



Разработка тампонажных материалов повышенной ударной прочности

Г.Г. ИШБАЕВ,
д.т.н., профессор,
генеральный директор

М.Р. ДИЛЬМИЕВ,
начальник службы буровых
растворов

Р.Р. ИШБАЕВ,
к.т.н., заведующий
лабораторией крепления
скважин

Т.Р. ЛАТЫПОВ,
инженер-технолог III категории

ООО НПП «БУРИНТЕХ»
bit@burinteh.com

DEVELOPMENT OF GROUTING MATERIALS WITH HIGH IMPACT STRENGTH

G. ISHBAEV, M. DIL'MIEV, R. ISHBAEV, T. LATYPOV, NPP «BURINTEKH» LLC

Throughout the all period of construction and exploitation of the well, the cement stone is subjected to shock and cyclic loads, which can not affect the quality of well cement. In this regard, the most relevant question to development specialized of plugging systems for wells exposed to significant dynamic loads, which can ensure the integrity of the cement stone.

Keywords: ООО НПП «БУРИНТЕХ», cement stone, the lining of the borehole, dynamic load, fiber, reinforcement, fracture, strain

Как правило, тампонажные портланд-цементы характеризуются низкой деформационной устойчивостью, в результате чего цементный камень не способен противостоять динамическим нагрузкам [1, 2]. Такие операции, как вторичное вскрытие пласта, освоение скважины и гидроразрыв пласта (ГРП), оказывают сильные динамические нагрузки, что ведет к разрушению цементного камня. Самые большие нагрузки цементное кольцо испытывает при ГРП. Гидроразрыв пласта производят при давлении до 30 МПа, помимо этого нагрузка на пласт имеет не только динамический характер, но и статический, поскольку воздействие на пласт происходит длительное время: 1,5 – 2 часа [3]. В результате после воздействия перфорации и ГРП цементное кольцо может быть полностью разрушено, и это, в свою очередь, может привести к перетокам, преждевременному обводнению продуктивных горизонтов. Таким образом, цементный камень за обсадной колонной является одновременно как одним из наиболее важных звеньев, оказывающим влияние на длительность эксплуатации скважины, так и наиболее уязвимым.

С каждым годом происходит увеличение фонда скважин, на которых производится гидроразрыв пласта. Уже сегодня данный метод обеспечивает более 40% дополнительной добычи нефти по всей России.

Цементный камень за обсадной колонной является одновременно, как одним из наиболее важных звеньев, оказывающим влияние на длительность эксплуатации скважины, так и наиболее уязвимым.

В связи с этим становится актуальным вопрос разработки специализированных тампонажных систем, предназначенных для скважин, подвергающихся значительным динамическим нагрузкам, которые смогут обеспечить целостность цементной колонны.

Уже проведено множество работ, посвященных повышению стойкости цементного камня к динамическим нагрузкам. Подходы к решению данной проблемы различны, однако большинство авторов сходятся во мнении, что портландцемент при всех его достоинствах обладает существенными недостатками – по мере увеличения прочности цементного камня растет и его хрупкость, а также портландцемент обладает низкой прочностью на растяжение [4 – 8]. Для борьбы с этими недостатками предлагается несколько решений. Так, например, в работах российских авторов [9 – 10] рассматривается

В течение всего периода строительства и эксплуатации скважины цементное кольцо подвергается ударным и циклическим нагрузкам, что не может не сказываться на качестве крепи. В связи с этим становится актуальным вопрос разработки специализированных тампонажных систем, предназначенных для скважин, подвергающихся значительным динамическим нагрузкам, которые смогут обеспечить целостность цементной колонны.

