DOI: 10.24892/RIJIE/20250411

Перспективы получения расклинивающих агентов на основе буровых отходов Арктической зоны*

Рябова А.В., Головко Д.А., Климова Л.В., Изварина Д.Н.
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
г. Новочеркасск, Российская Федерация
annet20002006@yandex.ru

Аннотация. **Описано применение метода горизонтального бурения с использованием гидравлического разрыва пласта, при котором используют расклинивающие агенты – пропанты. Показано образование техногенных отходов – буровых шламов - взвесей, состоящих из продуктов истирания бура, горных пород, глинистых частиц и нефти, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Исследуя возможность применения буровых шламов в качестве основного сырьевого материла для синтеза пропантов, авторы решают две задачи – утилизация буровых шламов и разработка импортозамещающей технологии пропантов на основе местного недорогого и недефицитного сырья. Разработана технология получения сырьевых смесей и модельных образцов, описан внешний вид синтезированных образцов. Для достижения необходимой прочности на сжатие подобраны оптимальные модифицирующие добавки (порошок оксида алюминия, молотый стеклобой и фторид натрия) и определены прочностные характеристики. Раскрыт механизм действия каждой модифицирующей добавки, подробно изучена роль NaF в качестве плавня, снижающего вязкость силикатной массы и способствующего формированию спекшейся керамической структуры. По итогам испытаний сделаны соответствующие выводы.**

***Ключевые слова*: нефтедобыча, буровой шлам, рециклинг, расклинивающие агенты, пропанты.**

Введение

Российская нефтегазовая отрасль играет важную роль в формировании бюджета страны. Улучшение горно-геологических условий для увеличения добычи нефти возможно только с использованием новых технологий. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является наиболее эффективным геолого-техническим методом, который обеспечивает значительное увеличение добычи и повышение эффективности разработки низкопроницаемых коллекторов. Рост спроса на пропанты связан с развитием горизонтального бурения и многократного гидроразрыва пласта (МГРП), что обусловлено геологическими особенностями залегания месторождений углеводородов.

В России не менее 70% месторождений нефти имеют трудноизвлекаемые запасы, к которым относятся и сланцевые месторождения, такие как пласты баженовской 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). Следовательно, потребление керамических пропантов в России будет расти и производство алюмосиликатных пропантов на основе техногенных отходов является актуальным.

В России производятся два типа пропантов: алюмосиликатные (содержание Al_2O_3 от 50 до 70 % и SiO_2 от 15 до 30 %) и магнезиально-кварцевые (содержание MgO от 28 до 48 % и SiO_2 от 40 до 60 %). Они различаются по химическому составу керамической основы, используемому минеральному сырью и способу его переработки.

Технология получения керамических пропантов постоянно развивается, и на рынке пропантов возможно появление пропантов из новых материалов, например из неорганических кремний углеродных полимеров. Экспериментально получены 3М пропанты [5], которые отличаются низкой плотностью и высокой прочностью.

Как известно, в процессе бурения нефтегазовых скважин образуется большое количество бурового шлама, образование которого является одной из крупных экологических проблем нефтяной отрасли в следствие его негативного влияния на окружающую среду. Проблема утилизации отходов бурения решается за счет внедрения комплекса средозащитных инженерно-технических мероприятий, включающих, во-первых, применение в процессе бурения скважин бурового раствора на основе водорастворимых биоразлагаемых полимеров и четырехступенчатых систем очистки бурового раствора; во-вторых, применение конструкции площадки скважин с устройством траншеи для размещения отжатого бурового шлама, за которой устраивается временная земляная емкость для буровых сточных вод.

Наиболее перспективным способом утилизации буровых шламов является их крупнотоннажная переработка в производстве силикатных керамических материалов. Исследуя возможность применения буровых шламов в качестве основного сырьевого материла для синтеза расклинивающих агентов – пропантов, непосредственно используемых на выбранном месторождении можно одновременно решить две задачи – утилизация буровых шламов и разработка импортозамещающей технологии пропантов на основе местного недорогого и недефицитного сырья.

