

Щербин Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Евдокименко Дмитрий Сергеевич,
аспирант гр. ХТасп-21-1, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: evdockimencko.dima@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОПАНТОВ

Shcherbin S.A., Evdokimenko D.S.

THE USE OF LOCAL RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF PROPPANTS

Аннотация. В статье проанализированы перспективы и методы получения пропантов, приводится анализ возможности производства пропантов с использованием отходов промышленных предприятий Иркутской области.

Ключевые слова: технология гидроразрыва пласта, пропант, органоминеральное связующее, фенолформальдегидная смола.

Abstract. The article analyzes the prospects and methods of obtaining proppants, provides an analysis of the possibility of producing proppants using waste from industrial enterprises of the Irkutsk region.

Keywords: hydraulic fracturing technology, proppant, organo-mineral binder, phenol-formaldehyde resin.

Проблемы добычи и переработки жидких и газообразных природных энергоносителей привлекают в последнее время все большее внимание исследователей. Разведка и разработка залежей углеводородов в сложных трещинных природных резервуарах на Сибирской платформе сегодня обеспечивает значительный прирост извлекаемых запасов и их ускоренное освоение. Особую роль в повышении коэффициента извлечения нефти играет технология гидроразрыва пласта (ГРП) – опережающего закрепления фильтрующих трещин призабойной зоны пласта пропантами. Сущность данного инновационного метода повышения нефте- или газоотдачи пластов заключается в нагнетании в призабойную зону жидкости под высоким давлением, в результате чего в породе образуются трещины, закрепляемые с помощью пропантов [1].

Пропант – гранулированный мелкозернистый материал с диаметром частиц от 0,5 до 1,2 мм [2]. Он служит для предупреждения смыкания под действием горного давления трещин, создаваемых в ходе ГРП, и закачивается в скважину вместе с жидкостью разрыва. Основными материалами для производства пропантов являются песок, стекло, бокситы, сталь, керамика, силикаты, а также отходы растительного происхождения – молотая скорлупа грецких орехов, гранатов.

Более 60 % пропантов в России производится из силикатов. Технология производства состоит из пяти основных стадий: измельчение минерального сырья; гранулирование; сортировка; просеивание; закалка [3].

Некоторые стадии требуют орошения силикатов водой и последующей

сушки, что отражается на энергоемкости процесса и конечной цене продукции.

Наибольшее потребление пропантов характерно для стран с наиболее высокими объемами добычи нефти и числом проводимых операций ГРП. Безусловным лидером, как по добыче нефти, так и по проведению ГРП, является Россия. На втором месте по данным показателям находится Казахстан, на третьем – Азербайджан. Годовой объем рынка пропантов в России и странах СНГ составляет около 30 тыс. т.

Российский рынок пропантов составляет более 90% рынка пропантов стран СНГ и характеризуется стабильным ростом. Даже если объемы добычи не будут расти, то для поддержания их на текущем уровне необходимо применение технологии ГРП, которая невозможна без использования пропантов. Тенденции на рынке пропантов, как и перспективы его развития, напрямую зависят от нефтегазодобывающей промышленности как в России и странах СНГ, так и в других странах мира [3].

В ближайшие годы прогнозируется значительное увеличение спроса на пропанты со стороны США и некоторых других стран, планирующих приступить или уже приступивших к добыче сланцевого газа. В 2013 г. наибольшую долю в общем объеме импорта занимали два китайских производителя – Zhengding haihua petroleum proppant co., ltd и fujian raystone new material co., ltd с долями 59% и 36% соответственно. Эти же компании занимали наибольшую долю в общем объеме импорта в денежном выражении [3].

Применение песка в качестве пропанта при гидроразрыве пласта имеет ряд недостатков, связанных с его механическими свойствами. Песок обладает сравнительно большой плотностью (2600 кг/м^3), а значит, он будет осаждаться на пути к достижению самых отдаленных концов вновь образованной трещины гидроразрыва, что не позволит использовать максимальную длину трещины. Другим недостатком песка является его низкая механическая прочность, что приводит к его быстрому разрушению, которое вскоре проявит себя как вынос пропанта из скважины, а это, в свою очередь, создает проблему пескопроявлений и потери геомеханической устойчивости пласта-коллектора. Решение обеих этих проблем дорогостоящее, что заставляет нефтедобывающие компании искать альтернативу традиционным пропантам из песка.

Альтернативным материалом для изготовления пропантов является керамика. Однако стоимость керамических пропантов колеблется в интервале 489-1630 \$ за тонну, при этом цена кварцевого песка составляет 100-170 \$ за тонну [4]. Эти показатели объясняют проблемы конкурентной способности керамических пропантов на мировом рынке расклинивающих агентов, применяемых при ГРП.

Пропанты, применяющиеся на значительной глубине, должны обладать высокой прочностью на сжатие. Они представляют собой инертное ядро из высокопрочного материала (используются алюминиевые сплавы, керамика, стек-

ло), покрытое полимерным материалом. Покрытие защищает зерно пропанта от разрушения при воздействии агрессивных сред и больших циклических нагрузок. Под влиянием давления и температуры покрытие образует прочный каркас пропантной пачки, позволяющий удерживать пропант от обратного выноса.

