

УДК 622.276.66

ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА АЛЮМОСИЛИКАТНЫМИ ПРОПАНТАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ

Третьяк Александр Александрович¹,
aleksandr_bngs@mail.ru

Яценко Елена Альфредовна¹,
tksiww@yandex.ru

Доронин Сергей Владимирович²,
doronin@rusgazburenje.ru

Борисов Константин Андреевич¹,
13020165@mail.ru

Кузнецова Алла Витальевна¹,
alvitkuz@yandex.ru

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

² ООО «РусГазБурение», Россия, 117420, г. Москва, ул. Намёткина, 12а.

Актуальность исследования обусловлена вопросами повышения экологической безопасности при проведении буровых работ и поиском возможных путей снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Одной из причин загрязнения окружающей среды является буровой шлам, представляющий собой смесь выбуренных горных пород и буровых растворов различной степени опасности. Утилизация бурового шлама – сложный и дорогостоящий процесс. Одним из возможных способов переработки бурового шлама является изготовление пропанта с целью последующей закачки его в продуктивный пласт при проведении гидравлического разрыва пласта. Учитывая тенденцию к увеличению доли месторождений с трудноизвлекаемыми запасами в активах нефтегазовых компаний, данное решение является актуальным.

Целью проведенного компьютерного моделирования являлось изучение возможности проведения гидравлического разрыва пласта с закачкой алюмосиликатного пропанта, изготовленного из бурового шлама.

Объект: изготовленный на основе бурового шлама алюмосиликатный пропант и продуктивный пласт-коллектор.

Методы. Выполнены исследования по прогнозному моделированию гидравлического разрыва пласта с закачкой алюмосиликатного пропанта, изготовленного на основе буровых шламов, с применением программного комплекса симулятора гидравлического разрыва пласта «РН-ГРИД».

Результаты. Рассмотренные задачи по прогнозному моделированию гидравлического разрыва пласта с применением алюмосиликатного пропанта, изготовленного на основе буровых шламов, открывают перспективу решения экологических проблем утилизации опасных отходов, образующихся при буровых работах. Анализ характеристик, полученных пропантов и выполненное компьютерное моделирование подтверждают возможность применения данного способа утилизации буровых шламов при использовании на нефтегазовых месторождениях Южного федерального округа.

Ключевые слова:

гидравлический разрыв пласта, концентрация пропанта, буровой шлам, моделирование гидравлического разрыва пласта, округлость частиц, сферичность частиц.

Введение

В настоящее время вектор развития нефтедобывающей промышленности смещается в направлении интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ). На данный момент уже порядка 70 % месторождений можно отнести к данной категории, в связи с чем среди широкого спектра методов интенсификации добычи особое место заняла группа методов гидравлического разрыва пласта (ГРП), ведущая позиция которых обусловлена комплексным увеличением как текущего дебита скважин, так и коэффициента извлечения нефти (КИН) [1–6]. На сегодняшний день ГРП является одним из наиболее распространенных методов увеличения нефтеотдачи пластов. При проведе-

нии пропантного ГРП неотъемлемым элементом являются гранулы пропанта, предназначенные для предотвращения смыкания трещин и сохранения проницаемости трещин после снижения давления [7, 8].

Образующийся только на территории Южного федерального округа в процессе сооружения скважин буровой шлам, достигающий отметки порядка 2500 тыс. т, оказывает негативное влияние на окружающую среду, и его использование путем переработки в алюмосиликатный пропант для последующей интенсификации добычи является приоритетной задачей.

Разработка комплексного подхода к решению экологической и технической задачи включает в себя такие стадии, как: анализ геологических условий месторождения, подбор оптимальной сырьевой смеси

для синтеза пропанта, разработка технологии его изготовления и моделирование процесса ГРП с использованием разработанного пропанта в конкретных горно-геологических условиях.

Для получения высоких технико-экономических показателей необходимо осуществлять контроль параметров ГРП и производить предварительное моделирование движения вязких жидкостей с различными концентрациями пропанта как в призабойной зоне, так и в пласте-коллекторе [9–12].

Постановка задачи

В статье рассматривается возможность проведения ГРП на основании результатов моделирования данного процесса на одном из месторождений Южного федерального округа с применением алюмосиликатных пропантов, изготовленных на основе буровых шламов.