Табл. 1. Результаты испытания по оценке эффективности различных добавок с целью повышения ударной прочности тампонажного камня

Состав	В/Ц	Дср, см	Прочность на изгиб, МПа (T=75°C)			Прочность на сжатие МПа (T=75°C)			Энергия трещинообразования, Дж
			1 сут	3 сут	7 сут	1 сут	3 сут	7 сут	
ПЦТ-1-G	0,44	24,4	8,2	9,2	7,3	31,2	38,6	39,4	1,666
ПЦТ-1-G + 0,2% ГЭЦ-LV + 0,05% Суперпластификатор	0,44	25,5	7,7	9,6	9,4	29,3	36,8	45,6	1,568
ПЦТ-1-G+ 10% ДР-100 + 0,2% ГЭЦ-LV + 0,05% Суперпластификатор	0,44	24	6,3	7,8	8,3	19,3	26,8	30,8	2,156
ПЦТ-1-G + (2% Латексный полимер от массы воды)	0,44	24	6,5	8,5	8,5	28,3	31,3	33,8	1,764
ПЦТ-1-G + (2% Al ₂ (SO ₄) ₃ от массы воды)	0,44	23	9,8	11,7	10,5	28,4	44,3	51,1	1,666

УДК 622.257.12

БУРИНТЕХ

Ключевые слова:
ООО НПП «БУРИНТЕХ», цементный камень, крепь скважины, динамические нагрузки, фибра, армирование, разрушение, деформация



Табл. 2. Результаты испытаний эффективности применения полипропиленового и базальтового фиброволокна

Состав	В/Ц	Дср, см	Прочность на изгиб, МПа (T=75°C)			Прочность на сжатие, МПа (T=75°C)			Энергия трещинообразования, Дж
			1 сут	3 сут	7 сут	1 сут	3 сут	7 сут	
ПЦТ-1-G + 0,2% Полипропиленовое волокно (6 мм)	0,44	24	9	9,8	10,9	32,7	38,9	42,5	2,156
ПЦТ-1-G + 0,5% Полипропиленовое волокно (6 мм)	0,44	21,9	8,3	9,4	9,4	33,4	36,6	39,2	2,254
ПЦТ-1-G + 0,2% Базальтовое волокно (12 мм)	0,44	22,3	10,1	12	11,1	30	40,8	41,8	2,646
ПЦТ-1-G + 0,5% Базальтовое волокно (12 мм)	0,44	18,8	9	9,3	10	27,6	37,2	38,8	2,94



Рис. 1. Прибор для определения прочности покрытий при ударе



Рис. 2. Формы дисков

применение фиброармирования как способа повышения стойкости цементного камня к динамическим нагрузкам. По результатам проведенных исследований [10] наблюдалось повышение удельной ударной вязкости разрушения на 30 – 75%, а также увеличение прочности на растяжение на 20 – 100%, в зависимости от содержания фиброволокна.

Особый интерес к повышению стойкости цементного камня к динамическим нагрузкам проявляют зарубежные фирмы. Они, например, нашли несколько методов борьбы с ударными и циклическими нагрузками, используя в составе тампонажной смеси эластомеров, которые обеспечивают демпфирующий эффект, тем самым позволяя «гасить» ударные нагрузки, а также пеноцемент, где та же роль отведена пузырькам газа.

Сегодня в ГОСТ 1581 - 96 не существует методов оценки стойкости тампонажного материала к ударным нагрузкам. В связи с этим возникают проблемы в оценке качества тампонажного камня. ООО НПП «БУРИНТЕХ» предлагает использовать прибор для определения прочности покрытий при ударе (ИСО 6272-2002, ГОСТ Р 53007-2008). Прибор (рис. 1) применяется в заводских лабораториях при входном контроле покрытия, в процес-

се производства, а также в полевых условиях при проведении эксплуатационных работ – для испытаний металлов, пластмасс, паркета, деревянных панелей, керамики, бетона, наливных полов и т.д.

Под устойчивостью материала к ударным нагрузкам понимается его способность эффективно сопротивляться разрушающему действию динамических нагрузок, в том числе воздействию внезапно приложенных сил, при которых скорости деформации материала достигают значительных величин [11]. Данный прибор позволяет определить ударную нагрузку, при которой начинается разрушение цементного камня. Суть лабораторных испытаний состоит в том, чтобы определить энергию удара, при которой начинается трещинообразование в цементном камне, и влияние добавки в тампонажный раствор на ударную прочность. Для проведения испытаний были изготовлены специальные формы колец (рис. 2), в которые заливался исследуемый тампонажный раствор. После этого полученные диски тампонажного камня помещались под молот и проверялась их стойкость к ударным нагрузкам. В качестве критерия оценивалась энергия, необходимая для образования трещин в дисках.

