

А.К. Шоканов, Б.Т. Сулейменов, Е.А. Смихан

Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы

ПРОПАНТЫ НА ОСНОВЕ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

Аннотация: В данной статье описываются результаты исследования пропантов – расклинивающих гранул, применяемых при добыче нефти и газа с помощью гидравлического разрыва пласта. Технический результат, получаемый при реализации разработанного пропанта, состоит в получении частиц пропанта с высокими эксплуатационными характеристиками и низкой себестоимостью, использование которого приводит к уменьшению себестоимости добываемого флюида. Представлены сведения о пропантах. Предложенная технология относится к материалам керамического пропанта с более легким весом (то есть более низкой плотности), содержащим значительную долю летучей золы. Приводятся данные о преимуществах использования летучей золы в качестве материала для изготовления пропантов. Излагаются методы получения пропанта на основе боксита, летучей золы, кварцевого песка и глины, имеющие низкий удельный вес и высокую прочность.

Ключевые слова: пропант, прочность, твердость, боксит, летучая зола, гидравлический разрыв пласта, напряжении сжатия.

Гидравлический разрыв пласта – это процедура, которая может увеличить поток нефти или газа из скважины. Это делается путем перекачивания жидкостей вниз по скважине в подземные горные сооружения под давлением, которые достаточно высоки, чтобы разрушить породу. Целью является создание сети взаимосвязанных переломов, которые будут служить поровыми пространствами для перемещения нефти и природного газа в скважину. Для этой цели в большинстве случаев применяются пропанты на основе различных соединений – боксита, глины и песка и т.д. Пропанты, проникая с жидкостью гидроразрыва в трещины и заполняя их, создают прочный расклинивающий каркас с высокой проницаемостью для нефти и газа. Пропанты отличаются способностью выдерживать высокие пластовые давления и противостоять агрессивной среде при высоких температурах [1].

Желательно, чтобы такие материалы расклинивающего наполнителя были очень стойкими к ударам (так что силы, воздействующие на них трещинами по мере их закрытия, не раздавливали их, что позволило бы закрыть трещины) и иметь относительно низкий удельный вес (так что они могут легко транспортироваться в трещины жидкостью, закачиваемой в скважину). Эти два свойства часто могут несколько расходиться друг с другом, поскольку увеличение сопротивления раздавливанию обычно приводит к тому, что материал становится более плотным.

Современные материалы, используемые для закрепления трещин в раскрытом состоянии – пропанты – можно разделить на два вида – кварцевые пески и синтетические пропанты средней и высокой прочности.

К физическим характеристикам пропантов, которые влияют на проводимость трещины, относятся такие параметры, как прочность, размер гранул и гранулометрический состав, качество (наличие примесей, растворимость в кислотах), форма гранул (сферичность и округлость) и плотность.

Первым и наиболее широко используемым материалом для закрепления трещин являются пески, плотность которых составляет приблизительно $2,65 \text{ г/см}^3$. Среднепрочными являются керамические пропанты плотностью $2,7...3,3 \text{ г/см}^3$. Сверхпрочные пропанты, такие как спеченный боксит и окись циркония, используются при напряжении сжатия до 100 МПа, плотность этих материалов составляет $3,2...3,8 \text{ г/см}^3$. Использование сверхпрочных пропантов ограничивается их высокой стоимостью.

Кроме того, в США применяется так называемый суперпесок – кварцевый песок, зерна которого покрыты специальными смолами, повышающими прочность и препятствующими выносу частиц раскрошившегося пропанта из трещины (рис. 1). Плотность суперпеска составляет $2,55 \text{ г/см}^3$. Производятся и используются также синтетические смолопокрытые пропанты.



Рисунок 1 – Проппант из супер песка

Прочность является основным критерием при подборе проппантов для конкретных пластовых условий с целью обеспечения длительной проводимости трещины на глубине залегания пласта. В глубоких скважинах минимальное напряжение – горизонтальное, поэтому образуются преимущественно вертикальные трещины. С глубиной минимальное горизонтальное напряжение возрастает приблизительно на 19 МПа/км. Поэтому по глубине проппанты имеют следующие области применения: кварцевые пески – до 2500 м; проппанты средней прочности – до 3500 м; проппанты высокой прочности – свыше 3500 м.

Исследования последних лет, проведенные в США, показали, что применение проппантов средней прочности экономически эффективно и на глубинах менее 2500 м.

В последние годы зарубежные фирмы стали выпускать облегченные проппанты, характеризующиеся пониженной плотностью.