* Работа выполнена при финансосовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания по теме"Фундаментальные основы технологий рециклинга отходов нефтедобывающей отрасли Арктической зоны Российской Федерации с получением эффективных строительных материалов и расклинивающих агентов" (FENN-2025-0001). Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", https://icie-rus.org

Традиционно в качестве пропанта применяют кварцевый песок, так как он является самым распространенным естественным расклинивающим материалом, однако в виду малой прочности (до 28 МПа) его можно использовать для месторождений с глубинами не более 1500 м [11-13, 20].

Поэтому, для разработки месторождений глубиной 1500-3500 м нефтедобывающими компаниями используются расклинивающие материалы – пропанты, которые должны обладать прочностью не менее 68,9 МПа (10000 psi) при плотности не более 1,9 г/см^3 в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51761-2013 «Пропанты алюмосиликатные. Технические условия». Как материал, пропанты представляют собой гранулообразный материал диаметром 0,5-1,2 мм, где каждая гранула является элементарным изделием, полученным при высокотемпературном обжиге (1300-1600 °С) и изготовленным преимущественно из природных материалов – глинозема и кремнезема, которые вносят в химический состав основные оксиды Al_2O_3 и SiO_2 [8, 26, 29, 31].

Поэтому целью данных исследований было изучение перспектив и разработка составов расклинивающих агентов на основе буровых отходов Арктической зоны.

Материалы и методы

В ходе предыдущих исследований были выбраны наиболее перспективные по химическому составу для получения керамических пропантов буровые шламы Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ), расположенного в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Арктической зоны. Однако установлено, что для синтеза высокопрочных алюмосиликатных пропантов из буровых отходов необходимо использовать модифицирующие добавки, такие как плавни, роль которых играет стеклобой и NaF, и упрочнители – Al_2O_3. Для определения оптимального количества модифицирующих добавок и влияния их на технологические и физико-химические свойства пропантов готовили сырьевые смеси с различным их содержанием. Предварительно, для изучения возможности использования буровых шламов для синтеза расклинивающих агентов был определен их усредненный химический состав методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (XRF) на вакуумном спектрометре последовательного действия с дисперсией по длине волны. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1

Усредненный химический состав буровых отходов

Компонент	Содержание % мас.
Na_2O	2,37
MgO	1,33
Al_2O_3	12,11
SiO_2	63,23
K_2O	2,37
CaO	4,06
TiO_2	0,61
MnO	0,078
Fe_2O_3	4,15
P_2O_5	0,14
SO_3	0,83
Cl	0,26
ППП	8,19

В табл. 2 приведен компонентный состав шихт для синтеза расклинивающих агентов и температура их термообработки с целью спекания.

Таблица 2

Компонентный состав сырьевой смеси

№ образца	Шлам	Стеклобой	Al_2O_3	NaF	Температура обжига, °С
1	100	0	0	0	1100
2	100	0	0	0	1150
3	100	0	0	0	1200
4	80	20	5	0	1100
5	80	20	5	4	1100

Буровой шлам предварительно высушивался при (100±5) °С и измельчался до размера частиц менее 250 мкм. Стеклобой был измельчен в лабораторной шаровой мельнице и просеян через сито № 025. Далее компоненты смешивались согласно составам и тщательно перемешивались в шаровой мельнице в течение 30 мин.

Из подготовленной сырьевой смеси с добавлением 5 мас. % воды формовали модельные лабораторные образцы в форме куба с длиной грани 20 мм и массой 10 г путем одноосного прессования с максимальной нагрузкой 5 МПа. Полученные образцы помещались на огнеупорную сетчатую подложку и загружали в муфельную печь и далее обжигали в атмосфере воздуха при температуре 1100, 1150 и 1200 °С со скоростью нагрева 6 °С/мин и выдержкой при максимальной температуре 30 мин. После спекания образцы находились в печи до полного остывания, затем извлекались и подвергались исследованиям.

