



Перспективные виды пропантов для добычи природного газа

к.т.н. **Можжерин А.В.**,

к.т.н. **Сакулин А.В.**

(АО «Боровичский комбинат огнеупоров»),

Коржавин А.Ю.

(ООО «Торговый Дом БКО»),

к.т.н. **Скурихин В.В.**

(АО «Боровичский комбинат огнеупоров»)

Рост потребления пропантов, в первую очередь, связан с развитием технологии горизонтального бурения и многократного гидроразрыва пласта (ГРП), что в свою очередь определяется геологическими условиями залегания месторождений углеводородов.

Приходится часто слышать, что структура потребления пропантов в России, связанная с малой долей потребления песчаных пропантов, свидетельствует о нашем технологическом отставании как в их производстве, так и в использовании. Однако необходимо иметь ввиду различия условий добычи углеводородов в России и США. Многие сланцевые месторождения углеводородов в Северной Америке, например пенсильванские пласты, находятся на глубине 200–300 метров, где, возможно, при низкой стоимости углеводородов, эффективнее использовать в качестве пропантов кварцевый песок. В России же не менее 70% месторождений имеют трудноизвлекаемые запасы, к которым относятся и сланцевые месторождения, такие как пласты баженновской и Западно-Сибирской свит с глубиной залегания более 2 км. Добыча углеводородов этих месторождений в настоящее время осуществляется, и в обозримом будущем будет осуществляться методом ГРП с использованием керамических пропантов из-за больших пластовых давлений (более 6000 psi). Подтверждением этого может служить информация о глубинах залегания наиболее перспективных месторождений углеводородов в России:

Штокмановское месторождение — глубина залегания более 3000 м.

Уренгойское месторождение — глубина залегания 2 000–3 800 м.

Приобское месторождение — глубина залегания 2 300–2 600 м.

Сальмская группа (Ханты-Мансийский автономный округ) — глубина залегания 2 100–2 900 м.

Самотлорское месторождение — глубина залегания 1 600–2 600 м.

Проект Сахалин — глубина залегания более 4 000 м.

Великое (Астраханская обл.) — глубина залегания около 5 000 м. Месторождения п-ва Ямал — глубина залегания 2 500–5 000 м.

В связи с тем, что традиционные запасы углеводородов неглубокого залегания в России находятся в состоянии заканчивающейся выработки, а основные залежи — это трудноизвлекаемые углеводороды, использование в России песка в качестве пропантов малоэффективно и очень ограничено [1].

Следовательно, потребление керамических пропантов в России будет расти, а их доля преобладать в общем объеме использования, включая газодобычу.

В настоящей статье приведены результаты испытаний различных видов пропантов, включая и те, которые производители позиционируют как специализированный продукт для добычи газа. Для справки: в России производятся два типа пропантов — алюмосиликатные и магнезиально-кварцевые, отличающиеся по химико-минеральному составу керамической основы, видам используемого минерального сырья, способу его переработки.

Характеристики исследуемых пропантов

Исследования проведены на образцах алюмосиликатных и магнезиально-кварцевых пропантов фракции 20/40. Это наиболее популярная фракция пропантов при добыче газа. Результаты тестирования по методикам ГОСТ Р 51761-2013 (ISO 13503-2:2006) приведены в таблице 1, из которых следует, что пропанты торговых марок BORPROP SSP, FOREESP и FORERCP представляют собой осмоленные (покрытые синтетической полимерной смолой) керамические пропанты из-за наличия изменения массы при прокаливании, а пропанты торговых марок BORPROP и FOREPROP — керамические пропанты без полимерного покрытия.

Очевидно, что для выполнения поставленной задачи — сравнения различных типов пропантов, отличающихся как по химико-минеральному составу, так и по наличию полимерного покрытия, тестирования по ГОСТ Р 51761-2013 (ISO 13503-2:2006) недостаточно. Требуется сравнение по показателям проводимости (проницаемости) пропантной пачки. Эти показатели наиболее реально отражают эффект от использования пропантов в ГРП. Сравнение проводимости (проницаемости) различных по составу и исполнению пропантов позволяет выделить наиболее подходящий для тех или иных условий эксплуатации.

