

Башкуров А.Ю. (МГРИ-РГГРУ)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ОБЛЕГЧЕННОГО ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

В условиях рыночной экономики перед горными предприятиями стоит актуальная задача качественного строительства скважин, особенно получение в затрубном пространстве жесткого цементного камня, который обеспечит плановые показатели добычи. Необходимо получить легкий тампонажный цемент с необходимыми эксплуатационными свойствами из доступных дешевых материалов. Значительный интерес в качестве облегчающей добавки представляют алюмосиликатные полые микросферы. Целью работы является выбор оптимального состава облегченного тампонажного раствора для цементирования скважин и анализ влияния различных реагентов на качество образования цементной крепи, т.е. повышение качества цементирования.
Ключевые слова: алюмосиликатные микросферы, цементирование.

Bashkurov A.Yu. (MGRI-RGGRU)

THE CHOICE OF OPTIMAL COMPOSITION OF LIGHT WEIGHT CEMENT SLURRY FOR

In conditions of market economy the mining industry is a topical problem of the quality of well construction, especially getting in the annulus of a hard cement, which will ensure planned production figures. You need to light backfill cement the required performance properties of the available, cheap materials. Of considerable interest as additives to facilitate represent aluminosilicate hollow microspheres. The aim of this work is to determine the optimal composition of the lightweight cement slurry for cementing wells and analyze the effect of various reagents on the quality of education of the cement lining, that is, improving the quality of cementing.
Keywords: aluminosilicate microspheres, cementation.

При существующей технологии крепления скважин завершающим и наиболее ответственным этапом является разобшение пластов, от качества выполнения которого в значительной степени зависит успешное строительство скважины. Разобшение пластов — это совокупность операций и процессов, проводимых для закачки тампонажного раствора в затрубное пространство (т.е. в пространство за обсадной колонной) с целью создания там надежной изоляции в виде плотного материала, образующегося со временем в результате отвердения тампонажного раствора [1].

Цементный камень, находящийся за обсадной колонной, должен обладать достаточной непроницаемостью и прочностью, а также иметь хорошее сцепление с поверхностью обсадных труб и со стенками ствола скважины. Поскольку цементный камень должен оставаться устойчивым и прочным на протяжении

В целом предлагается следующий последовательный поэтапный порядок проведения исследований по разработке промышленных рентабельных технологий по извлечению редких металлов из минерального сырья и техногенных отходов.

На первом этапе проводится прогнозная геолого-экономическая оценка объектов (минерального сырья и его отходов), позволяющая выбрать объекты, перспективные для извлечения стратегически важных металлов.

На втором этапе для этих объектов определяются перспективные методы извлечения редких металлов. Физико-химические основы этих методов позволяют разрабатывать экономически эффективные технологии переработки минерального сырья и его отходов, безопасные для окружающей среды.

На третьем этапе проводится разработка технологий по извлечению стратегически важных редких металлов.

На четвертом этапе выбираются инновационные технологии извлечения редких металлов. Выбор технологий должен проводиться на основе принципа оптимальности в рамках теории устойчивого развития, с учетом получаемых экономического, социального и экологического эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беневольский, Б.И. Минерально-сырьевой потенциал — базовый элемент экономического суверенитета и национальной безопасности России / Б.И. Беневольский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2005. — № 5. — С. 39–42.
2. Беневольский, Б.И. Два аспекта проблемы утилизации горнопромышленных отходов / Б.И. Беневольский, А.И. Кривцов, А.И. Романчук, Б.К. Михайлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 1. — С. 37–42.
3. Быховский, Л.З. Редкометалльное сырье России: перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Л.З. Быховский, Н.А. Архипова // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 11. — С. 26–30.
4. Быховский, Л.З. Стратегическое минеральное сырье: пути решения проблемы дефицита / Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 5. — С. 43–49.
5. Быховский, Л.З. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 4. — С. 15–20.
6. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С.И. Арбузов [и др.]. — Томск: Изд-во «Д-Принт», 2007. — 468 с.
7. Панфилов, Е.И. О состоянии и путях развития минерально-промышленного комплекса России / Е.И. Панфилов // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 1 (69). — С. 3–15.
8. Салихов, В.А. Геолого-экономическая и экономическая (стоимостная) оценка цветных и редких металлов, содержащихся в углях и золошлаковых отходах углей / В.А. Салихов // Вестник Томского государственного университета. Экономика. — 2014. — № 1 (25) — С. 123–128.
9. Салихов, В.А. Специфические особенности экономической оценки цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях / В.А. Салихов, О.С. Краснов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 6 — С. 42–46.
10. Салихов, В.А. Экономическая оценка и комплексное использование попутных полезных компонентов углей и золошлаковых отходов углей (на примере Кемеровской области): монография / В.А. Салихов; НФИ КемГУ. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 224 с.