По данной методике были проведены испытания по оценке эффективности различных добавок с целью повышения ударной прочности тампонажного камня (табл. 1).

По результатам проведенных экспериментов видно, что ударная стойкость тампонажного камня никак не зависит от прочности на изгиб и сжатие. Так, например, тампонажный раствор, в состав которого входит расширяющаяся добавка на основе оксида кальция, по ГОСТ 1581 - 96 имеет самые низкие показатели прочности, но при этом обладает достаточно высокой стойкостью к ударным нагрузкам (на 29% выше по сравнению с ПЦТ-1-G). Устойчивость цементного камня к динамическим нагрузкам будет напрямую зависеть от способности цементной матрицы к деформации. По этой причине воздухововлекающие, демпфирующие и армирующие добавки будут иметь большую эффективность с точки зрения повышения ударной стойкости цементного камня, чем суперпластификаторы и электролиты, повышающие прочность на изгиб и сжатие.

Армирование тампонажного раствора при помощи фиброволокон, помимо повышения стойкости к ударным

Уже проведено множество работ, посвященных повышению стойкости цементного камня к динамическим нагрузкам. Подходы к решению данной проблемы различны, однако большинство авторов сходятся во мнении, что портландцемент при всех его достоинствах обладает существенными недостатками - по мере увеличения прочности цементного камня растет и его хрупкость, а также портландцемент обладает низкой прочностью на растяжение.