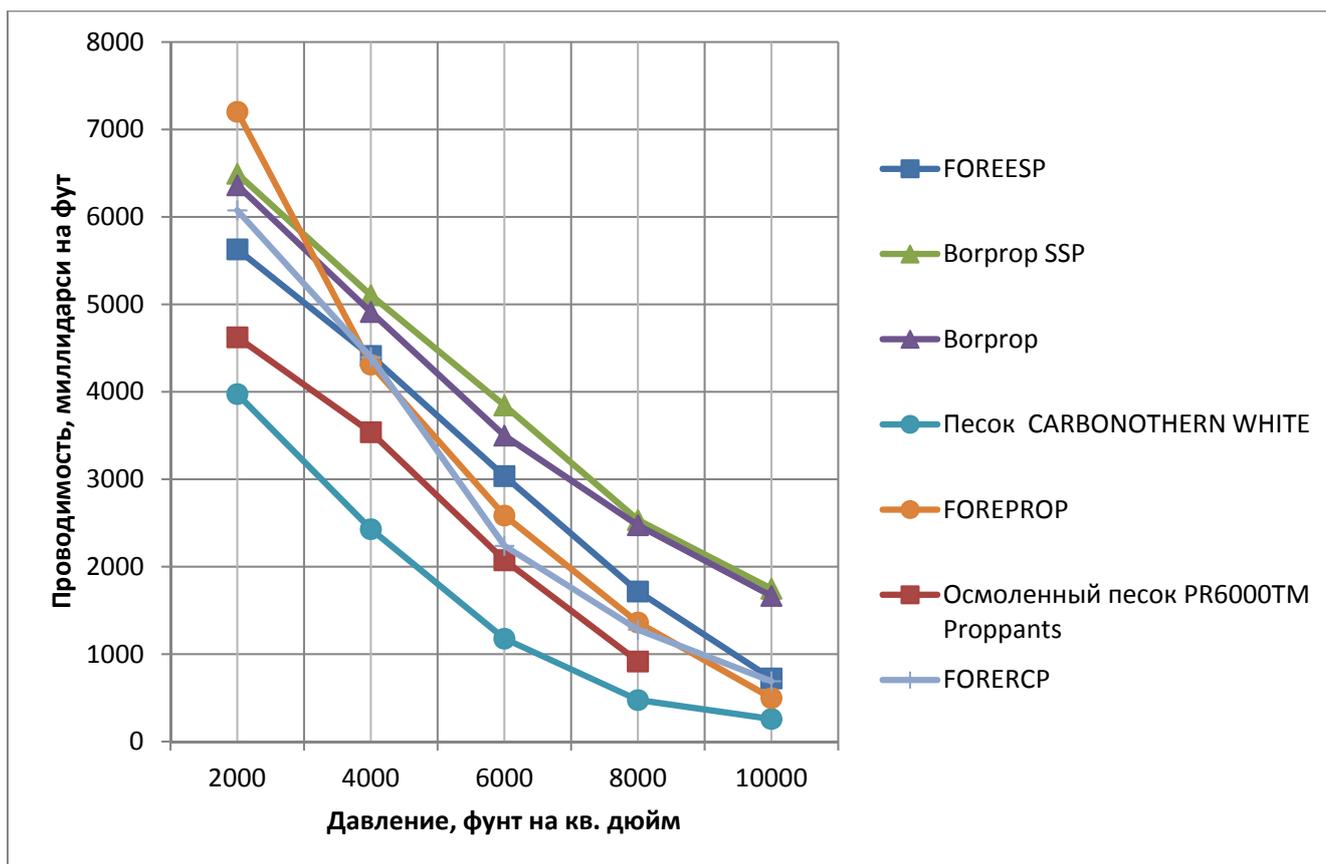
Таблица 1 – Свойства испытываемых пропантов по ГОСТ Р 51761-2013.