В качестве материала покрытия пропанта могут применяться специально подобранные фенолформальдегидные смолы. Такое покрытие позволяет использовать пропант в скважинах глубиной более 3000 м. За счет полимеризации покрытия под воздействием высоких температур и давления в трещине происходит прочное сцепление пропантов, формируется единый пористый каркас, сцементированный смолой. В результате упаковка более равномерно воспринимает нагрузку и может выдерживать давление до 70 МПа (обычный песок до 42 МПа) [5]. Под влиянием давления и температуры покрытие образует прочный каркас пропантной пачки, позволяющий удерживать пропант от обратного выноса и предотвращающий вдавливание отдельных зерен в стенки трещины. Преимуществом является также наличие прочной оболочки вокруг зерна, что исключает засорение упаковки продуктами разрушения зерен пропанта. При этом сохраняется высокое значение проницаемости даже при воздействии на полимерно-покрытые пропанты высоких давлений [6].

Таким образом, поиск новых материалов для изготовления пропантов и разработка технологий их производства являются актуальными научно-техническими задачами.

Для придания сферической формы и коррозионной устойчивости частицам пропанта на основе местного минерального сырья может быть применена лигнинфенолформальдегидная смола, приготовленная с использованием крупнотоннажного отхода целлюлозно-бумажного производства – шлам-лигнина из карт-накопителей Солзанского полигона ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» [7-9].

За годы работы комбината накопилось огромное количество отходов – около 3,5 млн. м³, которые хранятся в так называемых картах-накопителях. Эти отходы представляют собой обводненный шлам-лигнин, содержащий ароматические соединения – 50-53 %; активный ил – 15-25 %; глинозем – 5-10 %; полиакриламид – 5 %; целлюлозное волокно – 5 %) [10]. Расстояние от карт-накопителей до береговой зоны озера Байкал составляет порядка 200 метров, а попадание компонентов шлам-лигнина в воду озера (например, при землетрясении или в период весенних паводков) может привести к катастрофическим последствиям для флоры и фауны Байкала.

Технологический цикл производства пропантов будет включать пять основных стадий:

- механическое измельчение минерального сырья для получения частиц заданного дисперсного состава;
- получение термореактивного связующего на основе модифицирован-

ных шлам-лигнином фенолформальдегидных смол;

- покрытие частиц пропанта органоминеральным связующим;
- грануляция и сушка пропанта;
- рассев.

Такая технология производства позволит получить пропанты требуемой сферической формы с заданными значениями механической прочности.

Кроме того, переработка шлам-лигнина в органоминеральное связующее позволит в перспективе существенно уменьшить антропогенную нагрузку на экосистему озера Байкал, что является актуальной задачей для улучшения экологической обстановки в Иркутской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Харахинов, В.В.** Трещинные резервуары нефти и газа / В.В. Харахинов, С.И. Шленкин. – М.: Научный мир. – 2015. – 284 с.
2. ГОСТ Р 54571-2011. Пропанты магнезиально-кварцевые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2013.
3. Маркетинговое исследование рынка пропантов URL:<https://www.megaresearch.ru/issledovaniya/syre/drugoe/25390> (дата обращения: 16.04.2025).
4. **Можжерин, А.В.** Керамический пропант или песок? / А.В. Можжерин, А.Ю. Коржавин // Сфера. Нефть и газ. – 2018. – № 2 (64). – С. 20-23.
5. **Константинов, С.В.** Техника и технология проведения гидравлического разрыва пласта за рубежом / С.В. Константинов, В.И. Гусев. – М.: ВНИИОЭНГ. Обзорная информация. Сер. Нефтепромысловое дело, 1985. – 60 с.
6. **Муравьев, Е.Л.** Повышение прочности огнеупорных гранул путем нанесения силикатных защитных покрытий / Е.Л. Муравьев, Г.Д. Янкин // Стекло и керамика. – 2002. – №10. – С. 37-38.
7. **А. С. № 441268 СССР, МПК C08G 5/06 (1990.01).** Способ получения фенолформальдегидных смол : № 1317036/23-5 : заявл. 31.03.1969 : опубл. 30.08.1974 / Иваненко А. Д., Никитин В. М. – заявитель Ленинградская ордена Ленина лесотехническая академия им. С.М. Кирова. – 2 с.
8. **Иваненко, А.Д.** Шлам сточных вод сульфатно-целлюлозного производства – сырье при получении смол для склеивания фанеры / А.Д. Иваненко, В.М. Никитин // Химическая и механическая переработка древесины и древесных отходов. Межвуз. сб. науч. тр. – 1977, вып. 3. – С. 49–52.
9. **Иваненко, А. Д.** Шлам сточных вод сульфатно-целлюлозного производства / А.Д. Иваненко // Химическая переработка древесного и недревесного сырья. Межвуз. сб. науч. тр. – 1989. – С. 52–54.
10. **Щербин, С.А.** Варианты утилизации содержимого картосадконакопителей Байкальского целлюлозно-бумажного комбината / С.А. Щербин, Д.С. Евдокименко, Т.В. Раскулова, Н.Г. Сосновская // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2022. – № 16. – С. 83-87.