

М.Ю. Мерзляков, А.А. Яковлев**ПРИМЕНЕНИЕ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ
С ВКЛЮЧЕНИЕМ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР
ПРИ КРЕПЛЕНИИ СКВАЖИН В КРИОЛИТОЗОНЕ**

Крепление скважин в районах с суровым климатом является сложной технической задачей, для решения которой требуется использование особенных технических средств и технологических методов. При строительстве скважин в таких условиях широко применяются облегченные тампонажные растворы, которые позволяют минимизировать риски возникновения возможных осложнений. Из вводимых в тампонажные растворы облегчающих наполнителей можно выделить полые микросферы, характеризующиеся низкой плотностью, высокой прочностью и малыми значениями теплопроводности. Проведен обзор полых микросфер наиболее часто используемых в практике тампонирувания скважин. Отмечено, что добавка в состав тампонажных растворов полых микросфер способствует снижению их плотности при относительно невысокой водопотребности, а формируемый тампонажный камень с включением микросфер имеет низкую теплопроводность, повышенную прочность и трещиностойкость. На основании анализа сделан вывод о том, что ввод полых микросфер позволяет получить тампонажный раствор и цементный камень пригодные для крепления скважин в криолитозоне.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, цементирование скважин, тампонажные растворы, облегченные добавки, полые микросферы.

В условиях ММП, характерных в нашей стране для районов Крайнего Севера и севера Западной Сибири, с успехом применяются для крепления скважин облегченные и сверхлегкие тампонажные растворы.

Наибольшее распространение в практике цементирования скважин получило применение тампонажных портландцементов с добавлением облегчающих материалов [1]. Тампонажные смеси, содержащие традиционные облегчающие добавки, не всегда справляются с решением требуемой задачи по качественному креплению, так как повышенное давление в скважине приводит к разрушению облегчающих наполнителей, плотность раствора резко возрастает, и он становится непрокачиваемым [2]. В связи с этим, использование тампонажных материалов с полыми микросферами

позволяет решить проблему по строительству эффективных и долговечных скважин. Растворы с полыми микросферами обладают малой плотностью и практически несжимаемы.

Полые микросферы представляют собой порошок из сферических тонкостенных частиц размером от 10 до 500 мкм, насыпной плотностью от 100 до 450 кг/м³ и теплопроводностью от 0,05 до 0,067 Вт/(м·°С). Внутренняя полость их заполнена углекислым газом, аммиаком, сернистым газом или азотом.

Выделяют следующие группы полых микросфер: полимерные, алюмосиликатные (керамические, зольные), стеклянные, силикатные и углеродные [3, 4, 5]. Они отличаются содержанием сырьевых компонентов и способом получения. Некоторые основные свойства используемых микросфер были сведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства применяемых полых микросфер

Свойства	Значение		
	полые полимерные микросферы	полые алюмосиликатные микросферы	полые стеклянные микросферы
Цвет	различный	светло-серый	белый
Форма частиц	сферическая	сферическая	сферическая
Размер частиц, мкм	50–500	40–500	10–200
Насыпная плотность, г/см ³	0,10–0,45	0,30–0,45	0,12–0,40
Истинная плотность, г/см ³	0,16–0,42	0,34–0,50	0,16–0,70
Прочность при объемном сжатии, МПа	до 4,0	до 5,0	10,0–20,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,050	0,06–0,20	0,060–0,067

Различные способы получения и разнообразное содержание компонентов состава не позволяют достаточно точно определить некоторые основные свойства для конкретных типов микросфер. Химический состав полых микросфер представлен в табл. 2.

