис. 2. Область контакта между фиброй и цементной матрицей (x 950)

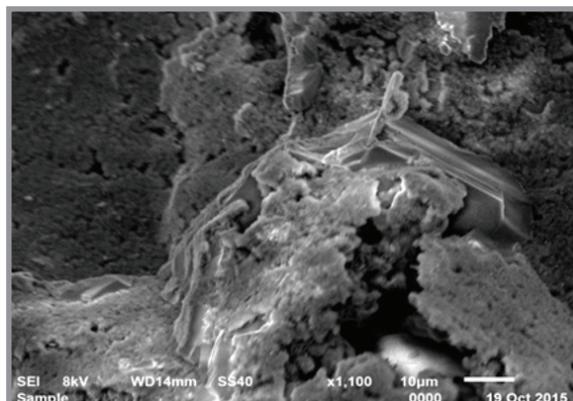


Рис. 3. Влияние базальтовой фибры на расширение (x 1100)

Кроме того, нами было замечено, что после добавления в цемент пеностекла (рис. 4) коэффициент линейного расширения увеличился. Этот факт мы объясняем наличием плотного контакта между пеностеклом и цементной матрицей (рис. 5)

Анализ литературных и экспериментальных данных показывает, что при добавлении волокна в цементный раствор повышается трещиностойкость и сопротивляемость камня разрушению, особенно при динамическом нагружении. В работах [11, 12, 19] экспериментально было доказано, что использование фиброволокна в составе тампонажного раствора повышает стойкость тампонажного камня к ударным нагрузкам, а также увеличивает прочность на изгиб/сжатие. Это также

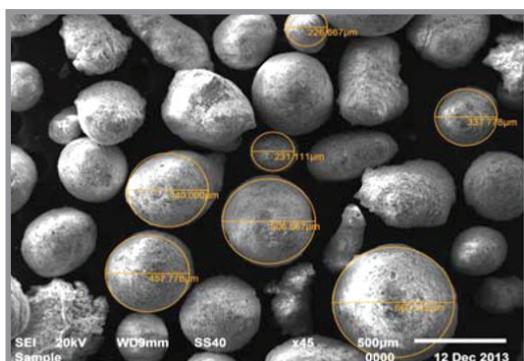


Рис. 4. Пеностекло (x 45)

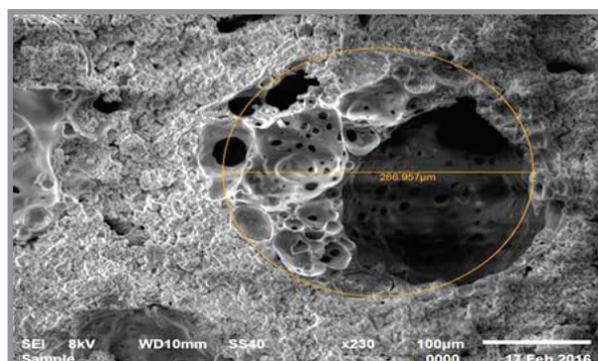


Рис. 5. Пеностекло во взаимодействии с цементной матрицей (x 230)



подтверждают и последующие работы [20]. Применение базальтового волокна позволило повысить ударную прочность на 76,5%, полипропиленового – на 35,3%.

Кроме того, нами были проведены эксперименты по определению удельной ударной вязкости разрушения цементного камня при добавлении различных видов волокон, которые показали весьма интересные результаты. Испытания проводились на вертикальном копре, и их суть заключалась в определении энергии разрушения образцов цементного камня при последовательном свободном сбрасывании груза определенной массы с принятой постоянной высоты до разрушения стандартного образца, обычно куба (табл. 3). Удельная ударная вязкость разрушения (A , Дж/см³) рассчитывалась делением суммарной потенциальной энергии, затраченной на разрушение, на объем испытываемого образца.