© Краснов О.С., Салихов В.А., Король Л.Н., 2019

Краснов Олег Сергеевич // Okrasnov@vngri.ru
 Салихов Валерий Альбертович // Salihov-VA@yandex.ru
 Король Леонид Николаевич // korol.lenya@yandex.ru

всего срока эксплуатации скважины, к нему предъявляются особые требования. Кроме того, это обуславливается еще и многообразием функций цементного камня:

- плотное заполнение пространства между обсадной колонной и стенками ствола скважины;
- изоляция и разобщение продуктивных нефтегазоносных горизонтов и проницаемых пластов;
- предупреждение распространения нефти или газа в затрубном пространстве под влиянием высокого пластового давления;
- закоривание обсадной колонны в массиве горных пород;
- защита обсадной колонны от коррозионного воздействия пластовых вод и некоторая разгрузка от внешнего давления.

Существует ряд отрицательных факторов, влияющих на устойчивость цементного камня. Исходя из этого, процесс цементирования должен позволять решать следующие задачи:

- исключать возможность перетоков жидкости из одного пласта в другой;
- обеспечивать длительную изоляцию продуктивных пластов от водоносных;
- удерживать обсадную колонну в подвешенном состоянии;
- укреплять неустойчивые, склонные к обвалам и осыпям породы;
- предохранять обсадную колонну от коррозии;
- создавать долговечный прочный и герметичный канал для транспортировки жидкости от эксплуатационных пластов к дневной поверхности;
- исключать возможность загрязнения недр окружающей среды.

Именно цементирование, вторичное вскрытие продуктивных пластов и освоение во многом закладывают будущий дебит скважины.

На качество цементирования объекта влияют многие факторы: геологический состав пласта, выбор и соблюдение технологии закачки тампонажного раствора в скважину и, самое главное, состав используемого раствора. В этой связи особую важность приобретают проблемы разработки новых и совершенствование существующих рецептур тампонажных растворов и цементных композиций, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям.

Наиболее важным свойством цемента является его плотность. Применение облегченных цементных растворов повышает качество цементировочных работ и сокращает осложнения с обсадными трубами. Чем меньше плотность цемента, тем легче закачать его на большие глубины. Из портландцементов с малой плотностью получают более легкие изоляционные составы с высокой прочностью цементного камня [2].

Решаемая техническая задача состоит в том, чтобы выбрать оптимальный состав облегченного тампонажного раствора для качественного цементирования и обосновать экономическую эффективность внедрения предлагаемых компонентов смеси.

Значительный интерес в качестве облегчающей добавки представляют алюмосиликатные полые микросферы (АСМ).

Технология использования микросфер для получения облегченных цементных материалов уже давно известна в мире, однако до последнего времени ее широкое использование ограничивалось высокой ценой на искусственные микросферы, реализуемые западными производителями.