В связи с большим разнообразием жидкостей разрыва и проппантов, имеющих на американском рынке, Американским нефтяным институтом (API) разработаны стандартные методики для определения свойств этих материалов (API RP39; Prud'homme, 1984, 1985, 1986 – для жидкостей разрыва, и API RP60 – для проппантов).

Проппанты, закачиваемые в разные области трещины, могут различаться не только по фракционному составу, но и по плотности. В последние годы нашли применение технология массивированного ГРП, когда в трещину закачивается сначала легкий среднепрочный проппант, а затем тяжелый более качественный высокопрочный проппант.

Легкий проппант дольше поддерживается во взвешенном состоянии в транспортирующей его жидкости, поэтому может быть доставлен на более далекое расстояние вдоль крыльев трещины. Закачка на завершающей стадии ГРП более тяжелого высококачественного проппанта позволяет с одной стороны обеспечить сопротивление сжатию в области наиболее высоких напряжений около забоя, и с другой снизить риск неудачи операции на завершающей стадии, так как легкий проппант уже доставлен в трещину. Поскольку материалы проппанта обычно продаются по весу, а не по объему, материал проппанта, имеющий относительно низкую плотность, фактически будет иметь более низкую эффективную стоимость для пользователя. Также желательно, чтобы частицы проппанта были относительно сферическими, чтобы максимизировать промежутки между частицами проппанта и легкость, с которой жидкости будут проходить через такие пространства. В зависимости от материала расклинивающего наполнителя измельчение частиц расклинивающего наполнителя может привести к образованию многих очень мелких частиц, которые могут блокировать некоторые промежутки между оставшимися большими частицами проппанта, уменьшая способность жидкостей проходить через эти пространства. Соответственно, желательно, чтобы при превышении прочности пропилы материала расклинивающего наполнителя частицы проппанта разрывались на несколько относительно крупных фрагментов, а не измельчали. В зависимости от применения могут использоваться различные размеры частиц проппанта, хотя желательно, чтобы частицы проппанта были относительно однородного размера.

Одним из компонентов часто используемой проппантов является боксит. Боксит это обычная алюминиевая руда. Боксит состоит в основном из одного или нескольких минералов гидроксида алюминия, а также различных смесей диоксида кремния (SiO_2), оксида железа, оксида титана (TiO_2), алюмосиликата и других примесей в незначительных количествах. Спеченный боксит использовался в прошлом в качестве материала расклинивающего наполнителя, потому что частицы, сделанные по существу из бокситов при спекании, образуют относительно твердый, устойчивый к давлению материал. Однако боксит имеет относительно высокий удельный вес, а спеченный боксит считается относительно тяжелым (то есть более высокой плотностью) керамическим материалом

пропанта. Кроме того, требования к качеству бокситов, используемых для изготовления спеченного материала бокситового расклинивающего наполнителя, очень строгие. Есть только относительно мало источников бокситов, которые подходят для производства спеченного материала бокситового расклинивающего наполнителя из-за примесей, присутствующих в большинстве бокситов (рис. 2).



Рисунок 2 – Проппант на основе боксита

Летучая зола была предложена в качестве составного материала для использования в бетоне или строительных материалах, как компонента расклинивающего наполнителя [4].

Прошлые попытки сделать материал из керамического пропанта, содержащий значительное количество летучей золы, потерпели неудачу [5]. Агрегат, образованный агломерирующими брикетами, содержащий летучую золу, а затем дробленые в брикеты и скрининг измельченных частиц для получения частиц подходящего размера, не является удовлетворительным для использования в качестве материала расклинивающего наполнителя. Формы частиц, образованных измельчением, настолько нерегулярны, что они недостаточно сферические, чтобы создать хороший материал пропанта, а нерегулярные формы частиц также уменьшают сопротивление их раздавливанию [3].

Частица, которая подходящим образом способна разрушиться, чтобы служить в качестве расклинивающего наполнителя, получена спеканием сферических гранул, образованных из смеси летучей золы, бокситов и глины. Для достижения требуемой степени сопротивления раздавливанию стадия спекания выполнялась при температуре выше положенной, что обычно приводит к тому, что такие гранулы становятся очень липкими в результате плавления некоторых компонентов материалов в смеси, в частности один или несколько компонентов (включая примеси в) летучей золы. Если гранулы становятся слишком липкими во время стадии спекания, они будут агломерироваться, что приводит к плохим выходам частиц однородного размера определенного размера. Кроме того, чрезмерная липкость приведет к тому, что гранулы будут прилипать к печи, в которой они спекаются, уменьшая выход и повреждая печь.

Предложенная нами технология относится к материалам керамического пропанта с более легким весом (то есть более низкой плотности), содержащим значительную долю летучей золы (рис. 3).