Таблица 3

Влияние армирования цемента на удельную ударную вязкость разрушения цементного камня

№ опыта	Рецептура	Плотность, кг/м ³	В/Ц	Удельная ударная вязкость, Дж/см ³ , после твердения, сутки		
				3	7	14
1	ПЦ	1530	0,8	0,035	0,044	0,065
2	ПЦ+0,25% БФ	1540	0,8	0,069	0,069	0,088
3	ПЦ+0,5% БФ	1540	0,8	0,094	0,140	0,108
4	ПЦ+ 0,75% БФ	1540	0,8	0,125	0,161	0,177
5	ПЦ+1% БФ	1540	0,8	0,187	0,187	0,203
6	ПЦ+0,25% ВСМ	1530	0,8	0,051	0,064	0,162
7	ПЦ+0,5% ВСМ	1530	0,8	0,093	0,051	0,107
8	ПЦ+0,75% ВСМ	1530	0,8	0,086	0,079	0,107
9	ПЦ+1% ВСМ	1530	0,8	0,106	0,121	0,130
10	ПЦ+0,25% Асбест	1550	0,8	0,035	0,086	0,086
11	ПЦ+0,5% Асбест	1540	0,8	0,045	0,056	0,101
12	ПЦ+ 0,75% Асбест	1530	0,8	0,051	0,054	0,092
13	ПЦ+1% Асбест	1530	0,8	0,054	0,072	0,069



Из табл. видно, что ввод волокон положительно сказывается на ударостойкости цементного камня: наилучшие результаты получены с добавкой базальтовой фибры, при добавлении в тампонажный раствор 1% БФ удароустойчивость повысилась в 3,1 раза. ВСМ показывает неплохие результаты, из полученных данных можно сделать вывод, что для того, чтобы увеличить значение удельной ударной вязкости в 2 раза, достаточно добавить 0,25–0,5% ВСМ. Как показывают эксперименты, такое количество волокна не оказывает отрицательного влияния на подвижность и прокачиваемость цементных растворов.

При получении армированных облегченных цементов важным является «бережное» приготовление сухой смеси, для того чтобы исключить разрушение облегчающих добавок и разрыва фибры. Поэтому необходимо использовать технологические линии, где предусмотрен ввод ряда компонентов в воздушном потоке, что существенно повышает однородность получаемой смеси [21].

При получении расширяющихся цементов важно согласование кинетики гидратации базового цемента и расширяющей добавки.

Быстрая гидратация расширяющей добавки (до образования структуры цементного камня) не приведет к расширению цементного камня, поскольку энергия расширения уйдет на раздвижку зерен цемента в жидкости затворения или раздвижку несвязанных продуктов твердения, находящихся еще в цементно-водной суспензии.

Поскольку при креплении скважин процесс приготовления, закачки и продавки тампонажного раствора составляет несколько часов, то при определении расширения цементного камня необходимо моделировать вышеуказанные процессы, проводя измерения расширения только через несколько часов перемешивания тампонажного раствора. Оптимальное время действия расширяющей добавки – от 6 до 24 часов [10].

Поздняя гидратация расширяющей добавки может привести к разрушению цементного камня, поскольку в цементном камне возникает прочная кристаллизационная структура, которая может не выдержать внутренних напряжений при увеличении объема расширяющего компонента.

В межколонном пространстве или в интервалах плотных пород расширяющиеся цементы, несомненно, повысят напряженность контакта с сопредельными поверхностями, поскольку свободного пространства для расширения не будет.



В этом случае внутри цементного камня будут возникать дополнительные внутренние напряжения, которые не смогут релаксироваться, залечиваться дополнительно гидратирующим цементом, и будут сохраняться внутри камня, повышая его хрупкость. Причем, чем выше величина расширения, тем больших значений достигают опасные внутренние напряжения.

Поэтому в скважинах, зацементированных цементами с большой величиной расширения, через некоторое время (несколько месяцев) или после проведения работ внутри обсадной колонны следует ожидать значительного ухудшения герметичности крепи по сравнению со скважинами, зацементированными нерасширяющимися цементами.