Результаты и обсуждение

В качестве основного сырьевого материала для синтеза лабораторных образцов использовался буровой шлам Уренгойского месторождения и молотый стеклобой марки БТ-1, в качестве упрочняющей добавки вводился порошок оксида алюминия Al_2O_3, а в качестве флюсующей добавки применялся фторид натрия.

По описанной выше технологии были изготовлены модельные образцы, внешний вид которых представлен на рис. 1.

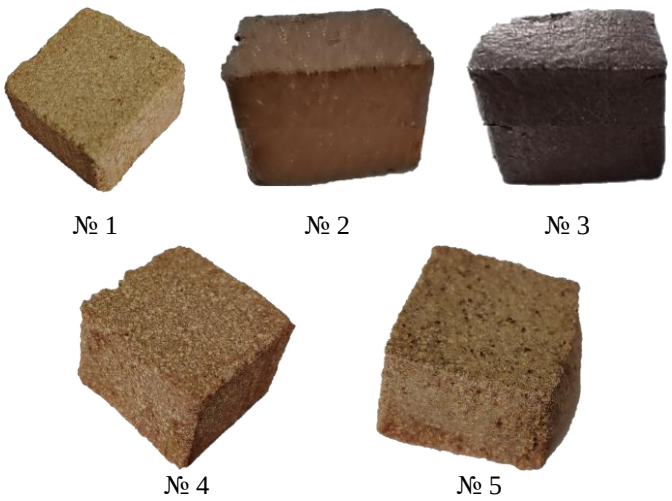

Рис. 1. Внешний вид обожженных модельных образцов

Анализ внешнего вида модельных образцов показал:
- образец № 1 в процессе обжига при 1100 °С характеризуется недостаточно спеченной рыхлой структурой, на поверхности образовались усадочные трещины;
- образец № 2 (1150 °С) характеризовался более спекшейся структурой, однако на его поверхности также образовались трещины, а по краям образец начал оплавляться;
- образец № 3 (1200 °С) – поверхность образца характеризуется оплавленностью, что свидетельствует о протекании жидкофазового спекания;
- образец № 4 (1100 °С) характеризуется недостаточно спеченной рыхлой структурой, на поверхности образовались усадочные трещины;
- образец № 5 (1100 °С) поверхность образца характеризуется оплавленностью, что свидетельствует о протекании жидкофазового спекания, которое сопровождается уменьшением его линейных размеров практически в два раза.

Результаты определения физических свойств, синтезированных образцов представлены в табл. 2.

Таблица 3

Свойства полученных лабораторных образцов

№ образца	Плотность, г/см^3	Прочность, МПа
1	1,73	11,78
2	1,96	16.62
3	2,11	82,43
4	1,93	21,23
5	1,72	94,28

Из табл. 3 видно, что образцы 3 и 5 обладают необходимой прочностью, но состав 3 имеет повышенную плотность не соответсвующую требованиям ГОСТа не более 1,9 г/см^3.

Ввод оксида алюминия в состав сырьевой смеси пропанта необходим, так как он оказывает непосредственное влияние на прочностные характеристики, способствуя образованию новых кристалических фаз. В связи с малым количеством Al_2O_3 в составе бурового шлама в сырьевую смесь образца 4 и вводили Al_2O_3 в количествах 5 мас. %. Исходя из полученных данных табл. 3 видно, что составы из чистого бурового шлама и оксида алюминия (№ 4) обладают меньшей прочностью, так как в результате обжига из-за высокой тугоплавкости Al_2O_3 заданной температуры недостаточно. Следовательно, для интенсификации реакций спекания и получения прочного материала необходимо в состав сырьевой смеси вводить различные добавки-модификаторы, например, стеклобой и фторид натрия, которые способствуют снижению температуры спекания образцов.

Распространенной модифицирующей добавкой является молотый стеклобой. В области высоких температур стекло находится в вязком состоянии для лучшего спекания частиц. Интервал температур при этом находится в диапазоне 580–740 °С. При более высоких температурах стекло представляет собой вязкую массу, подвергаемую деформациям во всех трех измерениях. Процесс взаимодействия между отдельными частицами порошка стекла, обеспечивающий устойчивость каркаса стекла из-за формирования связей Si–O–Si, обусловлен перемещением ионных ассоциатов. Следовательно, благодаря протекающим процессам наблюдается улучшение спекания частиц между собой [16, 22, 25].