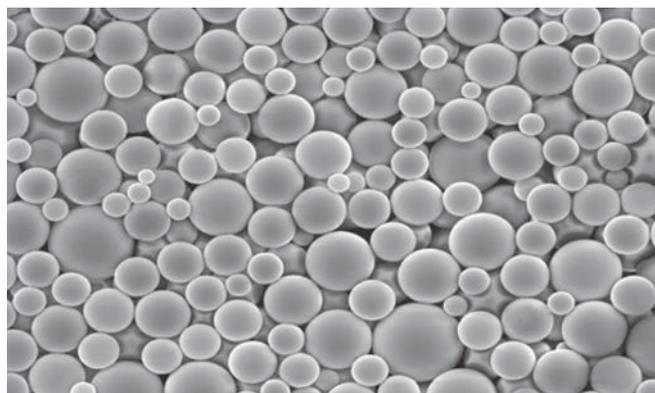
Предлагаемые алюмосодержащие микросферы являются побочным продуктом, образующимся при сжигании угля и их цена на порядок ниже предлагаемых аналогов.

На сегодняшний день ряд ведущих российских горных компаний уже перешли на использование облегченных тампонажных составов с алюмосодержащими микросферами отечественного производства. Их опыт свидетельствует, что использование данной технологии дает двойной положительный эффект: уменьшение капитальных затрат при одновременном улучшении качества цементирования скважин.

Алюмосодержащие структуры — стеклокристаллические алюмосиликатные шарики, которые образуются при высокотемпературном (свыше 1500 °С) факельном сжигании каменного угля на ТЭЦ. Они являются самыми ценными компонентами зольных отходов тепловых электростанций. Представляют собой полые, почти идеальной формы силикатные шарики с гладкой поверхностью, диаметром от 10 до нескольких сотен микрометров, в среднем около 100 мкм (рисунок). Стенки — сплошные непористые с толщиной от 2 до 10 мкм, температура плавления 1400–1500 °С, плотность 580–690 кг/м³. Составляют микросферы порядка 2 % от общей массы образующихся зол. Смываются водой вместе со всей золой в так называемые золоотвалы. Собирают алюмосодержащие структуры, которые сами всплывают из болотины, т.е. золоотвала.

Выпускаются данные микросферы по ТУ 21-22-37-94 и представляют собой правильные сферы со сплошными непроницаемыми стенками, внутренняя полость которых заполнена азотом и двуокисью углерода (N₂ ~ 30 %, CO₂ ~ 70 %).

По химическому составу оболочки микросферы представляют собой в основном окислы алюминия



Внешний вид алюмосиликатных микросфер

Таблица 1
Параметры алюмосиликатных микросфер

Цвет	серый
Форма	сферическая
Влажность	0,2 %
Размер частиц	не более 500 мкм
Толщина стенки	2–10 мкм
Плотность	580–690 кг/м ³
Прочность сжатия	15-29 МПа
Температура плавления	1400-1600 °С
pH в воде	6–6,6
Твердость по Моосу	6

и кремния в сочетании с небольшими количествами окислов железа, кальция, магния, натрия и др. Благодаря такому составу оболочки, АСМ могут участвовать в формировании структуры цементного камня и способствуют дополнительному повышению его прочности. Алюмосиликатные микросферы соответствуют параметрам, приведенным в табл. 1.

АСМ используется для создания теплоизоляционной радиопрозрачной керамики, которая имеет достаточно высокий уровень прочности, малую объемную массу, низкий коэффициент теплопроводности и высокую радиопрозрачность. Минеральные наполнители имеют более высокую насыпную плотность, чем АСМ (насыпная плотность минеральных наполнителей больше плотности АСМ в 4 раза). Для того чтобы выдерживать необходимые технологические процедуры получения товарного продукта АСМ имеют достаточно высокую механическую прочность. АСМ — удивительно легкий наполнитель, он на 75 % меньше по весу других минеральных наполнителей, и это обеспечивает удобство использования, снижает затраты на логистику (транспортировку).

Твердая поверхность микросфер обеспечивает их высокую устойчивость к эрозии. Стекловидная оболочка микросферы полностью непроницаема для жидкостей и газов.

Алюмосодержащие микросферы более прочны (по некоторым данным от трех до десяти раз), чем большинство полых искусственных стеклянных микросфер (имеют более высокий предел прочности при сжатии, благодаря более прочной оболочке).