Наименование показателя	Значение показателей для пропантов				
	Алюмосиликатный BORPROP	Алюмосиликатный BORPROP SSP	Магнезиально-силикатный FOREESP	Магнезиально-силикатный FORERCP	Магнезиально-силикатный FOREPROP
Насыпная плотность, г/см ³	1,65	1,73	1,66	1,46	1,55
Сопротивление раздавливанию, % раз-рушенных гранул при давлении 68,9 МПа (10 kpsi)	8,6	1,01	1,27	1,38	8,1
Содержание основной фракции, %	98,6	97,4	94,7	98,4	95,2
Гранулометрический состав, %:					
- остаток на сите № 16 (1,18мм)	0,0	0,0	0,0	0,0	0
- остаток на сите № 20 (0,85мм)	1,3	2,3	4,8	0,9	4,7
- остаток на сите №25 (0,71мм)	42,1	41,3	32,8	28,4	35,1
- остаток на сите № 30 (0,60мм)	53,0	50,2	47,8	56,8	48,6
- остаток на сите № 35 (0,50мм)	3,3	5,8	11,5	10,8	11,3
- остаток на сите № 40 (0,425мм)	0,2	0,1	2,6	2,4	0,2
- остаток на сите № 50 (0,30мм)	0,1	0,5	0,2	0,4	0,1
- проход через сито № 50 (0,30мм)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сферичность	0,8	0,887	0,902	0,894	0,8
Округлость	0,8	0,858	0,838	0,889	0,8
Изменение массы при прокаливании, %	-	2,57	2,13	2,62	-

Описание эксперимента

Сравнение пропантов производили путём измерения долговременной проводимости пропантой пачки. Измерение долговременной проводимости производили по методике ISO 13503-5:2006 на установке, разработанной и изготовленной компанией CorelabInstruments.

Условия проведения измерений проводимости: пластины песчанника из штата Огайо, концентрация пропанта 2 фунта на квадратный фут, температура 121 °С, время выдержки при каждом давлении 50 часов.



Результаты и их обсуждение

Сравнение проводимости

Далее, при обсуждении результатов измерений, вместо термина «долговременная проводимость» будет использован термин «проводимость», но с учётом того, что измерение этого показателя производилось по методике для долговременной проводимости, с 50-часовой выдержкой при каждом давлении.

Результаты измерений проводимости пропантной пачки приведены на диаграмме рис. 1.

Для более полного анализа различных типов пропантов к измеренным значениям проводимости вышеуказанных керамических пропантов с полимерным покрытием и без него добавлены данные по проводимости песчаных пропантов, взятые с интернет-сайтов производителей: песок торговой марки CARBONOTHERN-WHITE (производитель CARBO Ceramics Inc.) и осмоленный предварительно отжжённым покрытием песок торговой марки PR6000TM (производитель HEXION Inc.) [2,3].

По полученным результатам выявлены следующие закономерности.

Ожидаемо, наиболее низкие показатели по проводимости имеют песчаные пропанты. Наличие полимерного покрытия повышает проводимость осмоленных песков, в сравнении с неосмоленными, в пределах 1,2–1,9 раза, причём с повышением давления разница увеличивается. Следует отметить, что даже у полимерно-покрытых песков проводимость существенно ниже, чем у керамических пропантов FOREPROP в тех же пределах 1,2–1,9 раза и разница увеличивается с повышением давления.

Таким образом, синтетическое покрытие песка не увеличивает механическую прочность осмоленных песков. Песок с синтетическим покрытием отличается от песков без покрытия большей проводимостью, т.к. в начальный период разрушения осколки

остаются в полимерной оболочке и не создают дополнительное сопротивление потоку углеводородов. Этот эффект сохраняется на начальной стадии эксплуатации. Долговременная проводимость песков с синтетическим покрытием приближается к проводимости песков без покрытий. Кроме того, полимерное синтетическое покрытие песков обеспечивает неподвижный контакт между гранулами, препятствуя их обратному выносу.