Возвращаясь к рис. 3, можно сделать вывод, что в данном образце произошла поздняя гидратация расширяющей добавки, повлекшая разрушение кристаллов цемента.

В работе [20] обосновано, что расширение 1,5–2,5% должно быть достаточным для расширяющихся тампонажных цементов, обеспечивая герметичный контакт и создавая небольшие внутренние напряжения, которые не разрушат цементный камень, а образовавшиеся микротрещины могли быть залечены при продолжающейся гидратации цемента.

Для высокотемпературных скважин, в которых образуется более прочный цементный камень, расширение не должно превышать 1,0–1,5%.

Стоит отметить, что выбранный нами диапазон пластовых температур позволяет безболезненно регулировать кинетику гидратации расширяющей добавки.

Выбор компонентов для получения расширяющих добавок также невелик.

В первую очередь, это оксиды кальция и магния, обеспечивающие оксидное расширение за счет образования гидроксида кальция и гидроксида магния, имеющих больший объем по сравнению с первоначально взятыми оксидами. Кинетика гидратации оксидов кальция и магния регулируется температурой обжига известняка и магнезита [1, 10].

Другой тип расширения – сульфоалюминатный – обеспечивается образованием в твердеющем цементном камне избыточного количества гидросульфоалюмината кальция (этtringита), образующегося при взаимодействии продуктов гидратации алюминатных вяжущих и гипса [8].



Третий тип расширения – за счет применения газовыделяющих добавок – в практике строительства скважин неприемлем, поскольку при высоких давлениях образующийся газ может растворяться в поровой жидкости цементного камня.

При проектировании составов тампонажных материалов для высоких температур применение сульфоалюминатного расширения невозможно, поскольку при температурах выше 100°C гидросульфоалюминат кальция практически не образуется. Кроме того в составе таких цементов отсутствует алюминатная фаза, обладающая высокой скоростью твердения уже при нормальных температурах и являющаяся необходимой для образования гидросульфоалюмината кальция.

Оксидное расширение при температурах до 100°C за счет гидратации оксида кальция также не приемлемо, поскольку данное соединение активно реагирует с водой до достижения рабочей температуры.

Поэтому в высокотемпературных скважинах наиболее реальным является оксидное расширение за счет гидратации оксида магния. Более того, желательно, чтобы оксид магния входил в состав компонентов вяжущего, чтобы исключить его дополнительный ввод при приготовлении цемента.

Выводы

Увеличение водоцементного отношения тампонажных растворов всегда снижает эффективность применения любых расширяющих добавок, за счет увеличения расстояния между продуктами твердения цемента.

Добавка любых видов фибры способствует расширению облегченных цементов за счет передачи расклинивающего давления от расширяющей добавки к продуктам твердения цементного камня через каркас, образованный фиброармирующими элементами.

Низкая сопротивляемость тампонажного камня растягивающим напряжениям, плохие деформационные свойства и низкая удароустойчивость являются основными причинами нарушения целостности крепи скважин.

Армирующие добавки в тампонажном растворе положительно влияют на удароустойчивость цементного камня.



Использование расширяющих добавок оксидного типа является предпочтительным в тампонажных растворах по сравнению с добавками сульфоалюминатного типа и газовыделяющими добавками.

Повышение количества армирующих добавок в составе цемента и увеличение длины их волокон ухудшает приготовление тампонажных растворов из-за комкования добавок.

Экспериментально показано, что поздняя гидратация расширяющей добавки приводит к разрушению структурного каркаса образующегося цементного камня.

