

УДК 622.24

А.С. Бубнов, заведующий лабораторией проектирования строительства скважин, Центр подготовки и переподготовки специалистов нефтегазового дела Института природных ресурсов, e-mail: bubnovas@niitek.ru; **И.А. Бойко**, заведующий лабораторией, Испытательная научно-инновационная лаборатория «Буровые промывочные и тампонажные растворы» (ИНИЛ «БПУТР»), e-mail: boykoia@niitek.ru; **И.Н. Барышев**, инженер лаборатории ИНИЛ «БПУТР», e-mail: baryshevin@niitek.ru; **В.С. Хорев**, к.т.н., инженер лаборатории ИНИЛ «БПУТР», e-mail: vhorrev@sibmail.com

Исследование прочностных характеристик цементного камня и удельного веса тампонажного раствора на основе вермикулита для крепления нефтяных и газовых скважин

Статья посвящена использованию вермикулита вспученного как альтернативной добавки для снижения удельного веса тампонажного раствора. В рамках данной статьи исследованы закономерности изменения удельного веса тампонажного материала при использовании вермикулита вспученного при различных концентрациях, а также выполнен ряд экспериментов по изучению прочностных характеристик цементного камня с использованием вермикулита вспученного.

Ключевые слова: вермикулит вспученный, цементный камень, тампонажный материал, удельный вес, прочность.

Актуальность работы обусловлена активным бурением новых скважин в сложных геологических условиях. В процессе строительства подобных скважин зачастую возникают проблемы (недоподъем цемента за колонной, поглощение цементного раствора в высокопроницаемых горизонтах из-за высокой плотности тампонажного раствора, слабое сцепление цементного камня и т.д.), связанные с использованием неправильно подобранных рецептур тампонажных растворов, которые в полной мере не удовлетворяют современным и геологическим требованиям. Одним из способов решения проблемы недоподъема цементного раствора в заколонном пространстве является использование облегченного тампонажного раствора. Для приготовления облегчающих тампонажных материалов авторами предложено использовать в качестве облегчающей добавки вермикулит вспученный, так как данная добавка приводит к значительному снижению удельного веса тампонажного раствора.

Вермикулит – минерал со слоистой структурой из группы гидрослюдистых, продукт вторичного изменения (гидролиза и последующего выветривания) темных слюд биотита флогопита. Вермикулит представляет собой крупные пластинчатые кристаллы золотисто-желтого или бурого цвета. После термообработки увеличивается в размере в 10–15 раз (рис. 1) [1, 3, 4]. При нагревании из пластинок образуются червеобразные столбики или нити золотистого или серебристого цвета с

поперечным делением на тончайшие чешуйки (вспученный вермикулит). Технические характеристики вермикулита представлены в таблице 1.

ВЕРМИКУЛИТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРА ЗЕРЕН ДЕЛЯТ НА СЛЕДУЮЩИЕ ТИПЫ:

- крупный – с размером зерен от 5 до 10 мм;
- средний – с размером зерен от 0,6 до 5 мм;
- мелкий – с размером зерен до 0,6 мм.

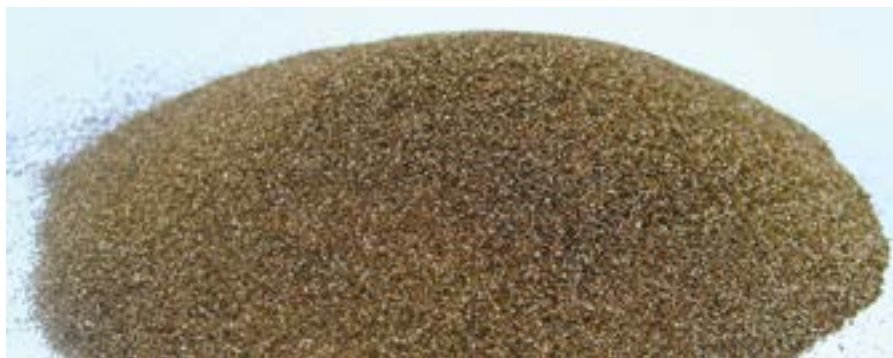


Рис. 1. Внешний вид вермикулита вспученного

Таблица 1. Технические характеристики вермикулита

Технические характеристики	Вермикулит	Вспученный вермикулит
Плотность, г/см ³	2,4–2,7	0,065–0,130
Насыпная плотность вермикулита после обжига, кг/м ³	120–200	120–200
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,05	0,05
Температура плавления, °С	1350	1350
Влажность, %	5	3

Таблица 2. Результаты исследования влияния вермикулита на плотность тампонажного раствора при различных концентрациях