Прежде всего, стоит учитывать, что моделирование ГРП будет производиться на том же участке, где ранее был произведен отбор образцов бурового шлама [13]. Основными минералами, представляющими разрез скважин, являются глинистые породы: монтмориллонит, каолин, а также терригенный кварц, в меньшей степени полевой шпат. В ходе исследований буровых шламов был определен их химический состав (SiO_2 – 62,14 и 35,14 мас. % и Al_2O_3 – 10,26 и 11,01 мас. % соответственно). Лабораторно подтверждена возможность использования шлама в синтезе алюмосиликатных пропантов. В шламах в достаточном количестве присутствуют следующие фазы: α -кварц, монтмориллонит и алюмосиликаты, которые являются необходимыми в получении силикатных материалов [14].

При проведении лабораторных исследований определен оптимальный состав сырьевой смеси для синтеза пропантов, мас. %: буровой шлам – 80; стеклобой БТ-1 – 20, порошок Al_2O_3 (сверх 100 мас. %) – 5 и порошок NaF (сверх 100 мас. %) – 4. Параметры изготавливаемых в лабораторных условиях пропантов приведены в табл. 1 [15].

Таблица 1. Основные параметры изготовленных алюмосиликатных пропантов

Table 1. Main parameters of manufactured aluminosilicate propanants

Сферичность/округлость Sphericity/roundness	Размеры гранул, мм Dimensions of granules, mm	Средний размер гранул, мм Average granule size, mm	Насынная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	Пористость, % Porosity, %
0,8/0,9	0,6–1,1	0,85 мм	~1450	~ 34

Для проведения моделирования процесса ГРП были подобраны образцы пропантов с пределом прочности на сжатие, соответствующие требованиям ГОСТ Р 51761-2013 «Пропанты алюмосиликатные. Технические условия». Основные образцы приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физические характеристики образцов алюмосиликатных пропантов

Table 2. Physical characteristics of samples of aluminosilicate propanants

№ состава Composition number	Плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Коэффициент спекания Sintering ratio	Прочность, МПа (psi) Strength, MPa (psi)
1	1799,82	1,07	56,11(8138,07)
2	1840,49	1,08	67,57 (9800,19)
3	1848,08	1,07	73,58 (10671,88)
4	1406,48	0,98	46,57(6754,41)

Для дальнейшего моделирования ГРП использовался пропант с размером фракции 16/30 и пределом прочности на сжатие 73,58 МПа. В результате исследований можно сделать предположение, что алюмосиликатный пропант, полученный из бурового шлама, соответствует требованиям ГОСТ и может быть использован при первичном моделировании ГРП на месторождениях Южного Федерального округа.

Материалы и методы моделирования

Основываясь на информации о ранее проведенных ГРП в данном районе, нами были подобраны наиболее оптимальные технические и технологические параметры с учетом особенностей применяемого пропанта.

В качестве программной среды для моделирования был применен симулятор ГРП «РН-ГРИД», к достоинствам которого можно отнести адекватное описание большинства физических явлений, таких как процессы переноса пропанта вдоль трещины, учитывающие при этом оседание пропанта, учет ускорений и торможений пропанта в потоке жидкости, а также бриджинг пропанта в узких местах трещины и повторную мобилизацию пропанта при последующем увеличении раскрытия [16–18].

При проведении исследований была подобрана типовая скважина со следующими основными характеристиками, представленными в табл. 3.

Таблица 3. Технические характеристики скважины

Table 3. Technical characteristics of the well

Глубина спуска эксплуатационной колонны, м Descent depth production casing, m	НКТ, глубина спуска, м Descent depth production tubing, m	Интервалы перфорации, м Perforation range, m	Зенитный угол на забое, градус Zenith angle at the bottom, degree	Азимутальный угол на забое, градус Azimuth angle at bottomhole, degree	Общая продуктивная мощность, м Total productive capacity, m	Пластовое давление, атм Reservoir pressure, atm
1397–1837	1380–1457	1662,6–1665,2 1669,9–1671,1 1674,8–1676,7 1680,5–1680,9 1682,2–1704,6	49,5	170	42	185

Таблица 4. Характеристики продуктивного горизонта
Table 4. Characteristics of the productive horizon