Полые полимерные микросферы (ППМС) – газонаполненные сферические частицы размером 50–500 мкм и насыпной плотностью 100–250 кг/м³. Они получают из фенолформальдегидной или мочевиноформальдегидной смолы плотностью 420 кг/м³ и 160 кг/м³ соответственно. Оптималь-

Таблица 2

Химический состав некоторых применяемых полых микросфер [3, 6]

Компоненты	Состав микросфер, %		
	Стеклянные	Алюмосиликатные	Полимерные
SiO ₂	60–80	55–59	–
Al ₂ O ₃	4–10	27–31	–
Fe ₂ O ₃	–	4,6–5,5	–
K ₂ O	5–16	3,2–3,7	–
CaO	5–25	1,1–1,8	–
MgO	0–15	1,3–1,7	–
SiO ₂ /SiO ₃	–	0,05–0,1	–
Cl	–	< 0,1	–
Na ₂ O	5–16	1,0–2,0	–
MnO ₂	0–10	–	–
B ₂ O ₅	10–20	–	–
P ₂ O ₅	0–5	–	–
фенолформальдегид	–	–	100

ное содержание данных микросфер в тампонажных растворах составляет 5–10% (допускается 20%) [7]. Применение ППМС позволяет получить тампонажный раствор с плотностью до 1200 кг/м³ [6]. В нашей стране полые фенолформальдегидные микросферы выпускаются владимирским заводом «Полимерсинтез».

Исследования характеристик тампонажных растворов с добавлением ППМС при 22 °С показывают, что у получаемого цементного камня предел прочности на изгиб составляет от 0,8 до 1,8 МПа (через 2 и 4 сут. соответственно). Для получения 1 м³ раствора требуется всего 0,91–0,77 т сухой смеси [7]. Из преимуществ тампонажных смесей с ППМС также можно выделить высокое содержание вяжущего и повышенная стойкость к агрессивным средам. Недостатками являются трудность получения гомогенизированной системы, недостаточная стабильность и разрушение микросфер под воздействием повышенного давления в скважине (при 30 МПа плотность смеси повышается на 220–260 кг/м³), в результате которого уменьшается объем раствора.

Полые алюмосиликатные микросферы (ПАМС) являются продуктом сжигания топлива в ТЭС или на других производствах, где зола от сгорания угля удаляется в виде водной пульпы. Они формируются вследствие специфической грануляции расплава минеральной части углей, которая при дроблении образует мелкие капли, раздувающиеся из-за увеличений газовых включений. ПАМС представляют собой полые, силикатные шарики, характеризующиеся низкой стоимостью, сферической или округлой формой, малой плотностью, высокой температурой плавления, большой прочностью, термостабильностью в широком интервале температур и химической стойкостью. Температура

плавления данных микросфер равна 1400–1500 °С, твердость по Моосу – 6, коэффициент теплопроводности – 0,06–0,20 Вт/(м·°С) [3, 5]. Промышленностью полые алюмосиликатные микросферы производятся на Невьянском цементном заводе (ОАО «Бентонит Урал»).

Составы, содержащие ПАМС, обладают малой плотностью и низкими коэффициентами теплопроводности. При использовании ПАМС под давлением 30 МПа плотность раствора повышается на 80–120 кг/м³, для понижения водоотделения при повышенном В/Ц (0,9) применяются добавки в виде КМЦ, ПАА и др. [7].

Полые стеклянные микросферы (ПСМС) по внешнему виду аналогичны ПАМС. Их производят из натрий-борсиликатного стекла, путем пропускания мелких частиц, содержащих порообразователь, через высокотемпературную зону. Стеклянные микросферы характеризуются относительно высокой удельной прочностью до 18 МПа (при давлении 50 МПа плотность смеси повышается всего на 10 кг/м³, с одновременным увеличением растекаемости), хорошей теплоизолирующей способностью, высокой адсорбционной активностью к воде и большой величиной поверхностного натяжения. Прочность на гидростатическое сжатие ПСМС составляет 50 МПа, цементный камень с их добавлением обладает высокой трещиностойкостью, его прочность в 1,5–2,0 раза выше прочности облегченных тампонажных цементов ОЦГ и ЦТО, которая может быть повышена пластифицирующими и гидрофобизирующими добавками. Данные микросферы промышленно выпускаются в г. Новгороде (ОАО «Стекловолокно») и в п. Андреевка Московской области (АООТ НПО «Стеклопластик»). ПСМС имеют преимущественно следующий минералогический компонентный со-

став: SiO_2 – 78%, Na_2O – 8%, CaO – 6%, B_2O_3 – 3,5%, ZnO – 2%, остальные примеси [4].