Параметры вермикулита		Состав экспериментальных образцов (кол-во ПЦТ-100/кол-во вермикулита), % на 100 г				
Размер фракции вермикулита	Насыпная плотность г/см ³	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25
≥ 0,6	0,12	1,36	1,26	–	–	–
0,3–0,6	0,17	1,44	1,41	1,27	–	–
0,15–0,3	0,26	1,45	1,40	1,40	–	–
≥ 0,15	0,52	1,49	1,48	1,41	1,34	1,26
Смешанная фракция ≥ 0,6 – 22% 0,3–0,6 – 63% 0,15–0,3 – 11% ≥ 0,15 – 4%	0,22	1,43	1,39	1,36	1,32	1,29

ВЕРМИКУЛИТ КЛАССИФИЦИРУЕТСЯ ПО МАРКАМ:

- вермикулит 100 – плотность 100 кг/м³;
 - вермикулит 150 – плотность 150 кг/м³;
 - вермикулит 200 – плотность 200 кг/м³.
- В рамках данной статьи использовался вермикулит фракцией от 0,1 до 0,9 мм [3].

Замеры плотности образцов тампонажного раствора выполнялись с помощью пикнометра, представленного на рисунке 2 [2–5].

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАКЛЮЧАЛИСЬ В РЕАЛИЗАЦИИ СЛЕДУЮЩИХ ЭТАПОВ:

- приготовление экспериментального образца цементного теста с добавлением вермикулита определенной концентрации;
 - определение массы чистого сухого пикнометра;
 - заполнение цементным тестом пикнометра, при этом цементное тесто должно заполнить канал в крышке пикнометра;
 - определение массы пикнометра, заполненного цементным тестом.
- Плотность цементного теста ρ_u г/см³, вычислялась по формуле 1:

$$\rho_u = \frac{m_1 - m_2}{V}, \tag{1}$$

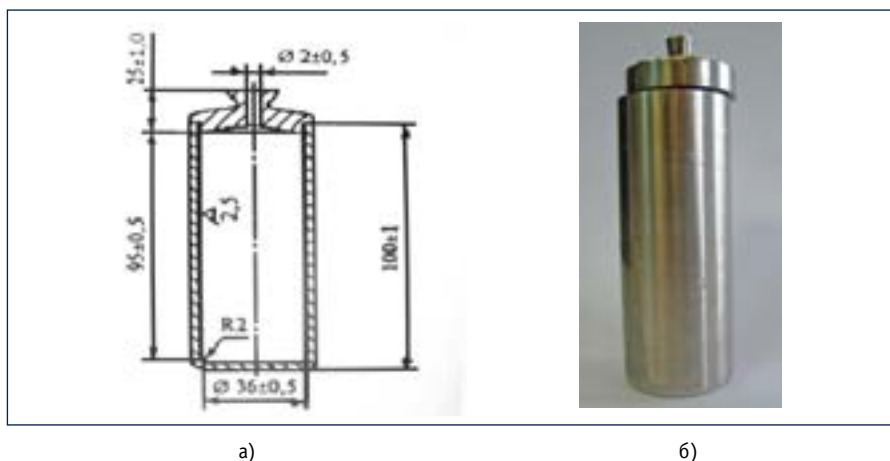


Рис. 2. Изображение пикнометра: а) схематическое изображение; б) внешний вид

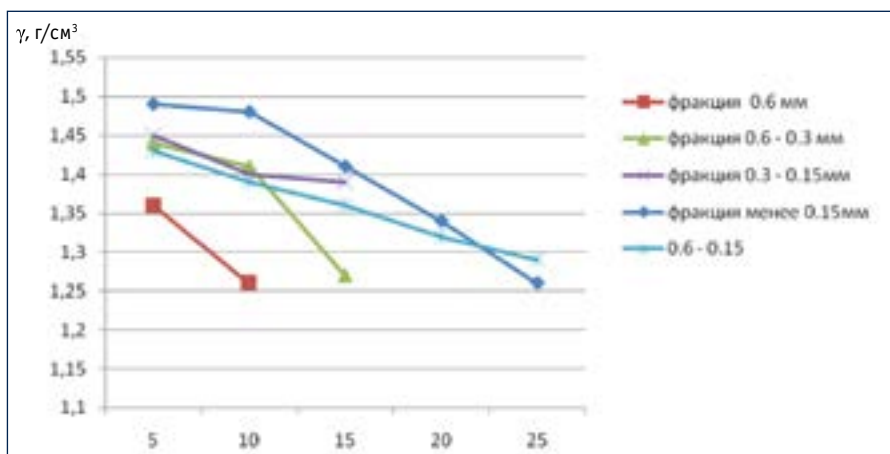


Рис. 3. Динамика изменения плотности экспериментальных образцов при увеличении концентрации вермикулита