Сферы обеспечивают минимальное отношение площади поверхности к занимаемому объему и наиболее компактную укладку (для неоднородных по размерам шариков коэффициент заполнения ими может приближаться к 1).

Учитывая этот приведенный разброс размеров несортированных АСМ, коэффициент укладки составляет 80–90 % от теоретического. Следовательно, форма частиц микросфер как наполнителя позволяет изменять вязкость полимерных материалов и резин, облегченных цементов.

Микросферы имеют высокую температуру плавления (1400–1600 °С), а также низкую теплопроводность порядка 0,08–0,11 Вт/м, что, в свою очередь, позволя-

ет их широко использовать в качестве изоляционного материала для огнеупорной керамики, геотермических цементов, нефтепроводов, отделочного и штукатурного гипса для изоляции внешних стен зданий и во многих других случаях, когда требуется хорошая термоизоляция. Материал достаточно хорошо выдерживает циклические нагрузки, которые возникают при переходе через 0 °С, что говорит о морозостойкости.

Применение АСМ позволяет решать множество технических проблем, таких как снижение веса при низкой теплопроводности, высокая прочность и экономия объема, повышенная устойчивость к эрозии и агрессивным средам.

Следует выделить преимущества применения АСМ в промышленности перед другими наполнителями, которые выражаются в следующем:

1. Жесткое сцепление цементного камня с породой и металлом.
2. Низкая плотность, возможность снизить удельный вес цементного раствора и как следствие — снижение репрессии на продуктивный пласт, снижение проникновения фильтрата в продуктивную зону пласта, обеспечение заданной высоты подъема цемента.
3. Малая усадка раствора, соответственно улучшенные связи пласта с обсадными трубами скважины.
4. Простота смешивания раствора. Облегченный цемент можно готовить непосредственно на буровой, замешивая микросферы с цементом в сухом виде. Для этого может использоваться любой стандартный смеситель.
5. Экономичность. Снижение затрат за счет отказа от технологии двухступенчатого цементирования для скважин до 4000 м и уменьшения времени обустройства скважины.

Облегченный цемент на основе АСМ позволяет при цементировании скважин снять осложнения, возникающие при обычном цементировании, улучшить качество цементирования благодаря хорошему сцеплению цементного камня с породой и трубами, повысить прочность камня в условиях контакта с породой, увеличить дебит скважины (исключение межпластовых перетоков и газоводопроявления), экономить цемент при частичной замене его АСМ, исключить смятие колонн, снизить стоимость цементировочных работ, улучшить охрану недр и окружающей среды.

На основании исследований физико-механических свойств алюмосиликатных микросфер высказано предположение, что вследствие высокой дисперсности микросферы являются центрами кристаллизации в цементном растворе, способствующими уменьшению энергетического барьера для осуществления процессов гидратации и кристаллизации новообразований, ускорению процессов твердения цементного раствора. Кроме того, наличие силикатной и алюмосиликатной фаз в составе вводимой добавки способствует ее участию в формировании структуры цементного камня и приводит к дополнительному повышению прочности.

Фактор активного влияния микросфер на процессы гидратации может оказывать и отрицательное влияние

на конечные технологические параметры АСМ, поскольку при сочетании с сильным ускорителем CaCl_2 начало формирования кристаллизационной структуры в растворе может происходить в более короткие сроки, совпадающие по времени с выполнением процесса цементирования.

Выявлено, что разрушение кристаллизационной структуры на стадии ее зарождения и развития приводит к снижению прочности цементного камня. Прочность цементного камня в затрубном пространстве также будет понижена, если процесс цементирования (по времени) захватил кристаллизационный период формирования структуры.

В связи с этим в лаборатории цементных растворов филиала «Тюменбургаз» были выполнены специальные исследования по оценке влияния длительности перемешивания на свойства АСМ и прочностные характеристики камня на момент окончания ожидания затвердевания цемента (через 48 часов) в зависимости от типа реагента — ускорителя и времени перемешивания (от 3 до 180 мин.).