Продуктивный горизонт Productive horizon	Кумская свита Kuma formation	
	Ед. изм Units	Значение Value
Эффективная проницаемость Effective permeability	мД/мD	0,22
Пористость/Porosity	%	26
Модуль Юнга на песчанике Young's modulus on sandstone	ГПа/GPa	19
Модуль Юнга на алевролите Young's modulus on siltstone		29
Коэффициент Пуассона на песчанике Poisson's ratio on sandstone	–	0,18
Коэффициент Пуассона на алевролите Poisson's ratio on siltstone		0,25
Коэффициент фильтрации на песчанике Sandstone filtration coefficient	(м/с ^{0,5}) (m/s ^{0,5})	0,000201
Коэффициент фильтрации на алевролите Siltstone filtration coefficient		0,00074–0,00014
Эффективная мощность (нефте/водо насыщенная) Effective height (oil/water saturated)	м/m	25,4
Общая мощность/General height		40,7
Вязкость нефти/Oil viscosity	сП/сP	1,5
Плотность нефти/Oil density	г/см ³ /g/cm ³	0,85
Давление насыщения Saturation pressure	атм/atm	119,4
Газовый фактор/GOR		270,0
Объемный коэффициент Volume ratio	м ³ /м ³ /m ³ /m ³	1,21
Общая сжимаемость General compressibility	1/атм/1/atm	0,0003
Пластовая температура Reservoir temperature	град C/deg C	60
Интервал перфорации Perforation range	м/m	1662–1704

В геологическом плане рассматриваемая площадь представлена сложно построенной антиклинальной структурой. Месторождение имеет семь продуктивных горизонтов, основным из которых является горизонт кумской свиты, залегающий в интервале от 580 до 2500 м. Его общая мощность может достигать 90 м, а эффективная – 35 м. В стратиграфическом плане

кумская свита представлена зеленовато-серыми и тёмно-серыми глинами, известковистыми, алевроитовыми, слюдистыми, переходящими в мергели, с присыпками алевроита и тонкими прослоями песчаников (не превышают 1 см). Характеристика продуктивного горизонта приведена в табл. 4.

В ходе работ по моделированию было проведено большое количество экспериментов с целью выявления наиболее оптимальных параметров ГРП, были разработаны различные сценарии, включающие варьирование планов обработки, в части расхода закачиваемой жидкости, массы пропанта, вязкости жидкости, а также концентраций пропанта. Основные параметры приведены в табл. 5.

Таблица 5. Диапазоны параметров закачиваемой жидкости и пропанта
Table 5. Injected liquid and proppant parameters ranges

Параметр Parameter	Ед. изм Units	Вариативные значения Variable values	
		от/from	до/to
Масса пропанта Proppant weight	т/t	40	55
Концентрация пропанта Proppant concentration	кг/м ³ kg/m ³	300, 500, 700	
Расход жидкости Fluid flow	м ³ /мин m ³ /min	4	5
Фракция пропанта Proppant fraction	–	16/30	
Объем закачанной жидкости Injected liquid volume	м ³ /м ³	200	300
Объем закачанной смеси Injected mixture volume		280	320
Объем пропантной подушки Cushion proppant volume		85	95

Исходя из базовых вариативных значений технологических параметров, а также характеристик продуктивного горизонта, были отобраны несколько моделей с максимальными концентрациями пропанта 300, 500 и 700 кг/м³, а также размерностью пропанта 16/30, как наиболее удачные и эффективные. Профили трещин с закрепленным раскрытием для данных моделей ГРП представлены на рис. 1–3.

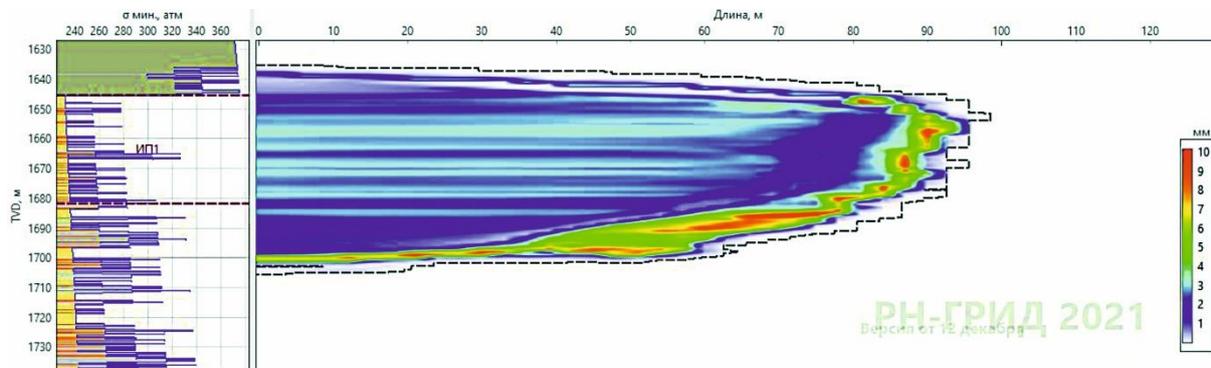


Рис. 1. Профиль трещины с закрепленным раскрытием при концентрации пропанта 300 кг/м³
Fig. 1. Fracture profile with a fixed opening at proppant concentration of 300 kg/m³