Рис. 3. Диск, армированный базальтовым волокном



Рис. 4. Диск, армированный полипропиленовым волокном

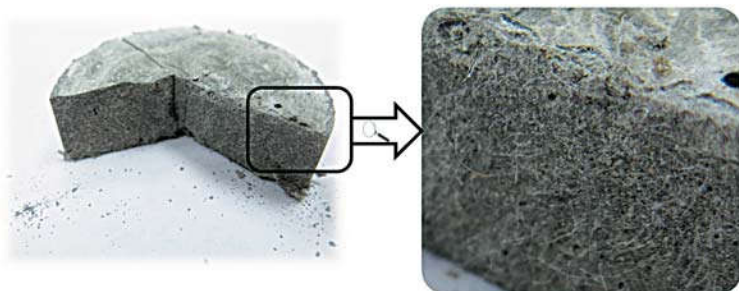


Рис. 5. Разрушенный диск с полипропиленовым волокном

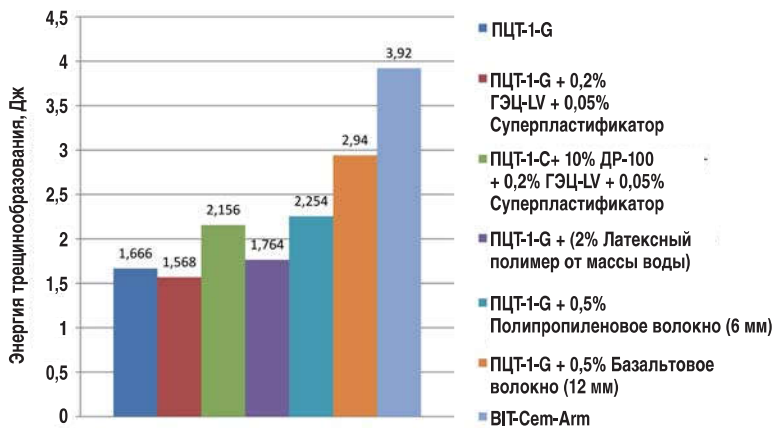


Рис. 6. Влияние различных добавок на ударную прочность цементного камня

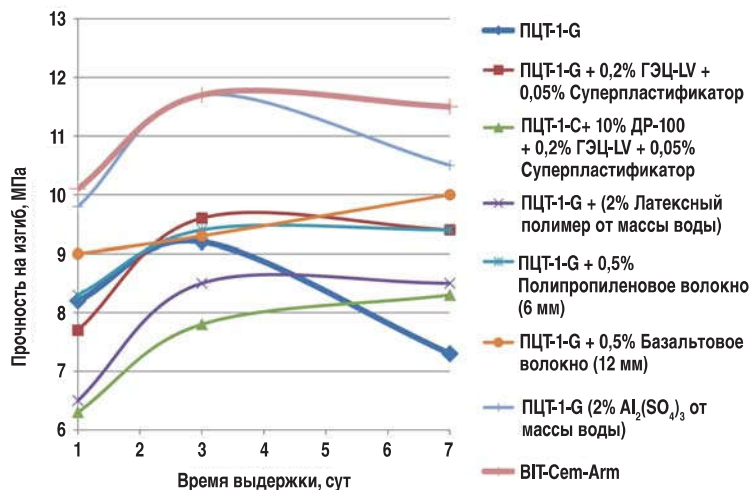


Рис. 7. Влияние различных добавок на прочность цементного камня на изгиб

нагрузкам, может снижать усадочное растрескивание цементного камня при твердении [10], а также при значительных деформациях растяжения сдерживает раскрытие трещин [12]. Таким образом, с точки зрения комплексного воздействия на тампонажный раствор использование фиброармирования более предпочтительно, чем воздухововлекающие и демпфирующие добавки. В табл. 2 приведены результаты испытаний эффективности применения полипропиленового и базальтового фиброволокна с целью повышения ударной прочности тампонажного камня.

Использование фиброволокна в составе тампонажного раствора повышает стойкость тампонажного камня к ударным нагрузкам, а также увеличивает прочность на изгиб/сжатие. Применение базальтового волокна позволило повысить ударную прочность на 76,5%, полипропиленового на 35,3%. При этом базальтовое волокно, имея ту же природу, что и цемент, образует с ним однородную матрицу, в результате чего не способно сдерживать раскрытие трещин, так как его разрушение происходит одновременно с цементным камнем. На рис. 3 – 5 приведены диски из цементного камня после приложения ударной нагрузки.

Сравнивая полученные в ходе исследований результаты, можно сказать, что использование различных добавок к тампонажному раствору будет оказывать влияние на устойчивость цементного камня к динамическим нагрузкам. Использование как критерий качества тампонажного цемента методики, предложенную ООО НПП «БУРИНТЕХ», позволит улучшить качество крепления скважин и позволит более целостно сохранить цементную колонну после вторичного вскрытия и гидроразрыва пласта.

В ООО НПП «БУРИНТЕХ» разработан тампонажный раствор ВГТ-Сем-Агм, отличающийся повышенной стойкостью цементного камня к ударным нагрузкам. Используя этот метод, подобрали оптимальный состав из различных фиброволокон и дополнительных добавок, оказывающих положительное влияние на прочность. Сравнение стойкости различных составов тампонажного камня к ударным нагрузкам показано на рис. 6, 7.

Выводы

1. Несмотря на достаточно высокую прочность, портландцемент обладает низкой ударной стойкостью и не может эффективно противостоять динамическим нагрузкам, возникающим при ГРП и перфорации.

2. Использование фиброармирования позволяет повысить ударную прочность от 20 до 135%. Наиболее эффективно комбинировать фиброволокна различной природы.

3. Оценивая качество тампонажного цемента только по ГОСТ 1581 – 96, невозможно сделать выводы о долговечности цементного камня в ходе эксплуатации скважины. Целесообразно использовать различные методики, позволяющие оценивать стойкость цементного камня к динамическим нагрузкам.

Литература

1. Мачинский Е.К., Зобс В.Ю., Волошко Г.Н. О деформационной способности тампонажных растворов, затвердевших при повышенной температуре. Труды СевКавНИИ. 1967. Вып. 1. С. 39 – 44.
2. Детков В.П. Цементирование наклонных скважин. М.: Недра, 1978. 257 с.
3. Мельников Ю.В., Утробин А.А., Смоляников В.Г. Нарушение контактов цементного кольца с обсадной колонной и стенками скважины при проведении технологических операций в этой колонне. Реф. НГС Бурение. М.: ВНИИОЭНГ. 1977. № 4.



4. Peter Simeonov, Shuaib Ahmad, *Effect of transition zone on the elastic behavior of cement-based composites, Cement and Concrete Research*, Vol. 25. No.1. Pp. 165 – 176. 1995.

5. Haeckerd C.J., Garboczia E.J., et al. *Modeling the linear elastic properties of Portland cement paste, Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1948 – 1960.