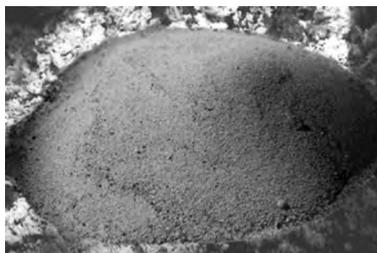


Рисунок 3 – Летучая зола

Летучая зола содержит мелкие частицы, которые поднимаются вместе с дымовыми газами, а в промышленном применении обычно относятся к зольным частицам, образующимся при сжигании угля. Компоненты летучей золы значительно варьируются, но все летучие золы содержат значительные количества диоксида кремния (SiO_2), а в некоторых случаях значительные количества оксида кальция (CaO) и / или оксида железа (Fe_2O_3), которые являются компонентами многих углей -разрушающие горные породы. Другие компоненты летучей золы зависят от конкретного состава угольного пласта.

Преимущество использования летучей золы состоит в том, что она имеет относительно низкую плотность по сравнению с бокситом (удельный вес боксита может

варьироваться от 2,5 до 3,5 в зависимости от его конкретного состава, тогда как удельный вес летучей золы может варьироваться от примерно 2,0 до 2,5).

Кроме того, удаление летучей золы становится все более серьезной проблемой со значительными экологическими последствиями, что делает возможными рециркуляцию летучей золы. В настоящее время большинство летучей золы, добываемой на угольных электростанциях, утилизируется на полигонах и зольных прудах. В настоящее время единственная самая большая утилизация для летучей золы заключается в замене части содержания цемента Портленда в бетоне. Настоящая технология позволяет рециркулировать отходы летучей золы в материал, который полезен при операциях ГРП в нефтяных и газовых скважинах. Более того, хотя требования к качеству бокситов, используемых для изготовления спеченного материала бокситового проппанта, являются очень строгими, боксит, используемый в настоящей технологии, не должен быть такого высокого качества.

Материалы расклинивающего наполнителя, полученные по такой технологии обладают относительно высокой устойчивостью к раздавливанию и относительно низкой плотностью и относительно недороги. Кроме того, когда частицы расклинивающего наполнителя, получаемые с подобной технологией, терпят неудачу, она имеет тенденцию к разлому в относительные несколько крупных кусочков, а не измельчение [2].

Предложенная нами методика изготовления материала проппанта, в котором летучая зола является значительным компонентом конечного продукта, предпочтительно основного компонента материала проппанта. Материал проппанта имеет ядро, содержащее летучую золу, боксит и глину, или в некоторых случаях летучую золу и глину. Чтобы предотвратить чрезмерную липкость на поверхности гранул при нагревании до температуры спекания, основные гранулы (содержащие значительное количество летучей золы) покрыты бокситом. В некоторых вариантах осуществления гранулы ядра получали путем нескольких покрытий бокситов, что улучшает адгезию покрытия к основной грануле по сравнению с частицей, получаемой однослойным покрытием. В других вариантах осуществления сердцевинные гранулы покрыты одним или несколькими слоями бокситов, но нанесение боксита происходит в виде порошкообразной бокситовой суспензии, в которой порошкообразный боксит смешивают с водой или другой подходящей жидкости.

Гранулы с покрытием затем нагревают до температуры прокаливания для удаления воды и других летучих материалов, которые в противном случае содержатся в гранулах. После прокаливания гранулы нагревают до температуры спекания с образованием высокопрочных керамических частиц проппанта, имеющих относительно низкую плотность.

В соответствии с указанными отличительными признаками получен проппант с низкой насыпной плотностью 1,07-1,15 г/см³ и пикнометрической плотностью – 1,71-2,07 г/см³. Использование золы ТЭС с содержанием оксида железа не более 4%, а также покрытие гранул оболочкой – бокситом исключили чрезмерную липкость на поверхности гранул, что улучшило эффективность изготовления. Покрытие гранул оболочкой боксита повысило их прочность.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования КН МОН РК – **AP05130144**

Литература

1. Stimulation Treatment Handbook: An Engineer's Guild to Quality Control Penn Well, 1985.
2. Можжерин В.А., Сакулин В.Я., Мигаль В.П., Новиков А.Н., Салагина Г.Н., Штерн Е.А., Симановский Б.А., Розанов О.М. Проппант. Патент РФ №2482155. 20.05.2013.
3. Shinbach M.P., Culler S.R., Thurber E.L., Wallace J.T. Легкие пропанты и способ их получения. Патент США №7845409. 07.12.2010.
4. Н.И. Ватин., А.И. Калачев, П. Лахтинен. Применение зол и золшлаковых отходов в строительстве. Инженерно-строительный журнал, № 4, 2011.
5. Walter G. Luscher, John R.Hellmann, Barry E.Scheetz. Strength enhancement of Aluminosilicate aggregate through modified thermal treatment// Int.J.Appl.Ceram.Technol. – 2006.-3-157-165.