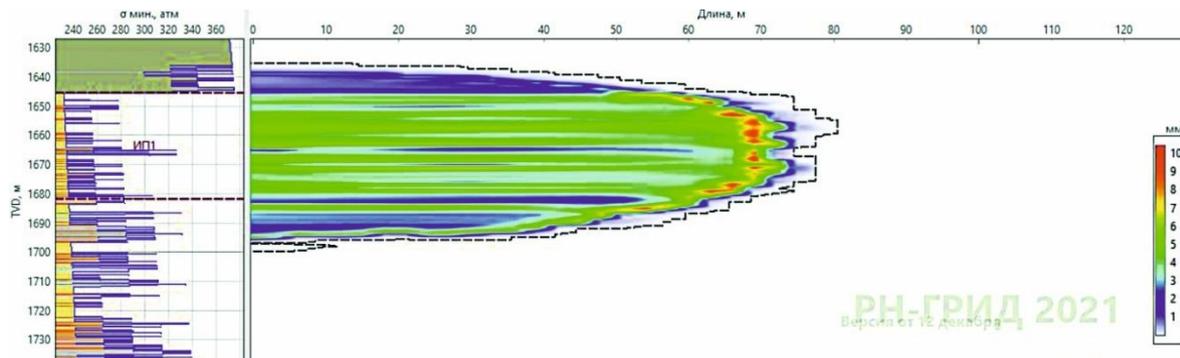


Рис. 2. Профиль трещины с закрепленным раскрытием при концентрации пропанта 500 кг/м^3

Fig. 2. Fracture profile with a fixed opening at proppant concentration of 500 kg/m^3

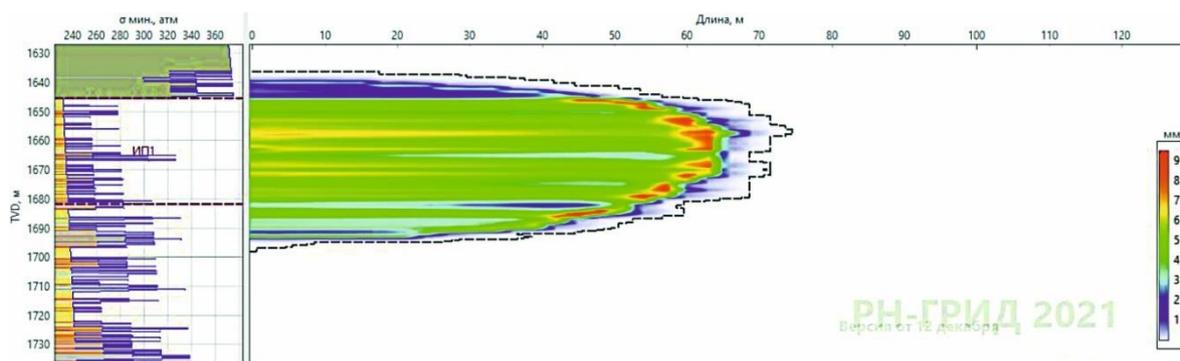


Рис. 3. Профиль трещины с закрепленным раскрытием при концентрации пропанта 700 кг/м^3

Fig. 3. Fracture profile with a fixed opening at proppant concentration of 700 kg/m^3