6. Veleza Karine, Maximiliena Sandrine, et al. *Determination by nanoindentation of elastic modulus and hardness of pure constituents of Portland cement clinker, Cement and Concrete Research* 31 (2001) 555-561.

7. Агзамов Ф.А., Самсыкин А.В., Губайдуллин И.М., Тихонов М.А., Семенов С.Ю., Мулюков Р.А. Моделирование динамических воздействий на крепь скважины на основе метода конечных элементов // *Нефтегазовое дело*. Т. 9. 2011. №4. С. 18 – 24.

8. Самсыкин А.В. Разработка композиционных тампонажных составов повышенной сопротивляемости динамическим воздействиям для сохранения герметичности крепи скважин, дисс. канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2010.

9. Воеводкин В.Л. и др. Фиброармированный материал для цементирования продуктивных интервалов, подверженных перфорации в процессе освоения скважин // Патент России №2458962. 2012. Бюл. №23.

10. Агзамов Ф.А., Тихонов М.А., Каримов Н.Х. Влияние фиброармирования на свойства тампонажных материалов // *Территория Нефтегаз*. 2013. №4. С. 24 – 28.

11. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа., 2001. 416 с.

12. Мещерин В.С. Предупреждение трещинообразования в бетоне с помощью фиброармирования // *Бетон и железобетон*. 2012. №1. С. 50 – 57.

2. Detkov, V.P., *Cementing of directional wells*. M.: Nedra, 1978. 257 p.

3. Melnikov Yu.V. Utrobin A.A., Smolyanikov V.G. *Violation of the contact cement bond with the casing and the borehole wall when performing technological operations on the column*. Ref. NGS Drilling. M.: VNIIOENG. 1977. No. 4.

4. Peter Simeonov, Shuaib Ahmad, *Effect of transition zone on the elastic behavior of cement-based composites, Cement and Concrete Research*, Vol. 25. No.1. Pp. 165 – 176. 1995.

5. Haeckerd C.J., Garboczia E.J., et al. *Modeling the linear elastic properties of Portland cement paste, Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1948 – 1960.

6. Veleza Karine, Maximiliena Sandrine, et al. *Determination by nanoindentation of elastic modulus and hardness of pure constituents of Portland cement clinker, Cement and Concrete Research* 31 (2001) 555 - 561.

7. Agzamov F.A., Sumsykin A.V., Gubaidullin I.M., Tikhonov M.A., Semenov S.Ju., Mulyukov R.A. *Modeling of dynamic effects on the lining of the borehole on the basis of the finite element method // Oil and gas business*. Vol. 9. 2011. No.4. Pp. 18 – 24.

8. Samsukin A.V. *Development of composite grouting structures; with increased resistance to dynamic effects to preserve the tightness of the lining of well*. Candidate of Technical Sciences dissertation, Ufa State Petroleum Technical University, 2010.

9. Voevodkin V.L. et al. *Fiber reinforced material for productive intervals cementing productive, subject to the perforation in the course of development wells // Patent of Russia № 2458962*. 2012. Bul. No.23

10. Agzamov F.A., Tikhonov M.A., Karimov N.X. *The effect of fiber reinforced on the properties of grouting materials // Territory Neftgaz*. 2013. No.4. Pp. 24 – 28.

11. Targ S.M. *A short course of theoretical mechanics*. M.: Higher school, 2001. 416 p.

12. Meshcherin V.S. *Prevention of cracking in concrete using fiber reinforced // Concrete and reinforced concrete*. 2012. No. 1. Pp. 50 – 57. ■

Literature

1. Machinskiy E.K., Zobs V.Ju., Voloshko G.N. *On deformation capacity of grouting slurries cured at elevated temperature*. Scientific proceedings of SevKavNII 1967. Vol. 1. Pp. 39 – 44.

А.И. Булатов

Мифы и реальность Земли и космоса

Т. 12

Издательство ООО «Просвещение-Юг», 2015 г.



«Не бойтесь будущего. Вглядывайтесь в него, не обманывайтесь на его счет, но не бойтесь». Так говорил Уинстон Черчилль.

Его поддерживает своей новой книгой профессор А.И. Булатов, который так и назвал очередной 12-й том «Будущее человека и человечества».