

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт _____ ИПР _____
Специальность _____ нефтегазовое дело _____
Кафедра _____ ГРНМ _____

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Исследование применимости компонентов золошлаковых отвалов тепловых угольных электростанций в качестве пропантов при гидроразрыве пласта

УДК 622.276.66:666.762:662.613:621.311.22(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Б2Д	Вершинин Иван Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ткачёв Д.Г.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По химии и химической технологии

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Налесник О.И.			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кочеткова О.П.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернова О.С.	К.Г.-М.Н.		

Томск – 2016 г.

Введение

В 30-х годах 20-ого века в США в ходе масштабного применения кислотных обработок призабойной зоны пласта (ПЗП) в целях интенсификации притока флюида было обнаружено, что при повышении давления нагнетания возможен разрыв пласта и появление высокопроводящей трещины вблизи забоя. В 40-х годах разрабатывалась теоретическая основа этого явления, названного гидроразрывом пласта (ГРП). Первая попытка целенаправленно осуществить ГРП была предпринята в 1947 году в США компанией Хэллибёртон, но потерпела неудачу. Однако уже в 1949 году был осуществлён первый успешный ГРП. Рыночный характер экономики США стимулировал широкое применение ГРП, и уже к концу 1950-х годов интенсивность его проведения только в этой стране достигла 3000 операций в год, а к началу 90-х годов суммарное количество операций достигло одного миллиона.

В нашей стране ГРП впервые провели в 1952 году. Большой вклад в теорию гидроразрыва пласта внесли советские учёные Христианович и Желтов. Но уже к концу 1950-х частота применения ГРП в СССР стала сокращаться, а к началу 1970-х от него вовсе отказались, поскольку были введены в разработку несколько крупных месторождений в Западной Сибири и необходимость в интенсификации притока на зрелых месторождениях отпала. В 1980-х годах ГРП вновь стал набирать популярность в отечественной нефтедобыче в связи с переходом к третьей и более поздним стадиям разработки большинства месторождений и необходимостью вовлечения в разработку трудноизвлекаемых запасов. При переходе же к рыночной экономике в 1990-х годах интерес к ГРП в России вырос ещё больше.

Сервисные и добывающие компании уже на ранних этапах практики применения ГРП стали вкладывать значительные средства на исследования в этой области. Теории и математический аппарат описания процесса ГРП постоянно развивались и уточнялись. Совершенствовались оборудование и материалы, используемые для гидроразрыва пласта. Была окончательно

показана эффективность применения ГРП для повышения показателей работы скважин, в том числе экономических. Был сделан вывод об экономической обоснованности проведения ГРП с применением пропанта для увеличения добычи из низкопроницаемых пластов. Система дренирования в таком случае получается наиболее эффективной, нежели при любом другом методе воздействия на пласт.

Материалы и пропанты, используемые при гидроразрыве, претерпели огромные изменения с тех времен, когда был выполнен первый коммерческий гидроразрыв в 1949 г. с несколькими мешками песка и загущенным бензином в качестве жидкости-носителя.

В настоящее время в промышленности существует три основных типа пропанта: песок, пропант средней прочности и высокопрочный боксит.

Песок представляет собой природный диоксид кремния. Плотность такого пропанта приблизительно равна $2,65 \text{ г/см}^3$ и он способен выдерживать напряжение сжатия до 40 МПа. Песок механически промывается, сушится и просеивается. Такой вид пропанта применяется на глубинах до 2500 м.

Пропант средней прочности и высокопрочный боксит представляют собой синтетические пропанты, изготовленные из бокситовой руды (высокопрочный), или сочетания боксита и диоксида кремния (средней прочности). Пропант средней прочности имеет значения плотности от 2,7 до $3,3 \text{ г/см}^3$ и способен выдерживать напряжения сжатия до 69 МПа. Такой вид пропанта применяется на глубинах до 3500 м. Сверхпрочные пропанты имеют значения плотности от 3,2 до $3,8 \text{ г/см}^3$ и способны выдерживать напряжения до 100 МПа. Такой вид пропанта применяется на глубинах свыше 3500 м, однако его применение ограничивается высокой стоимостью.