Таблица 6. Результаты моделирования ГРП

Table 6. Fracturing modeling results

Параметр Parameter	Ед. изм Units	Значение Value
Параметры трещины/Fracture characteristic		
Гидравлическая ширина (максимальная) Hydraulic width (maximum)	мм/mm	21,96
Гидравлическая ширина (средняя) Hydraulic width (medium)		11,26
Средняя концентрация пропанта Average proppant concentration	кг/м ² /kg/m ²	6,952
Средняя проводимость Average conductivity	мД*м/мД*m	2049,495
Средняя проницаемость Average permeability	мД/мД	5,444E+05
Эффективная проводимость Effective conductivity	мД*м/мД*m	1078,269
Эффективная проницаемость Effective permeability	мД/мД	3,232E+05
Безразмерная проводимость Dimensionless conductivity	–	16,14
Параметры давления/Pressure characteristic		
Максимальное давление на устье Maximum wellhead pressure	атм/atm	243,38
Чистое давление (в момент остановки) Net pressure (when stopped)		70,284
Градиент давления смыкания Closing pressure gradient	атм/м/atm/m	0,142
Сводные данные по обработке/Summary of processing data		
Объем закачанной жидкости Injected liquid volume	м ³ /m ³	283,3
Объем закачано смеси Injected mixture volume		301,9
Объем пропантной подушки Cushion proppant volume		90
Процент пропантной подушки Cushion proppant percentage		%

По результатам проведенного моделирования наиболее оптимальной признана модель ГРП с максимальной концентрацией пропанта 700 кг/м^3 , т. к. при данной концентрации эффективная и безразмерная проводимости трещины значительно больше, чем в остальных моделях. Это объясняется тем, что геометрия трещины при меньших концентрациях получается более «размазанной», что подтверждается закачкой жидкости в значительно большем объеме при одинаковой массе применяемого пропанта, и, соответственно, такие модели менее эффективны для дальнейшего дебита. При отсутствии дополнительных рисков (трение, извилистость и прочее) [19] большую эффективность показывает модель с концентрацией пропанта 700 кг/м^3 . Основные результаты моделирования ГРП приведены в табл. 6.

При переходе от моделирования к проведению реального процесса ГРП с наличием большого числа геомеханических параметров с высокой степенью неопределенности стоит отметить отсутствие готовых типовых решений для изготовления пропанта из шлама и его дальнейшего применения. Каждая скважина по-своему уникальна, и все технологические операции должны быть доработаны с учетом возможных рисков, способных оказать негативное влияние на общий процесс увеличения дебита скважины [20].

Заключение

В виду особенностей курса развития нефтедобывающей промышленности, в частности, повышения эффективности разработки месторождений с трудно

извлекаемыми запасами углеводородов, а также снижения экологической нагрузки, за счет переработки отходов бурения, в частности бурового шлама, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Техногенные отходы, образующиеся при сооружении скважин, являются ценным сырьем при вторичной их переработке в новые материалы и изделия, в частности пропанты, изготовленные из бурового шлама, и полностью удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51761-2013 «Пропанты алюмосиликатные. Технические условия», с учетом дополнительной обработки.
2. По результатам моделирования процесса ГРП в условиях типового нефтегазового месторождения Южного Федерального округа возможно применение пропантов, изготовленных из бурового шлама, которые продемонстрировали наилучшие показате-

тели на модельной скважине при максимальной концентрации в 700 кг/м^3 и общей массе 50 т.