Для увеличения трещиностойкости тампонажного камня поверхность полых стеклянных микросфер специально обрабатывается (процесс аппретирования). Введение кремне-органического аппрета изменяет структуру облегченного тампонажного материала с ПСМС, которая уплотняется и способствует повышению прочности. Использование аппретированных полых стеклянных микросфер (АПСМС) позволяет уменьшить водопотребность раствора и упрочнить контактную зону [8].

Исследования [2] показали, что существенно возрастает трещиностойкость тампонажных камней при использовании и увеличении концентрации ПСМС в тампонажной смеси, что обуславливается значительным уплотнением структуры камня. Кроме того, рост содержания микросфер в составе смеси ведет к увеличению прочности сцепления с обсадными трубами и горными породами.

После водозатворения цемента, содержащего ПСМС, происходит обмен ионами натрия и кальция между стеклом стенок микросфер и цементным камнем, что способствует упрочнению стенок микросфер. В твердеющем цементном камне процесс коррозии, происходящий на поверхности микросфер, ведет к упрочнению контактной зоны микросфера-цементный камень. Долговечность микросфер также повышается за счет пуццоланической активности. При полном растворении стеклянных микросфер из-за устранения контактной зоны увеличивается прочность и трещиностойкость цементного камня [9]. Однако В.П. Детков и А.Р. Хисматулин [10] считают это недостатком использования ПСМС и отмечают, что коррозионное разрушение стеклянной оболочки,

связанное с наличием $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2O и K_2O в твердеющем портландцементе, обуславливает карбонизацию тампонажной смеси и может привести к усадке цементного камня. Кроме этого также выделяют высокую цену ПСМС и АПСМС.

Добавление микросфер в растворы увеличивает их водоудерживающую способность и сроки схватывания, что способствует лучшей прокачиваемости раствора и герметизации скважины. В тампонажных смесях микросферы формируют центры кристаллизации, ускоряющие процессы структурообразования [2].

Одними из наиболее частых осложнений, возникающих при строительстве и эксплуатации скважин, являются те, которые вызваны цементированием затрубного пространства. Они связаны с неправильным выбором тампонажной смеси по средней плотности; с ее расслоением и водоотделением, приводящих к образованию весьма протяженных по высоте ствола скважины пустот; с резким повышением средней плотности смеси, обусловленной разрушением облегчающих добавок и ведущей к гидроразрыву пласта, преждевременному схватыванию цементного раствора и его недоподъему. Многие из традиционных облегчающих наполнителей не имеют стабильных реологических свойств, что не позволяет проводить одноступенчатое цементирование. С использованием традиционных наполнителей невозможно получить среднюю плотность смеси меньше $1200\text{--}1300 \text{ кг/м}^3$ со стандартной рестекаемостью и прочностью камня на изгиб от 1 МПа и более [2]. Вышеуказанные осложнения можно избежать путем применения в качестве добавки полых микросфер при использовании газожидкостных тампонажных смесей.

Тампонажные растворы с добавлением традиционных облегчающих

наполнителей под действием гидростатического давления, приводящего к увеличению плотности и снижению растекаемости, не всегда справляются с требуемой от них задачей. Д.В. Орешкин и Г.А. Белоусов [11], проанализировав растворы с применением подобных наполнителей, пришли к выводу, что облегчающие добавки, представленные шлаком, керамзитом, вспученным перлитовым и вермикулитовым песками, фильтроперлитом, обожженным диатомитовым песком, трепелом, опокой, мелом, резиновой крошкой, нефтяным коксом, угольной пылью, гипсом, асбестом и глиной, имеют большую водопотребность и недостаточно низкую плотность (табл. 3).

Использование полых микросфер позволяют получить тампонажные растворы со средней плотностью раствора от 960 до 1560 кг/м³ [12] и значением водоцементного отношения ниже 0,6. Указанные свойства тампонажных составов с полыми микросферами способствуют сокращению возникновения осложнений, что расширяет диапазон их применение на

производстве по строительству скважин в ММП, в интервалах с низким пластовым давлением и других неблагоприятных условиях.