Размеры пропанта распределены в определенных интервалах, каждый из которых называется меш (mesh). Каждый меш включает гранулы, распределенные по различным диаметрам и определяемые при ситовом анализе. Интервал диаметров частиц, покрываемый каждым ситом, зависит от используемой эталонной шкалы.

В исследовательских лабораториях сервисных и добывающих компаний осуществлялось множество испытаний проводимости различных типов пропанта, используемых в настоящее время. Основные группы размеров пропанта: 40/60 (0,212-0,315 мм), 20/40 (0,425-0,85 мм), 16/20 (0,85-1,18 мм), 12/20 (0,85-1,7 мм). Размеры этих фракций заданы по стандартам Американского нефтяного института. Для большинства ГРП используется пропант 20/40, так как его можно эффективно транспортировать различными жидкостями разрыва (благодаря небольшим размерам), и при этом обеспечивается хорошая проводимость трещины.

Выбор определённого размера пропанта для данных условий зависит от множества факторов. Например, для получения большей проницаемости необходимо вводить более крупные фракции, однако с ростом размера зёрен будет уменьшаться их прочность, возрастут затраты энергии на введение такой фракции в трещину. Также введение крупной фракции пропанта может привести к тому, что миграция в ПЗП более мелких частичек приведёт к заполнению ими порового пространства, создаваемого крупным пропантом. Т.е. произойдёт ухудшение сортировки частиц скелета, приводящее к уплотнению их упаковки, а следовательно, к снижению пористости и проницаемости.

Важными характеристиками пропанта являются сферичность и округлость, поскольку с их уменьшением возрастает плотность упаковки.

Более прочные пропанты являются более плотными, но для их введения в трещину необходимо использовать высоковязкие жидкости или резко увеличивать темп закачки. В последнее время стали также производиться и облегчённые пропанты с пониженной плотностью.

Пропанты должны обладать химической стойкостью в условиях проведения обработок призабойной зоны пласта соляной кислотой или смесью соляной и плавиковой кислот, т.е. должны не растворяться в растворах этих кислот.

Важно заметить, что затраты на пропанты составляют значительную долю (четверть) всех издержек проведения гидроразрыва пласта. Долю стоимости материалов, применяемых для ГРП и расходов на применение самой операции ГРП, можно оценить следующим образом: 45 % на закачку (аренда насосного оборудования и эксплуатационные расходы), 25 % на пропанты, 20 % на химреагенты и 10 % на кислоту. Поэтому поиск решений по удешевлению пропантов достаточно важен и данная работа на сегодняшний день имеет достаточную актуальность.

Аннотация

В данной работе была исследована возможность применения компонентов золошлаковых отходов Северской ТЭЦ в качестве пропантов при гидроразрыве пласта. Также исследовалась возможность применения компонентов ЗШО Северской ТЭЦ в качестве исходных материалов для производства керамических алюмосиликатных пропантов.

Во введении к работе представлена краткая история применения гидроразрыва пласта в нашей стране и за рубежом, приведены основные типы пропантов, описано влияние определённых характеристик пропанта на фильтрационно-емкостные свойства получаемой при его введении в трещину поровой системы. Также в этом разделе отмечена актуальность данной работы в связи со значительностью доли издержек, приходящихся на пропанты.

В первой главе обоснован выбор источников [1,2] требований к пропантам, на которые опираются исследования, проведённые в данной работе; приведены основные требования к алюмосиликатным пропантам. Также здесь приведены основные виды пропантов, предлагаемые отечественным производителем, и представлена характеристика алюмосиликатного пропанта BORPROP.

Во второй главе описаны методики исследований, принятые в работе согласно [1]; поставлена проблема золошлаковых отвалов ТЭЦ и подчёркнута

критическая необходимость их ликвидации; охарактеризованы структурный и химический составы ЗШО Северской ТЭЦ; сделана отсылка к предыдущей работе [7], в которой была показана возможность применения плавающей алюмосиликатной микросферы, одного из компонентов ЗШО, при тампонаже скважин.

В третьей главе описано исследование компонентов ЗШО Северской ТЭЦ напрямую в качестве пропантов.