3. При переходе к промышленной переработке буровых шламов в алюмосиликатные пропанты открывается широкая перспектива разработки месторождений углеводородов, представленных сложными, слабопроницаемыми коллекторами, с применением гидравлического разрыва пласта, не усугубляющая экологическую обстановку в районе проведения работ.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках Соглашения № 20-79-10142 «Разработка эффективной технологии синтеза алюмосиликатных пропантов с использованием отходов бурения нефтегазовых скважин Южного федерального округа» (руководитель Александр Александрович Третьяк).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Criteria for selecting a candidate well for hydraulic fracturing / F.R. Heydarabadi, J. Moghadasi, Gh. Safian, R. Ashena // Nigeria Annual International Conference and Exhibition. – Tinara, Calabar, Nigeria, July 2010. DOI: 10.2118/136988-MS
2. Семкина А.А., Епифанов Ю.Г., Романько В.В. Обзор методов воздействия в карбонатных коллекторах // Журнал передовых исследований в области естествознания. – 2022. – № 16. – С. 92–95. DOI: 10.26160/2572-4347-2022-16-92-95
3. Опыт разработки низкопроницаемых коллекторов тюменской свиты Краснотинского месторождения в АО «РН-Няганьнефтегаз» / Ю.А. Плиткина, Д.П. Патраков, А.С. Глебов, И.А. Лиходед, Д.В. Емельянов // Нефтяная провинция. – 2019. – № 2 (18). – С. 72–100. DOI: 10.25689/NP.2019.2.72-100
4. Нуриев А.А. Некоторые аспекты проведения гидравлического разрыва пласта в нефтематеринских породах // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20. – № 1. – С. 39–44. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-1-39-44
5. Савенок О.В., Иолчужев А.М. Увеличение КИН методом ГРП для довыработки запасов на Северо-Нефтяном месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2018. – № 2. – С. 142–159.
6. Исследование геомеханических свойств пород-коллекторов для уточнения дизайна гидроразрыва пласта / Э.Р. Агишев, Г.С. Дубинский, В.Ш. Мухаметшин, З.Н. Сагитова // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14. – № 2 (52). – С. 310–320. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-310-320
7. Experimental study of friction reducer flows in microfracture / S. Yongpeng, W. Qihua, W. Mingzhen, B. Baojun, M. Yinfa // Fuel. – 2014. – V. 131. – P. 28–35. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.04.050
8. Friction challenge in hydraulic fracturing / Y. Guo, M. Zhang, H. Yang, D. Wang, M. Ramos, T. Hu // Lubricants. – 2022. – V. 10. – № 2. – P. 14. DOI: 10.3390/lubricants10020014
9. A review of hydraulic fracturing simulation / B. Chen, B. Barboza, Y. Sun, J. Bai, T. Hywel, M. Dutko, M. Cottrell, C. Li // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2022. – V. 29. – P. 1–58. DOI: 10.1007/s11831-021-09653-z
10. The use of hydraulic fracturing in stimulation of the oil and gas wells in Romania / I. Pana, I.V. Ghetiu, I.G. Stan, F. Dinu, G. Branou, S. Suditu // Sustainability. – 2022. – V. 14. – № 9:5614. – P. 33. DOI: 10.3390/su14095614
11. Khodaverdian M., McElfresh P. Hydraulic fracturing stimulation in poorly consolidated sand: mechanisms and consequences // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Dallas, Texas, October 2000. SPE-63233-MS. DOI: 10.2118/63233-MS.
12. Md Yusof M.A., Mahadzir N.A. Development of mathematical model for hydraulic fracturing design // J Petrol Explor Prod Technol. – 2015. – V. 5. – P. 269–276. DOI: 10.1007/s13202-014-0124-z
13. Технология очистки и рециклинга бурового раствора / А.А. Третьяк, Е.А. Яценко, К.А. Борисов, Е.В. Карельская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 62–70. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3560
14. Идентификация отходов бурения и их использование / А.А. Третьяк, Е.А. Яценко, С.А. Онофриенко, Е.В. Карельская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332/ – № 2. – С. 36–43. DOI: 10.18799/24131830/2021/2/3041
15. Чумаков А.А., Яценко Е.А., Третьяк А.А. Влияние фторида натрия и оксида алюминия на прочностные характеристики алюмосиликатных пропантов, полученных на основе бурового шлама // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2022. – № 2. – С. 40–46. DOI: 10.17213/1560-3644-2022-2-40-46
16. Валидация модели трещины гидроразрыва Planar3D, реализованной в корпоративном симуляторе «РН-ГРИД» / А.В. Пестриков, А.Б. Пещеренко, М.С. Гребельник, И.М. Ямилов // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 11. – С. 46–50. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-11-46-50
17. Корпоративный симулятор гидроразрыва пласта «РН-ГРИД»: от программной реализации к промышленному внедрению / А.А. Ахтямов, Г.А. Макеев, К.Н. Байдуков и др. // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 94–97. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-94-97
18. Егоров А.А. Отечественный флагманский продукт «Роснефть» – «РН-ГРИД» симулятор моделирования гидроразрыва пласта (ГРП) // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. – 2021. – № 2 (44). – С. 12–27.
19. Елисеев П.И. Сопоставление результатов моделирования в симуляторе «РН-ГРИД» с промысловыми исследованиями гравитационной дифференциации пропанта в процессе смыкания трещины гидроразрыва в низкопроницаемом коллекторе // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 12. – С. 117–121. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-12-117-121
20. Bennour Z., Mahmud W.M., Ermila M. Effect of multiple fracture initiation on the accuracy of hydraulic fracturing simulation // Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. – V. 11: Petroleum Technology. – Virtual, Online, 2020, August 3–7. DOI: 10.1115/OMAE2020-18590

Поступила: 15.02.2023 г.

Прошла рецензирование: 10.03.2023 г.

Информация об авторах

Третьяк А.А., доктор технических наук, доцент, декан факультета геологии, горного и нефтегазового дела Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова.

Яценко Е.А., доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой общей химии и технологии силикатов технологического факультета Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова.