В работах [3, 4, 9, 13] указывается, что смеси с полыми микросферами имеют теплозащитные свойства, что предопределяет целесообразность их применения для крепления скважин в ММП. При этом отмечается высокая надежность тампонажного материала с полыми микросферами, их повышенная трещиностойкость в процессе крепления, что обуславливает их применение в неблагоприятных горно-геологических условиях.

Исходя из проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- полые микросферы в составе цементных растворов нашли широкое применение при креплении скважин в зонах распространения ММП за счет низкой теплопроводности получаемого тампонажного камня с повышенной прочностью и трещиностойкостью;
- использование полых микросфер по сравнению с другими (традицион-

Таблица 3

Свойства тампонажных растворов с добавлением облегчающих добавок

Наполнитель в цементном растворе	Средняя плотность раствора, г/см ³	В/Т
Бентонитовый глинопорошок	1,30–1,60	1,00–1,80
Диатомит	1,30–1,60	0,80–1,80
Трепел, опока	1,30–1,60	0,80–1,80
Мел	1,60–1,66	0,60–0,70
Гидролизный лигнин	1,32–1,40	0,95–2,20
Угольный порошок	1,49–1,55	0,60–0,70
Торф	1,42–1,60	0,64–1,00
Резиновая крошка	1,20–1,50	0,60–0,90
Шлак, глинопорошок	1,50–1,56	0,75–0,80
Вспученный перлитовый песок	1,40–1,60	0,60–1,10
Вспученный вермикулитовый песок	1,50–1,60	0,60–0,80
Фильтроперлит	1,32–1,60	1,20–1,80
Зола	1,60–1,65	0,70–0,80

ными) облегчающими добавками способствует получению более низкой плотности и меньшей водопотребности тампонажных составов;

- из наиболее используемых полых микросфер (полимерных, алюмосиликатных, стеклянных) с точки зрения экономичности и технологической эффективности рациональнее являются алюмосиликатные полые микросферы, полученные путем сжигания топлива.

На основании анализа, проведенного авторами, по использованию газожидкостных тампонажных смесей для крепления скважин в многолетнемерзлых породах и данных исследований можно сделать вывод о необходимости разработки для условий ММП новых тампонажных смесей, включающих в свой состав как пузырьки воздуха, так и полые алюмосиликатные микросферы (т.е. ГЖТС с ПАМС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Е.Г., Карнеева Н.С., Пахарук И.Ю. О механизме повышения прочности тампонажного камня, содержащего алюмосиликатные микросферы // Территория нефтегаз. – 2007. – № 12. – С. 26–29.

2. Орешкин Д.В. Эффективные облегченные тампонажные растворы для условий anomalно низких пластовых давлений и многолетнемерзлых пород // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 50–53.

3. Орешкин Д.В., Фролов А.А., Ипполитов В.В. Проблемы теплоизоляционных тампонажных материалов для условий многолетних мерзлых пород. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 235 с.

4. Овчинников П.В., Кузнецов В.Г., Фролов А.А. и др. Специальные тампонажные материалы для низкотемпературных скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 115 с.

5. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмагилов З.Р. и др. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 5. – С. 86–90.

6. Вяхирев В.И., Ипполитов В.В., Орешкин Д.В. и др. Облегченные и сверхлегкие тампонажные растворы. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 180 с.

7. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: издательство «Летопись», 2005. – 664 с.

8. Семенов В.С., Орешкин Д.В. Факторы, влияющие на трещиностойкость цементного

тампонажного камня с полыми стеклянными микросферами // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2009. – № 5. – С. 83–86.

9. Первушин Г.Н., Орешкин Д.В., Ляпицкая О.Б. Однородные сверхлегкие тампонажные растворы для повышения надежности системы «обсадная труба – цементное кольцо – горная порода» // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. – 2006. – № 1. – С. 10–12.

10. Детков В.П., Хисматулин А.Р. Физико-химическая механика – основа для разработки технологии цементирования скважин в условиях крайнего севера // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2003. – № 7. – С. 31–37.

11. Орешкин Д.В., Белоусов Г.А. Эффективность применения тампонажных материалов с полыми стеклянными микросферами // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2007. – № 4. – С. 33–41.