Добавка фторида натрия (NaF) оказывает флюсующее воздействие на силикатную массу. Это обуславливается деполимеризующим действием фторида на силикатный каркас с последующим образованием фторкремнекислородных группировок с протеканием цепочки реакций (1). Введение в состав сырьевой смеси 5 мас. % фторида позволяет снизить температуру спекания примерно на 100 °С.

$$4NaF + 3SiO_2 + 3H_2O\uparrow \rightarrow 2Na_2SiO_3 + SiF_4\uparrow + 3H_2O\uparrow \rightarrow$$
$$\rightarrow 2Na_2SiO_3 + SiO_2 + 4HF\uparrow \quad (1)$$

Вязкое течение высококремнеземистых оксидных расплавов сопровождается разрушением связей ≡Si–O–Si≡. При увеличении содержания оксида-модификатора часть данных связей заменяются на ≡Si–O–M. При этом в получившемся расплаве появляются микрообласти богатые катионами-модификаторами, в которых важную роль играют связи ≡Si–O–M. В образовавшихся микрообластях степень полимеризации кремнекислородных анионов значительно ниже, чем в высококремнеземистых, что приводит к уменьшению вязкости в данных микрообластях. Образующаяся менее вязкая жидкость играет роль «смазки» между крупными кремнекислородными группировками. Пока в расплаве присутствует протяженная кремнекислородная сетка, роль менее вязкой микрофазы невелика и дальнейшее уменьшение вязкости связано с разрушением ≡Si–O–Si≡ [3, 7].

Так как силикатные расплавы имеют микронеоднородное строение, то влияние фторидов на вязкость объясняется следующим образом. В расплаве происходит распад фторидов на следующие ионы $MeF_n \rightarrow Me^+ + nF^-$. Растворимость же ионных соединений в высокоплимеризованной микрофазе незначительна, следовательно, образующиеся ионы концентрируются в основном в менее полимеризованной катионами микрофазе, изменяя ее вязкостные свойства и вязкость расплава в целом. Поэтому наиболее эффективно снижает вязкость первые порции фторидов, которых достаточно для изменения вязкостных свойств низкополимеризованной микрофазы, но недостаточно для увеличения числа единиц течения за счет деполимеризации кремнекислородных группировок. Таким образом, NaF играет роль модификатора, который снижает вязкость силикатной массы и способствует формированию более прочной, керамической структуры [35].

В результате изучения физических свойств, синтезированных образцов, был выявлен оптимальный образец № 5 имеющий следующий состав: шлам – 80%, стеклобой 20%, NaF – 4 % (сверх 100), Al_2O_3 – 5% (сверх 100 %), обладающий достаточным значением прочности – 94,28 МПа.

В ходе дальнейших исследований на основе полученной сырьевой смеси оптимального состава будет проведен синтез гранулированных расклинивающих агентов и исследованы их физико-механические свойства.

Выводы

Исходя из проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В ходе разработки составов в качестве добавок-модификаторов был выбран порошок оксида алюминия, молотый стеклобой марки БТ-1 и фторид натрия. После обжига было выяснено, что наиболее подходящим для дальнейших исследований является состав, содержащий следующие компоненты, мас. %: буровой шлам – 80,

стеклобой марки БТ-1 – 20, а также порошок оксида алюминия – 10 и фторид натрия – 5, вводимые сверх 100 мас. %. Данный выбор обусловлен тем, что полученная прочность (94,28 МПа) соответствует требованиям к пропантам по ГОСТу (68,9 МПа);

2. В результате исследований выявлен механизм воздействия на процесс спекания каждой модифицирующей добавки: оксид алюминия повышает прочность пропанта, но одновременно повышает температуру его спекания; стеклобой является плавнем, необходимым для формирования кремнекислородных связей в структуре пропанта; фторид натрия оказывает флюсующее воздействие на силикатную массу с уменьшением температуры спекания ~ на 100 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верисокин А.Е. Методика испытаний проппантов для гидравлического разрыва пласта // Наука и техника в газовой промышленности. – 2018. – № 2(74). – С. 62-69.