Таблица 3. Результаты эксперимента

№	Состав тампонажного материала, %		Плотность, г/см ³	max нагрузка, кН	max напряжение, мПа
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. ≥ 0,6			
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. ≥ 0,6			
1	95	5	1,36	2,25	2,28
2	95	5		2,33	2,33
3	95	5		2,29	2,29
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. 0,3–0,6			
1	95	5	1,44	1,25	2,76
2	95	5		1,19	2,79
3	95	5		1,14	2,66
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. 0,15–0,3			
1	95	5	1,46	1,48	3,47
2	95	5		1,45	3,4
3	95	5		1,46	3,23
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. 0,15–0,3			
1	90	10	1,44	1,37	3,2
2	90	10		1,34	3,13
3	90	10		1,34	3,14
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. 0,15 ≥ 0,3			
1	75	25	1,49	1,25	2,93
2	75	25		1,08	2,53
3	75	25		1,05	2,46
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. ≤0,15			
1	90	10	1,48	1,31	3,17
2	90	10		1,32	3,19
3	90	10		1,34	3,27
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. ≤0,15			
1	85	15	1,41	1,62	3,89
2	85	15		1,54	3,62
3	85	15		1,73	3,91
	ПЦТ I-100	Вермикулит фр. смешанная			
1	95	5	1,43	1,34	3,2
2	95	5		1,30	3,0
3	90	10	1,39	1,25	2,8
	90	10		1,24	2,5
	85	15	1,36	1,23	2,57
	85	15		1,21	2,42

где m_1 – масса пустого пикнометра, г;
 m_2 – масса пикнометра с цементным тестом, г;
 V – вместимость пикнометра, см³.

Результаты вычисления округлялись до 0,01 г/см³. Влияние вермикулита на плотность тампонажного раствора при различных концентрациях отражено в таблице 2 и на рисунке 3.

Результаты экспериментов указывают, что увеличение концентрации вермикулита вспученного в тампонажном материале положительно влияет на снижение удельного веса с 1,50 до 1,26 г/см³ в зависимости от концентрации и насыпной плотности вермикулита вспученного.

Увеличение концентрации вермикулита более 15–20% приводит к нарушению

однородности приготовленного цементного теста, слабой растекаемости и коагуляции раствора. Дисперсность фракции и насыпная плотность вермикулита положительно влияют на снижение удельного веса.

Использование смешанной фракции вермикулита имеет более выраженную тенденцию снижения удельного веса, но наличие фракций более 0,15–0,3 способствует нарушению однородности тампонажного раствора, потере стабильности показателя плотности, всплыванию крупных частиц вермикулита [5, 6].

Следующим этапом исследований являлось определение прочностных характеристик цементного камня по ГОСТ 26798.1-96. Для этого были изготовлены балочки из цементного камня с различной концентрацией вермикулита. Перед разрушением балочки были выдержаны в камере водного хранения в течение 48 часов при температуре 75 °С. Разрушение балочек осуществлялось с помощью установки Матест (модель Е160). Внешний вид установки и схема расположения балочек показаны на рисунке 4.

Результаты изменения прочностных характеристик представлены в таблице 3. Для каждого отдельно взятого состава цемента и вермикулита изготавливалось и разрушалось по три образца [1–2]. Прочность при изгибе ПЦТ-I-100 – 8,7 мПа (без добавления вермикулита).

Результаты экспериментов указывают, что увеличение концентрации вермикулита снижает прочностные характеристики цементного камня. С уменьшением размера фракции вермикулита вспученного увеличиваются прочностные характеристики цементного камня.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

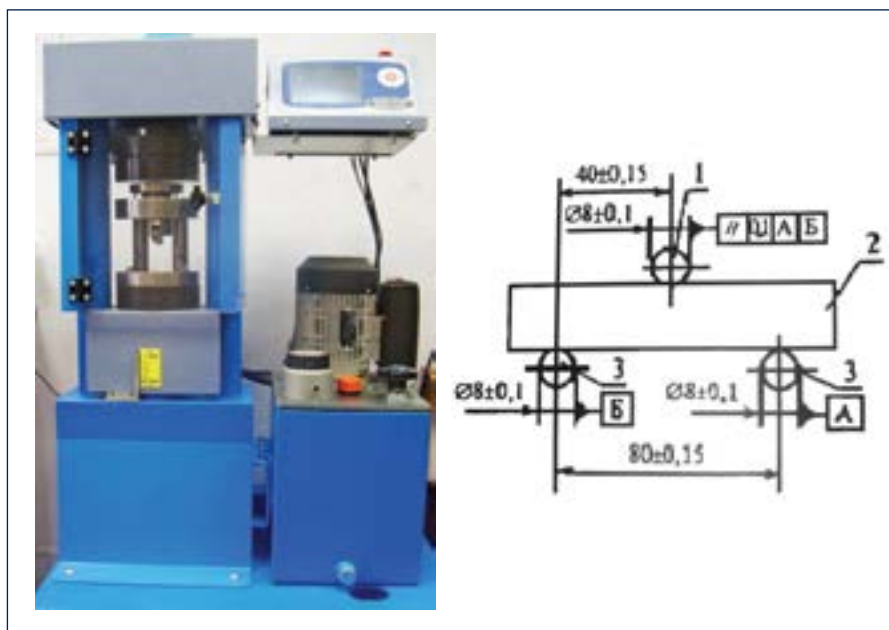
1. Использование вермикулита вспученного приводит к снижению удельного веса тампонажного раствора. Дисперсность и насыпная плотность добавляемого вермикулита также вносят свой вклад в изменение удельного веса тампонажного раствора.