Доронин С.В., первый заместитель генерального директора ООО «РусГазБурение».

Борисов К.А., кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазовой техники и технологий факультета геологии, горного и нефтегазового дела Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова.

Кузнецова А.В., кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники факультета информационных технологий и управления Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова.

UDC 622.276.66

PREDICTIVE MODELING OF HYDRAULIC FRACTURING BY ALUMINOSILICATE PROPPANTS MADE BASED ON DRILL CUTTINGS

Alexander A. Tretyak¹,
aleksandr_bngs@mail.ru

Elena A. Yatsenko¹,
tksiww@yandex.ru

Sergey V. Doronin²,
doronin@rusgazburenje.ru

Konstantin A. Borisov¹,
13020165@mail.ru

Alla V. Kuznetsova¹,
alvitkuz@yandex.ru

¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
132, Prosveshcheniya street, Novocherkassk, 346428, Russia.

² LLC «RusGazBurenje»,
12a, Nametkin street, Moscow, 117420, Russia.

The relevance of the study is caused by the issues of improving environmental safety during drilling and the search for possible ways to reduce the anthropogenic load on the environment. One of the causes of environmental pollution is drill cuttings, which is a mixture of drilled rocks and drilling fluids of varying degrees of danger. Disposal of drill cuttings is a complex and expensive process. One of the possible ways of processing drill cuttings is the production of propane for the purpose of its subsequent injection into the productive formation during hydraulic fracturing. Given the tendency to increase the share of fields with hard-to-recover reserves in the assets of oil and gas companies, this decision is relevant.

The purpose of the computer simulation was to study the possibility of hydraulic fracturing with injection of aluminosilicate proppant made from drill cuttings.

The object: aluminosilicate proppant made based on drill cuttings and a productive reservoir.

Methods. Studies were carried out on predictive modeling of hydraulic fracturing with injection of aluminosilicate proppant made based on drill cuttings using the software package of the hydraulic fracturing simulator «RN-GRID».

Results. The considered tasks of predictive modeling of hydraulic fracturing with the use of aluminosilicate proppant made based on drill cuttings opens up a broad perspective of solving environmental of hazardous waste generated during drilling operations. The analysis of the characteristics of the obtained proppant and the computer modeling performed confirm the possibility of using this method of disposal of drill cuttings when used in the oil and gas fields of the Southern Federal District

Key words:

Hydraulic fracturing, proppant concentration, drill cuttings, modeling of hydraulic fracturing, roundness of particles, sphericity of particles.

The research was carried out at the FSEI HE «M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI)» and financially supported by the Russian Science Foundation within the agreement no. 20-79-10142 «Development of the effective technology of the synthesis of aluminosilicate proppants using the oil and gas well drilling wastes in Southern Federal District» (project leader Aleksandr A. Tretyak).

REFERENCES

- Heydarabadi F.R., Moghadasi J., Safian Gh., Ashena R. Criteria for selecting a candidate well for hydraulic fracturing. *Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. Tinapa, Calabar, Nigeria, July 2010. Available at: <https://doi.org/10.2118/136988-MS> (accessed 1 February 2023).
- Semakina A.A., Epifanov Yu.G., Romanko V.V. Overview of methods impacts in carbonate reservoirs. *Journal of advanced research in natural science*, 2022, no. 16, pp. 92–95. In Rus. Available at: <https://doi.org/10.26160/2572-4347-2022-16-92-95> (accessed 1 February 2023).
- Plitkina Yu.A., Patrakov D.P., Glebov A.S., Likhodod I.A., Emel'yanov D.V. Development experience of low permeable reservoirs of Tyumen suite of krasnoleninskoye field RN-Nyaganneftegas JSC. *Neftyanaya Provintsiya*, 2019, no. 2 (18), pp. 72–100. In Rus. DOI: 10.25689/NP.2019.2.72-100.
- Nuriev A.A. On the aspects of hydraulic fracturing in source rock. *Petroleum Engineering*, 2022, vol. 20, no. 1, pp. 39–44. In Rus. Available at: <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2022-1-39-44> (accessed 1 February 2023).
- Savenok O.V., Iolchuev A.M. The increase in the oil recovery factor by the hydraulic fracturing method for additional development of reserves on the Severo-Neftyanoye field. *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*, 2018, no. 2, pp. 142–159. In Rus.
- Agishev E.R., Dubinsky G.S., Mukhametshin V.Sh., Sagitova Z.N. Study of reservoir rocks geomechanical properties for the hydraulic fracturing design. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 310–320. In Rus. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-310-320.
- Yongpeng S., Qihua W., Mingzhen W., Baojun B., Yinfa M. Experimental study of friction reducer flows in microfracture. *Fuel*, 2014, vol. 131, pp. 28–35. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.04.050.