2. Воробьев Е.С. ГРП – метод повышения нефтеотдачи // Трибуна ученого. – 2020. – № 11. – С. 25-31.

3. Гольцман Б.М. Влияние плавней на процесс синтеза пористых материалов на основе природного силикатного сырья / Б.М. Гольцман, Е.А. Яценко, Н.Ю. Комунжиева, Л.А. Яценко, В.С. Геращенко, В.А. Смолий // Стекло и керамика. – 2020. – № 6. – С. 46-50.

4. Кашапов Д.В. Течение жидкости с проппантом в горизонтальной скважине при проведенной операции гидравлического разрыва пласта // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 7(224). – С. 62-66.

5. Куренков В.В. Применение методики гидравлического разрыва пласта с промыслово-геофизическими методами для низкопроницаемых пластов // Научные исследования; от теории к практике. – 2016. –№ 4-1(10). – С. 94-97. DOI: 10.21661/r-113712.

6. Малышкин М.М. Экологизация технологии бурении скважин // Записки Горного Института. – 2013. –Т. 203. – С. 63-66.

7. Мелконян Р.Г. Производство стеклообразных пеноматериалов: проблемы и решения / Р.Г. Мелконян, О.В. Суворова, Д.В. Макаров, Н.К. Манакова // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 133-156.

8. Сакулин А.В. Сравнительная оценка эффективности применения алюмосиликатных и магнезиально-кварцевых пропантов / А.В. Сакулин, Ф.Р. Иксанов, А.Ю. Коржавин // Бурение и нефть. – 2020. – № 11. – С. 11-15.

9. Куразов М.А. Способы повышения эффективности гидравлического разрыва пласта в процессах добычи нефти / М.А. Куразов, З.Х. Газабиева, Р.Х. Моллаев, А.Ш. Халадов // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2020. – Т. 16, № 2(20). – С. 32-38.

10. Серебрянников А.А. Эффективность гидравлического разрыва пласта при совместной разработке нефтяных пластов различной проницаемости // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2020. – Т. 2. – С. 358-364.

11. Сулейманов С.С.М. Проблемы, возникающие при ГРП и возможности их решений // Аллея науки. – 2020. – Т. 2. № 12(51). – С. 210-215.

12. Татосов А.В. Движение проппанта в раскрывающейся трещине гидроразрыва пласта / А.В. Татосов, А.С. Шляпкин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2018. – Т 18, № 2. – С. 217-226.

13. Bello A. Proppant Transport in Hydraulic Fractures by Creating a Capillary Suspension / A. Bello, J. Ozoani, D. Kuriashov // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2022. – vol. 208. – 109508. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109508.

14. Szymanska J. Determination of Loamy Resources Impact on Granulation of Ceramic Proppants and Their Properties / Joanna Szymanska, Pawel Wisniewski, Paulina Wawulska-Marek, Jaroslaw Mizera // Applied Clay Science. – 2018. – vol. 166. – P. 327-338. DOI: 10.1016/j.clay.2018.09.032.

15. Xiang J. Early Mechanical Properties and Microstructural Evolution of Slag/Metakaolin-Based Geopolymers Exposed to Karst Water / J. Xiang, L. Liu, Y. He, N. Zhang, X. Cui // Cement and Concrete Composites. – 2019. – vol. 99. – P. 140-150. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2019.03.009.

16. Ahamed M.A.A. Effective Application of Proppants During the Hydraulic Fracturing of Coal Seam Gas Reservoirs: Implications from Laboratory Testings of Propped and Unpropped Coal Fractures / M.A.A. Ahamed, M.S.A. Perera, D. Elsworth, P.G. Ranjith, S.K.M. Matthai, L. Dong-yin // Fuel. – 2021. – vol. 304. – 21394. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.121394.