В ходе этой части работы шлак и шлаковый песок с ЗШО Северской ТЭЦ были механически измельчены для получения чистых, не слипшихся частичек, которые затем были разделены по фракциям ситовым методом. С помощью микроскопа была оценена форма частиц и сделано предположение о возможности применения их в качестве пропантов при ГРП метанугольных пластов. Исходя из оценки содержания магнитного концентрата по фракциям, был сделан вывод о его низких прочностных характеристиках. Основываясь на этом заключении, а также на том факте, что оксид железа (Fe_2O_3) хорошо взаимодействует с соляной и плавиковой кислотами, было принято решение извлекать магнитный концентрат из фракций для повышения прочности пропанта и его устойчивости к действию кислот.

Затем была измерена насыпная плотность фракций. Далее фракции были испытаны на растворимость в 15-% соляной кислоте и показали хорошую устойчивость к ней, поскольку убыль массы не превысила предельно допустимого значения. Однако при проверке на сопротивление раздавливанию был получен отрицательный результат: при давлении испытания 34,45 МПа доля разрушенных частиц составила 40–50 %.

Был сделан вывод, что шлаковые частицы пропантных размеров из ЗШО Северской ТЭЦ не могут быть использованы в качестве пропантов из-за их низкой прочности.

В четвёртой главе описано исследование возможности создания керамических алюмосиликатных пропантов с применением золы уноса Северской ТЭЦ.

В этой части работы на основании патентов [8,9] была предложена технологическая схема производства керамических алюмосиликатных пропантов с применением золы уноса Северской ТЭЦ. Боксит и каолин в составах исходных шихт, предложенных в патентах [8,9] были полностью заменены в принятой технологической схеме золой уноса Северской ТЭЦ, Вороновской глиной и техническим глинозёмом. Также на основании диссертации [10] было принято решение вводить в шихты добавку двуокиси марганца (MnO_2) для образования более прочных структур при спекании.

Полученная фракция спечённого керамического пропанта размером гранул от 1 до 2 мм была разделена на 2 фракции 12/18 и 10/14, согласно американской системе размеров ситовых ячеек.

Были оценены округлость и сферичность полученных фракций, определена их насыпная плотность. Исходя из значений насыпной плотности фракций, полученный керамический пропант был отнесён к категории сверхлёгких. Изготовленный пропант не прошёл проверку на сопротивление раздавливанию, поскольку было разрушено 35 и 50 % гранул фракций. Остаток фракций пропанта был испытан на устойчивость к действию кислот и прошёл проверку.

В главе описаны возможные причины хрупкости изготовленного пропанта, относящиеся к несовершенству и недоработанности технологической схемы, неотработанности технологических лабораторных операций по изготовлению пропанта.

Заключение

Поиск способов удешевления пропантов для гидроразрыва пласта является в настоящее время весьма актуальной задачей. Также важной неразрешённой задачей является решение проблемы переполненных золоотвалов угольных тепловых электростанций.

В ходе данной работы однозначно была показана невозможность применения компонентов ЗШО Северской ТЭЦ напрямую в качестве пропантов при ГРП.

Была предложена технологическая схема производства керамических алюмосиликатных пропантов с применением золы уноса Северской ТЭЦ. В соответствии со схемой в лаборатории кафедры общей химии и химической технологии ИФВТ ТПУ были изготовлены четыре пропантные шихты разного состава, произведены их гранулирование и сушка.

Однако из-за загруженности графика использования печей кафедры технологии силикатов и наноматериалов ИФВТ ТПУ не удалось спечь достаточного количества фракций пропанта разного состава. Также достаточное количество отведённого времени было потрачено на обжиг “неудавшихся” партий, которые в результате были сплавлены в общую массу из-за неправильно выбранной температуры обжига.

Отрицательный результат проверки изготовленных фракций на сопротивление раздавливанию нельзя считать достаточным основанием для закрытия вопроса о применимости золы уноса Северской ТЭЦ в составе шихт для изготовления керамического пропанта. Необходимо продолжить исследования, начатые в данной работе: отработать технику гранулирования; проварьировать химический состав шихт; расширить технологическую схему, введя операцию покрытия гранул пропанта смолой; подобрать оптимальную температуру обжига пропанта.

Нахождение технологии введения золы уноса Северской ТЭЦ в шихту для производства керамического алюмосиликатного пропанта позволит решить сразу две важные задачи: удешевить керамические пропанты, широко применяемые в нашей стране, и экономически выгодно переработать и ликвидировать золоотвалы угольных тепловых электростанций, в настоящее время заполненные до критического уровня.