Начиная с давления 4 000 p.s.i. (27,5 МПа) проводимость керамических пропантов увеличивается в ряду FORERCP – FOREPROP – FOREESP – BORPROP – BORPROP SSP. При давлении 4 000 p.s.i. внутри групп каждого из производителей отличается незначительно, но показатели проводимости алюмосиликатных пропантов BORPROP и BORPROP SSP выше на 25%, в сравнении с манезиально-кварцевыми FORERCP – FOREPROP – FOREESP: проводимость манезиально-кварцевых пропантов находится в районе 4 400 миллиарда на фут, а алюмосиликатных пропантов — в районе 5 000 миллиарда на фут. А при давлении 10 000 p.s.i. (68,9 МПа) показатели проводимости алюмосиликатных пропантов выше уже в 2,4 раза.

Обращает на себя внимание, что проводимость осмоленных алюмосиликатных пропантов BORPROP SSP во всём ряду давлений незначительно, на 2–4 %, выше, чем у не осмоленных пропантов BORPROP, в то время как у манезиально-кварцевых пропантов проводимость осмоленных пропантов торговой марки FOREESP при давлениях 6 000 и 8 000 p.s.i. (41,3 и 55,1 МПа) превышает проводимость неосмоленных пропантов FOREPROP и осмоленных пропантов FORERCP на 34 %.

Проведёнными испытаниями явились подтверждением, что пониженная долговременная проводимость керамических манезиально-кварцевых пропантов как осмоленных, так и неосмоленных, обусловлена особенностями их состава и способа производства. За счет накопления множественных внутренних напряжений, вызванных полиминеральным составом керамики, имеющим яркие проявления полиморфизма, механическая прочность гранул в условиях длительного воздействия статических и динамических нагрузок значительно снижается, а разрушение гранул на мелкие частицы приобретает обвальный характер, аналогичный разрушению песков. Поэтому, несмотря на керамический способ производства, манезиально-силикатные пропанты следует отнести к продукту, занимающему промежуточное положение между керамическими пропантами и песком, и называть их правильнее не керамическими пропантами, а модифицированным песком, тем более что содержание основного компонента SiO_2 в них около 70%.

Заключение

Сегодня на рынке предлагается большое разнообразие пропантов, каждый из которых может быть использован только в определённых условиях.

Руководствуясь результатами измерений проводимости, наиболее подходящими для добычи газа в России, с учётом особенностей глубины залегания газоносных пластов перспективных месторождений (пластовые давления выше 6 000 p.s.i. или 41,2 МПа), является алюмосиликатный пропант торговой марки BORPROP. Осмоленный пропант торговой марки BORPROP SSP может быть использован при давлениях выше 10 000 p.s.i. (68,9 МПа)

Для поддержания уровня добычи находящихся в эксплуатации месторождений природного газа, при пластовых давлениях от 4 000 до 6 000 p.s.i. (от 27,5 до 41,2 МПа), могут быть использованы и манезиально-силикатные пропанты, наилучшими из которых является осмоленный пропант FOREESP.

Песчаные пропанты, включая осмоленные, пригодны для эксплуатации при пластовых давлениях в пределах от 2 000 до 4 000 p.s.i. (от 13,8 до 27,5 МПа) и чем выше в указанном интервале давление, тем более целесообразно применение осмоленных песков.

www.aobko.ru



Список литературы

1. Керамический пропант или песок? / Можжерин А.В., Коржавин А.Ю. // Сфера. Нефть и Газ. – 2018, - №1, - с. 92-95.
2. Technical Data Sheet. PR6000™ Proppants [Electronical resource]. URL: <http://www.hexion.com/en-US/product/pr-6000>
3. Technical Data Sheet. CARBONOTHERN WHITE. Premium sand [Electronical resource]. URL: <http://www.carboceramics.com/getattachment/31953e72-767d-482e-8815-8682ca07f6bc/attachment>