17. Hu X. Effect of Proppant Treatment on Heat Extraction Performance in Enhanced Geothermal System / X. Hu, X. Song, K. Wu, Y. Shi, G. Li // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – vol. 207. – 109094. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109094.

18. Xiang L, Effect of Fuller-Fine Sand on Rheological, Drying Shrinkage, and Microstructural Properties of Metakaolin-Based Geopolymer Grouting Materials / Leping Xiang, Xuemin Cui, Yan He, Guangjian Zheng, Caijun Shi // Cement and Concrete Composites. – 2019. – vol. 104. – 103381. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2019.103381.

19. Meng T. Experimental Study on Permeability Evolution and Nonlinear Seepage Characteristics of Fractured Rock in Coupled Thermo-Hydraulic-Mechanical Environment: a Case Study of the Sedimentary Rock in Xishan Area / T. Meng, M. Lifeng, W. Fengbiao, F. Gan, X. Yongbin // Engineering Geology. – 2021. – vol. 294. – 106339. DOI: 10.1016/j.enggeo.2021.106339.

20. Wang Q. Experimental Study of Gas-Water Two-Phase Flow Patterns in Fracture: Implication for Enhancing Coalbed Methane Production / Q. Wang, X. Su, Y. Feng, H. Wang, J. Song // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – vol. 207. – 109168. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109168.

21. Correas C, Hydration Induced Morphological Change on Proppant Surfaces Employing a Calcium-Silicate Cement System / Covadonga Correas, Kourtney Wright, Enrico Andreoli, Zeyad Almutairi, Bjornar Sandnes, Andrew R. Barron // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2018. – vol. 537. – P. 197-209. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.10.006.

22. Hari S. Impact of Reservoir, Fracturing Fluid and Proppant Characteristics on Proppant Crushing and Embedment in Sandstone Formations / S. Hari, S. Krishna, L.N. Gurrala, S. Singh, N. Ranjan, R.K. Vij, S.N. Shah // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2021. – vol. 95. – 104187. DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104187.

23. Ren Q. Influence of Eu3+ Doping on Luminescence Properties of Na3Gd2(BO3)3:Tb3+ and the Relevant Energy Transfer Mechanism / Q. Ren, T. Wei, X. Wu, Z. Huo, B. Wang // Journal of Cleaner Production Cailiao Daobao/Materials Review. – 2017. – vol. 31, is. 3. – P. 7-10. DOI: 10.11896/j.issn.1005-023X.2017.06.002.

24. Ab El-Kader M. Novel Light-Weight Glass-Ceramic Proppants Based on Frits for Hydraulic Fracturing Process / M. Ab El-Kader, M.I. Abdou, A.M. Fadl, A. Abd Rabou, O.A. Desouky, M.F. El-Shahat // Ceramics International. – 2020. – vol. 46. – P. 1947-1953. DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.09.173.

25. Wang X. Numerical Analysis of Gas Production Laws Considering Heterogeneous Proppant Distribution / X. Wang, L. Li, L. Liu, X. Yan, Y. Yang, A. Abushaikhaa, Y. Li, J. Yao // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2021. – vol. 95. – 104211. DOI: 10.1016/j.jngse.2021.104211.

26. Liu C. Numerical Simulation on Proppant Transport in Fracture Junctions Affected by the Fracture Scale / C. Liu, M. Li, T. Guo, G. Zhang // Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME. – 2022. – vol. 144(3). – 033002. DOI: 10.1115/1.4051304.

27 Wu X. Preparation and Characterization of Ceramic Proppants with Low Density and High Strength Using Fly Ash / Xiulan Wu, Zhezhe Huo, Qiang Ren, Huanhuan Li, Fei Lin, Tengyue Wei // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – vol. 702. – P. 442-448. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.01.262.

28. Tan J. Preliminary Study on Compatibility of Metakaolin-Based Geopolymer Paste with Plant Fibers / J. Tan, W. Lu, Y. Huang, S. Wei, X. Xuan, L. Liu, G. Zheng // Construction and Building Materials. – 2019. – vol. 225. – P. 772-775; DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.142.