8. Guo Y., Zhang M., Yang H., Wang D., Ramos M., Hu T. Friction challenge in hydraulic fracturing. *Lubricants*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 14. DOI: 10.3390/lubricants10020014.
9. Chen B., Barboza B., Sun Y., Bai J., Thomas H., Dutko M., Cottrell M., Li C. A Review of Hydraulic Fracturing Simulation. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2021, vol. 29, pp. 1–58. DOI: 10.1007/s11831-021-09653-z.
10. Pana I., Ghetiu I.V., Stan I.G., Dinu F., Branoiu G., Suditu S. The use of hydraulic fracturing in stimulation of the oil and gas wells in Romania. *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 9:5614, pp. 33. DOI: 10.3390/su14095614.
11. Khodaverdian M., McElfresh P. Hydraulic fracturing stimulation in poorly consolidated sand: mechanisms and consequences. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Dallas, Texas, October 2000. SPE–63233–MS. DOI: 10.2118/63233-MS.
12. Md Yusof M.A., Mahadzir N.A. Development of mathematical model for hydraulic fracturing design. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 2015, no. 5, pp. 269–276. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13202-014-0124-z> (accessed 1 February 2023).
13. Tretyak A.A., Yatsenko E.A., Borisov K.A., Karelskaya E.V. Drilling mud cleaning and recycling technology. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 2, pp. 62–70. In Rus. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3560.
14. Tretyak A.A., Yatsenko E.A., Onofrienko S.A., Karelskaya E.V. Identification of drilling wastes and their use. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 2, pp. 36–43. DOI: 10.18799/24131830/2021/2/3041
15. Chumakov A.A., Yatsenko E.A., Tretyak A.A. Influence of sodium fluoride and aluminum oxide on the strength characteristics of aluminosilicate proppants obtained on the basis of drill cuttings. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2022; no. 2 (214), pp. 40–46. In Rus. DOI: 10.17213/1560-3644-2022-2-40-46
16. Pestrikov A.V., Peshcherenko A.B., Grebelnik M.S., Yamilev I.M. Validation of the Planar3D hydraulic fracture model implemented in the corporate simulator RN-GRID. *Oil Industry Journal*, 2018, no. 11, pp. 46–50. In Rus. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-11-46-50.
17. Akhtyamov A.V., Makeev G.A., Baydyukov K.N., Muslimov U.S., Matveev S.N., Pestrikov A.V., Rezaev S.N. Corporate fracturing simulator RN-GRID: from software development to in-field implementation. *Oil Industry Journal*, 2018, no. 5, pp. 94–97. In Rus. DOI: 10.24887/0028-2448-2018-5-94-97
18. Egorov A.A. Domestic flagship product «ROSNEFT» – «RN-GRID» simulator simulation of hydraulic facing (HF). *Avtomatizacia i IT v neftegazovoy oblasti*, 2021, no. 2 (44), pp. 12–27. In Rus.
19. Eliseev P.I. Comparing simulation results in the RN-GRID software with field research of proppant gravity differentiation in the process of closing a hydraulic fracture in a low-permeability reservoir. *Oil Industry Journal*, 2021, no. 12, pp. 117–121. In Rus. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-12-117-121
20. Bennour Z., Mahmud W.M., Ermila M. Effect of multiple fracture initiation on the accuracy of hydraulic fracturing simulation. *Proceedings of the ASME 2020 39th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. Vol. 11: *Petroleum Technology*. Virtual, Online. August 3–7, 2020. Paper no. OMAE2020-18590, V011T11A014. ASME. P.7. DOI: 10.1115/OMAE2020-18590

Received: 15 February 2023.

Reviewed: 10 March 2023.

Information about the authors

Alexander A. Tretyak, Dr.Sc., associate professor, dean of the Faculty of geology, mining and petroleum engineering, M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI).

Elena A. Yatsenko, Dr. Sc., professor, head of the General chemistry and technology of silicates department, M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI).

Sergey V. Doronin, first deputy general director, LLC «RusGazBurenie».

Konstantin A. Borisov, Cand. Sc., associate professor, M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

Alla V. Kuznetsova, Cand. Sc., associate professor, M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).