ҰШПА КҮЛ НЕГІЗІНДЕГІ ПРОППАНТ ӨНДІРУ

А.К. Шоканов, Б.Т. Сулейменов, Е.А. Смихан

Бұл мақалада мұнай және газ қабаттарын гидрожару кезінде қолданылатын, қабаттың арасында қалатын ұсақ түйіршіктер – проппанттарды дайындау әдістері сипатталады.

Өндірілген пропантты іске асыру нәтижесінде алынған техникалық нәтиже – эксплуатациялық өнімділігі жоғары және құны төмен пропант бөлшектерін алу және оны қолдану арқылы қабаттағы сұйықты өндіру құнын төмендету. Проппант туралы ақпарат, яғни тығыздығы, химиялық құрамы, сфералылығы және беріктілік қоры сияқты ақпарат ұсынылады. Ұсынылған технология жеңіл салмақты (яғни төменгі тығыздықпен), ұшпа күлдің айтарлықтай үлесін қамтитын керамикалық пропант материалдарына қатысты. Сонымен қатар пропантты дайындау үшін ұшпа күлді пайдаланудың артықшылықтары туралы мәліметтер келтіріледі. Тығыздығы аз және беріктілігі жоғары боксит, ұшпа күл, кварц құмы және балшық негізіндегі пропантты дайындау әдісі сипатталады.

Түйін сөздер: пропант, беріктілік, қаттылығы, боксит, ұшпа-күл, қабаттың гидравликалық жарылуы, сығылу кернеуі.

MANUFACTURING PROPPANTS ON THE BASIS OF VOLATILE ASH

A. Shokanov, B. Suleimenov, E. Smikhan

This article describes the methods for the production of proppants - proppants used in the extraction of oil and gas by the method of hydraulic fracturing. The technical result obtained by the implementation of the developed proppant is to obtain proppant particles with high performance and low cost, the use of which leads to a decrease in the cost of the produced fluid. Presents information about proppants. The proposed technology relates to materials of ceramic proppant with a lighter weight (i.e. lower density), containing a significant proportion of fly ash. The data on the advantages of using fly ash as a material for the manufacture of proppants are given. Outlines methods for producing proppant based on bauxite, fly ash, silica sand and clay, having a low specific weight and high strength.

Key words: proppant, strength, hardness, bauxite, volatile ash, hydraulic fracturing, compressive stress.

МРНТИ: 50.41.23

Б.Ж. Молдабеков¹, К.У. Зенкович²

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева

²Университет имени Шакарима города Семей

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В СОТОВЫХ СЕТЯХ

Аннотация: Рост мобильных устройств охватывает многие аспекты безопасности, начиная от защиты пользовательской информации, и заканчивая защитой провайдеров мобильной связи от мошеннического использования их услуг: клонирование SIM-карт, маршрутизация зарубежного трафика через собственные серверы злоумышленников и т.д. Основными требованиями к постепенно и неизбежно растущим мобильным сотовым сетям являются: высокая пропускная способность; низкие затраты капитала; низкие операционные расходы. Эти аспекты продиктованы требованиями высокоскоростного доступа к услугам связи за небольшие деньги. Поэтому технологии радиодоступа и сотовые сети постоянно развиваются и пытаются достичь более эффективного использования радиоресурсов. Одним из таких решений является обнаружение аномалий. В данной статье рассмотрены проблемы информационной безопасности Big Data в сетях оператора сотовой связи. А также особенности применения выявления аномалий в сотовых сетях.

Ключевые слова: Обнаружение аномалий, информационная безопасность, Big Data, сотовая связь, сигнатуры обнаружения.

Постоянный рост мобильных устройств охватывает многие аспекты безопасности, начиная от защиты пользовательской информации, и заканчивая защитой провайдеров мобильной связи от мошеннического использования их услуг: клонирование SIM-карт, маршрутизация зарубежного трафика через собственные серверы злоумышленников и т.д. Основными требованиями к постепенно и неизбежно растущим мобильным сотовым сетям являются: высокая пропускная способность; низкие затраты капитала; низкие операционные расходы. Эти аспекты продиктованы требованиями высокоскоростного доступа к услугам связи за небольшие деньги. Поэтому технологии радиодоступа и сотовые сети постоянно развиваются и пытаются достичь более эффективного использования радиоресурсов [1]. Однако, несмотря на растущее количество подобных угроз, большинство мобильных