В результате исследований установлено, что основные показатели цемента с использованием алюмосиликатных микросфер, а именно технологические (водоотделение, прочность цементного камня на изгиб, сроки твердения), затворенного на растворе хлористого кальция, в большей степени зависят от времени перемешивания. В свою очередь, длительность безопасного перемешивания АСМ определяется концентрацией хлористого кальция в жидкости затворения и составляет не более 60–90 мин. для суспензий, приготовленных с использованием 4–6-процентных растворов CaCl_2 .

При более длительном воздействии на растворы отмечается увеличение сроков схватывания на 30–40 % и снижение 2-суточной прочности цементного камня на 50–70 %.

Положительным моментом длительного перемешивания АСМ с CaCl_2 является уменьшение коэффициента водоотделения до нулевых значений по сравнению с пробами, отобранными сразу после приготовления, а также улучшение стабильности растворов.

Таким образом, на основе анализа рецептов облегченных цементных растворов с применением АСМ был выявлен его оптимальный состав с лучшими качественными показателями и прочностными характеристиками.

Предлагаемая цементная смесь представлена следующими компонентами:

- сухоложский ПТЦ в качестве вяжущей основы;
- микросферы алюмосиликатные в качестве облегчающей добавки;
- порошок магнетитовый каустический в качестве расширяющей добавки;
- раствор хлорида натрия в качестве добавки, ускоряющий сроки схватывания цементной смеси.

Предложенный облегченный цементный раствор с применением АСМ целесообразно применять для крепления достаточно глубоких вертикальных скважин. Кроме того, он позволяет выбрать наиболее вы-

Таблица 2

Расчет экономического эффекта от разработки и применения облегченного цемента с применением АСМ на 1 скважину

Показатели	Величина
	1 год
1. Эксплуатационные затраты, тыс. руб.:	
ранее применяемый цемент	1594,02
цемент с применением АСМ	1184,0
2. Прирост балансовой прибыли (уменьшение затрат при строительстве и эксплуатации 1 скв.), тыс. руб.	4120,0
3. Прирост прибыли (30 % составляют нормативные отчисления), тыс. руб.	2884,02
4. Прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия, тыс. руб.	2684,0
5. Экономический эффект, тыс. руб.	2595,8

годный, простой в использовании и экономически эффективный способ цементирования — сплошное цементирование с одной пробкой. Это достигается за счет того, что сам раствор, ввиду своей низкой плотности, достаточно легко будет закачиваться в обсадную колонну, а также без труда продавливаться с помощью одной верхней пробки в заколонное пространство и подниматься на требуемую высоту.

Для подтверждения экономической эффективности использования цементных растворов на основе АСМ необходимо сравнить технико-экономические показатели применения облегченного цемента с использованием АСМ и показатели ранее применяемого тампонажного цемента.

Экономический эффект от использования облегченного цемента с применением АСМ определяется снижением затрат на строительство скважин и проведение капитальных ремонтов скважин за счет сокращения среднегодового количества капитальных ремонтов в расчете на одну добывающую скважину после применения данного мероприятия.

Экономический эффект от применения нового цементного раствора на строительство и эксплуатацию одной скважины по базовому и новому предложенному варианту приводится в табл. 2.

В результате внедрения облегченных цементных растворов с применением алюмосодержащих структур предприятие увеличивает среднесуточный дебит нефти по одной скважине на 11 %. Таким образом, следует отметить, что качество цементирования может быть улучшено применением компонентов на основе алюмосиликатной микросферы и позволяет предприятию обеспечить экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учеб. пособие для вузов / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков. — М: Недра, 1999. — 424 с.
2. Ивачев, Л.М., Промывочные жидкости и тампонажные смеси: Учеб. для вузов / Л.М. Ивачев — М: Недра, 1987. — 242 с.

© Башкуров А.Ю., 2019

Башкуров Артем Юрьевич // Bashkurov_A@inbox.ru