29. Basiuk L. Proppant Transport in Scaled Experiments: Effect of Drainage Configuration and Fracture Wall Roughness / L. Basiuk, F.I. Roschzttardtz, M.E. Fernández, L.A. Pugnaloni, M. Sánchez // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2022. – vol. 208. – 109433. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109433.

30. Yatsenko E. Prospects for the Use of Drilling Slurries for the Synthesis of Aluminosilicate Propants / E. Yatsenko, A. Tretyak, A. Chumakov, D. Golovko // Materials Today: Proceending. – 2021. – vol. 38. – P. 1886-1888. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.08.575.

31. Yatsenko E.A. Research on the Synthesis of Proppants Applied for Oil Production by the Method of Hydraulic Facing / E.A. Yatsenko, B.M. Goltsman, A.A. Chumakov, N.A. Vilbitskaya, Wensheng Li // Materials Science Forum. – vol. 1037. – P. 181-188. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.181.

32. Cui Y. Semi-Analytical Modeling of Rate Transient for a Multi-Wing Fractured Vertical Well with Partially Propped Fractures Considering Different Stress-Sensitive Systems / Y. Cui, R. Jiang, Y. Gao, J. Lin // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2022. – vol. 208. – 109548. DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109548.

33. Shirin A. Assembly of Porous Hierarchical Copolymers/Resin Proppants: New Approaches to Smart Proppant Immobilization Via Molecular Anchors / Alexander Shirin, Charles W. Dunnill, Andrew R. Barron // Journal of Colloid and Interface Science. – 2016. – vol. 466. – P. 275-283. DOI: 10.1016/j.jcis.2015.12.038.

34. Guo-hui Q.T. Study on the Preparation of a Free-Sintered Inorganic Polymer-Based Proppant Using the Suspensions Solidification Method / Qing Tang Guo-hui, Xue Si-jie, Yang Kaituo, Cui Wang Xue-min // Journal of Cleaner Production. – 2017. – vol. 148. – P. 276-282. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.001.

35. Goltsman B.M. Synthesis of Porous Silicate Materials Using Sodium Fluride as Fluxing Agent / B.M. Goltsman, E.A. Yatsenko, L.A. Yatsenko, V.A. Irkha // Tsvetnye Metally. – 2021. – vol. 2021(6). – P. 44-49. DOI: 10.17580/tsm.2021.06.06.

36. Zhang K. Utilization of Zeolite as a Potential Multi-Functional Proppant for CO2 Enhanced Shale Gas Recovery and CO2 Sequestration: A Molecular Simulation Study on the Competitive Adsorption of CH4 and CO2 in Zeolite and Organic Matter / Kaiyi Zhang, Hao Jiang, Guan Qin // Fuel. – 2019. – vol. 249. – P. 119-129. DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120312.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250411

Prospects for the Development of Wedging Agents Synthesized on the Basis of Drilling Waste from the Arctic Zone

Ryabova A.V., Golovko D.A., Klimova L.V., Izvarina D.N.
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
Novocherkassk, Russian Federation
annet20002006@yandex.ru

Abstract. **The application of the horizontal drilling method using hydraulic fracturing, which uses proppant proppant agents, is described. The formation of technogenic waste is shown - drill cuttings - suspensions consisting of drill abrasion products, rocks, clay particles and oil, which have a negative impact on the environment. Investigating the possibility of using drill cuttings as the main raw material for the synthesis of proppants, the authors solve two problems - the disposal of drill cuttings and the development of an import-substituting technology for proppants based on local inexpensive and abundant raw materials. A technology for obtaining raw mixtures and model samples has been developed, the appearance of the synthesized samples is described. To achieve the required compressive strength, optimal modifying additives (aluminum oxide powder, ground cullet and sodium fluoride) have been selected and strength characteristics have been determined. The mechanism of action of each modifying additive is disclosed, the role of NaF as a flux reducing the viscosity of the silicate mass and promoting the formation of a sintered ceramic structure is studied in detail. The corresponding conclusions are made based on the results of the tests.**

Keywords: **oil production, drilling mud, , recycling, wedging agents.**