Библиографический список:

1. Данюшевский В.С., Алиев Р.М., Толстых И.Ф. Справочное руководство по тампонажным материалам. – М.: Недра, 1987. – 2-е изд.
2. Каримов Н.Х., Данюшевский В.С., Рахимбаев Ш.М. Разработка рецептур и применение расширяющихся тампонажных цементов: обзорная информация. – М.: ВНИИОЭНГ, 1980.
3. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С., Токунова Э.Ф. Химия тампонажных и буровых растворов. – С-Пб.: Недра, 2011. – 268 с.
4. Каримов Н.Х., Акчурин Х.И., Газизов Х.В., Измухамбетов Б.С., Каримов И.Н. Способ получения расширяющегося тампонажного материала // Патент РФ № 2105132, 1998.
5. Агзамов Ф.А., Самсыкин А.В., Шерекин А.С. Применение армирующих добавок при повышении герметизирующей способности цементного камня в крепи скважин // Бурение и нефть. – 2007. – № 2. – С. 36–38.
6. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы. – М.: Стройиздат, 1983.
7. Кравченко И.В. Расширяющиеся цементы. – М.: Госстройиздат, 1962.
8. Abutalipova E.M. Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials / Bugai D.E., Avrenyuk A.N., Strel'tsov O.B., Sungatullin I.R. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.
9. Abutalipova E.M. Integrated information systems in the management of the chemical and petrochemical industries / Popova E.V., Avrenyuk A.N., Khakimov T.A., Smol'nikov S.V. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.



10. *Агзамов Ф.А., Бабков В.В., Каримов И.Н.* О необходимой величине расширения тампонажных материалов // Территория Нефтегаз. – 2011. – № 8. – С. 14–15.
11. *Агзамов Ф.А., Тихонов М.А., Каримов И.Н.* Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // Территория нефтегаз. – 2013. – № 4. – С. 76–80.
12. *Левшин В.А., Новохатский Д.Ф., Паринов П.Ф., Сидоренко Ю.И.* Дисперсно-армированные тампонажные материалы // Нефтяное хозяйство. – 1982. – № 3. – С. 25–27.
13. *Бабков В.В., Мохов В.Н., Давлетшин М.Б., Парфенов А.В.* Технологические возможности повышения ударной выносливости цементных бетонов // Строительные материалы. – 2000. – № 10. – С.19–20.
14. *Рабинович Ф.Н.* О некоторых особенностях работы композитов на основе дисперсно-армированных бетонов // Бетон и железобетон. – 1998. – № 6. – С. 19–23.
15. *Бокштейна С.З.* Волокнистые композиционные материалы. – М.: Мир, 1967.
16. *Крылова В.А., Королева К.И.* Фибробетон и его применение в строительстве. – М.: НИИЖБ, 1979.
17. *Пащенко А.А.* Армирование неорганических вяжущих веществ минеральными волокнами. Наука – строительному производству. – М.: Стройиздат, 1988.
18. *Бучкин А.В., Степанова В.Ф.* Цементные композиции повышенной коррозионной стойкости, армированные базальтовыми волокнами // Строительные материалы. – 2006. – № 6. – С. 82–83.
19. *Тихонов М.А.* Исследование механизма разрушения цементного камня и разработка армированных тампонажных цементов // Материалы III междунар. науч. семинара. – Уфа: ФГБОУ ВПО УГНТУ, «Реактив». – С. 42–44.
20. *Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Ишбаев Р.Р., Латыпов Т.Р.* Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности // Бурение и Нефть. – 2015. – № 9. – С. 38.
21. *Агзамов Ф.А., Кармов И.Н.* Специальные тампонажные материалы с заданными свойствами // Бурение и нефть. – 2008. – № 12. – С. 26–27.
22. *Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing/ Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu.V., Pavlova I.V., Shulaev N.S.* Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences. 2017. (2). P. 118–128.



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

Бекбаев А.А., Агзамов Ф.А., Хафизов А.Р., Лягов А.В. Исследование армированных облегченных тампонажных материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 4. – С. 131–148. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Bekbaev A.A., Agzamov F.A., Khafizov A.R., Lyagov A.V. Experimental research on reinforced lightweight plugging composites. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 131–148. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-131-148). (In Russian).