12. Щербаков Д.В. Существующие проблемы при цементировании скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 3. – С. 41–45.

13. Бакиров Д.Л., Бурдыга В.А., Святохов Д.С., Бурдыга И.С. Разработка облегченных тампонажных растворов для крепления кондукторов в условиях месторождений ООО «Лукойл – Западная Сибирь» // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 3. – С. 37–40. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мерзляков Михаил Юрьевич – аспирант, e-mail: merzlyackov.mihail@yandex.ru,

Яковлев Андрей Арианович – доктор технических наук, профессор,

e-mail: andre_a_yakovlev@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

APPLICATION OF CEMENT SLURRIES WITH MICROSPHERES IN CRYOLITHOZONE WELLS

Merzlyakov M.Yu.¹, Graduate Student, e-mail: merzlyakov.mihail@yandex.ru,

Yakovlev A.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: andre_a_yakovlev@mail.ru,

¹ National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Hole fixing in areas with harsh climate is a complex technical problem whose solution requires the use of special technical means and technological methods. During the construction of wells in such conditions lightweight cement slurries are widely used that minimize the risks of possible complications. From introduced into the cement slurries lightweight compounds, microspheres can be distinguished because they characterized by low density, high strength and low thermal conductivity values.

This article provides an overview of the microspheres commonly used in the practice of well cementing. It is noted that an additive in the cement slurry of microspheres reduces the density at a relatively low water demand, and cement stone formed with inclusion of the microspheres has a low thermal conductivity and enhanced fracture toughness.

Based on the analysis it is concluded that the input of microspheres allows to obtain a suitable cement stone for fixing wells in permafrost.

Key words: permafrost, cementing, cement slurries, lightweight additives, microspheres.

REFERENCES

1. Kazakov E.G., Karneeva N.S., Pakharukov I.Yu. *Territoriya neftegaz*. 2007, no 12, pp. 26–29.
2. Oreshkin D.V. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2008, no 1, pp. 50–53.
3. Oreshkin D.V., Frolov A.A., Ippolitov V.V. *Problemy teploizolyatsionnykh tamponazhnykh materialov dlya uslovii mnogoletnikh merzlykh porod* (Problems of heat insulation materials for backfill conditions perennial permafrost), Moscow, ООО «Nedra-Biznestsentr», 2004, 235 p.
4. Ovchinnikov P.V., Kuznetsov V.G., Frolov A.A. *Spetsial'nye tamponazhnye materialy dlya nizkotemperaturnykh skvazhin* (Special grouting materials for low-temperature wells), Moscow, ООО «Nedra-Biznestsentr», 2002, 115 p.
5. Teryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013, no 5, pp. 86–90.
6. Vyakhirev V.I., Ippolitov V.V., Oreshkin D.V. *Oblegchennyye i sverkhlegkie tamponazhnye rastvory* (Lightweight and super-lightweight cement slurries), Moscow, ООО «Nedra-Biznestsentr», 1999, 180 p.
7. Ryazanov Ya.A. *Entsiklopediya po burovym rastvoram* (Энциклопедия по буровым растворам), Orenburg, izdatel'stvo «Letopis'», 2005, 664 p.
8. Semenov V.S., Oreshkin D.V. *Visnik Donbas'koï natsional'noï akademii budivnitsstva i arkhitekturi*. 2009, no 5, pp. 83–86.
9. Pervushin G.N., Oreshkin D.V., Lyapidevskaya O.B. *Vestnik assotsiatsii burovykh podryadchikov*. 2006, no 1, pp. 10–12.
10. Detkov V.P., Khismatulin A.R. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2003, no 7, pp. 31–37.
11. Oreshkin D.V., Belousov G.A. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podryadchikov*. 2007, no 4, pp. 33–41.
12. Shcherbakov D.V. *Neft'. Gaz. Novatsii*. 2013, no 3, pp. 41–45.
13. Bakirov D.L., Burdyga V.A., Svyatukhov D.S., Burdyga I.S. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2013, no 3, pp. 37–40.



Горные инженеры способны на многое, а вот пользоваться плодами своих достижений не умеют.