2. Добавление вермикулита вспученного смешанной фракции имеет выраженную тенденцию снижения удельного

веса, при этом значительного отклонения удельного веса не происходит, однако наблюдается всплытие частиц вермикулита вспученного крупной фракции, что приводит к нестабильности удельного веса тампонажного материала при увеличении концентрации вермикулита вспученного в тампонажном растворе.

3. Результаты разрушения цементных балочек показали, что увеличение концентрации вермикулита вспученного в достаточной мере снижает прочностные характеристики полученных образцов.

4. Эксперименты показали, что при уменьшении фракции вермикулита вспученного прочностные характеристики цементного камня увеличиваются. Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что целесообразнее применение вермикулита вспученного с меньшей фракцией при оптимально подобранной концентрации облегчающей добавки.



а) установка для измерения напряжения; б) схема расположения балочки при разрушении:
1 – нагрузочный элемент; 2 – образец-балочка; 3 – опора

Литература:

1. ГОСТ 12865-67 «Вермикулит вспученный».
2. ГОСТ 1581-96 «Портландцементы тампонажные. Технические условия».
3. ГОСТ 26798.1-96 «Цементы тампонажные. Методы испытаний».
4. Булатов А.И., Данюшевский В.С. Тампонажные материалы. – М.: Недра, 1987. – 280 с.
5. Ивачев Л.М. Промысловые жидкости и тампонажные смеси. – М.: Недра, 1987. – 242 с.
6. Шаманов С.А. Бурение и заканчивание горизонтальных скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 190 с.
7. H.C.H. Darley, George R. Gray. Composition and properties of drilling and completion fluids. – Gulf Professional Publishing, 1988. – 644 p.

UDC 622.24

A.S. Bubnov, Head of Laboratory, Well Construction Design, Center of Oil and Gas Specialists Professional Re-training of the Natural Resources Institute, e-mail: bubnovas@niitek.ru; **I.A. Boyko**, Head of Laboratory, Testing scientific and innovation laboratory Drilling flushing mud and slurry, e-mail: boykoia@niitek.ru; **I.N. Baryshev**, Engineer of Laboratory, Testing scientific and innovation laboratory Drilling flushing mud and slurry, e-mail: baryshevin@niitek.ru; **V.S. Horev**, Candidate of Science (Engineering), Engineer of Laboratory, Testing scientific and innovation laboratory Drilling flushing mud and slurry, e-mail: vhorev@sibmail.com

Research into cement stone strength characteristics and specific weight of vermiculite-based well slurry for oil and gas wells lining

The article deals with use of expanded vermiculite as an alternative additive for reducing specific weight of well slurry. This article studies research into the tendencies of changes to the well slurry material specific weight when using expanded vermiculite in various concentrations and describes a number of experiments performed to study the strength characteristics of cement stone using expanded vermiculite.

Keywords: expanded vermiculite, cement stone, well slurry material, specific weight, strength.

References:

1. ГОСТ 12865-67 «Вермикулит вспученный» («Expanded vermiculite»).
2. ГОСТ 1581-96 «Портландцементы тампонажные. Технические условия» («Oil Well Portland Cements. Specifications»).
3. ГОСТ 26798.1-96 «Цементы тампонажные. Методы испытаний» («Oil Well Cements. Test Methods»).
4. Bulatov A.I., Danyushevskiy V.S. Tamponazhnye materialy (Well slurry materials). – Moscow: Nedra, 1987 – 280 p.
5. Ivachev L.M. Promylovchnye zhidkosti i tamponazhnye smesi (Flushing liquids and well slurry mixtures). – Moscow: Nedra, 1987 – 242 p.
6. Shamanov S.A. Burenie i zakanchivanie gorizontaľnykh skvazhin (Horizontal wells drilling and completion). – Moscow: Nedra Business Center LLC, 2001. – 190 p.
7. H.C.H. Darley, George R. Gray. Composition and properties of drilling and completion fluids. – Gulf Professional Publishing, 1988. – 644 p.