ISSN 2712-8008
Том / Volume 25 №4 2025
Домашняя страница журнала: https://ered.pstu.ru/index.php/geo
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622.276.66
Статья / Article
© ПНИПУ / PNRPU, 2025

Разработка матрицы для выбора оптимальной технологии гидравлического разрыва пласта

Р.Р. Сахибгараев

ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина (Российская Федерация, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75а)

Development of Matrix for Selection of Optimal Hydraulic Fracturing Technology

Ramis R. Sakhibgaraev

PJSC TATNEFT named after V.D. Shashin (75a Lenina st., Almetyevsk, 423450, Russian Federation)

Получена / Received: 02.06.2025. Принята / Accepted: 31.10.2025. Опубликована / Published: 21.11.2025

Ключевые слова:
гидроразрыв пласта, геомеханическое моделирование, безразмерная проводимость трещины, оптимизация параметров производства ГРП, высоковязкие жидкости ГРП, маловязкие жидкости ГРП, матрица выбора технологии ГРП.

Рассматривается гидроразрыв пласта (ГРП) как один из эффективных методов интенсификации добычи углеводородов в условиях роста доли трудноизвлекаемых запасов. Особое внимание уделяется проведению ГРП в осложненных геологических условиях, где критически важно контролировать высоту трещины и формировать оптимальную ее геометрию. Основным критерием оптимальной геометрии трещины ГРП выступает параметр безразмерной проводимости и отсутствия прорыва глинистой перемычки. Достижение оптимальной геометрии обеспечивает существенное повышение продуктивности скважин и интенсификацию добычи углеводородов.
Приведены результаты детального анализа влияния расхода жидкости ГРП и объема жидкости на буферной стадии для различных типов жидкостей – как высоковязких, так и маловязких. Моделирование вариантов производилось в среде симулятора ГРП для условий пашийского горизонта Ромашкинского месторождения. На основе полученных результатов разработана практическая матрица выбора технологии ГРП, включающая конкретные рекомендации по определению оптимальных параметров закачки в зависимости от типа используемой жидкости.
В работе отмечается, что успешность проведения ГРП на 40–47 % зависит от правильного подбора параметров закачки и характеристик применяемых жидкостей. При этом особое значение имеет способность контролировать распространение трещины в пласте, что напрямую влияет на эффективность операции и минимизацию рисков осложнений в виде прорыва трещины в нижележащий водонасыщенный пласт.
Практическая значимость исследования заключается в формировании четких критериев выбора технологии ГРП в зависимости от конкретных геологических условий и характеристик пласта. Разработанная матрица позволяет инженерам-проектировщикам принимать обоснованные решения при планировании операций ГРП, учитывая как тип используемой жидкости, так и специфические геологические особенности разрабатываемого месторождения.
Исследование представляет особый интерес для специалистов в области разработки нефтяных и газовых месторождений и персонала, занимающегося планированием и реализацией операций ГРП. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых и оптимизации существующих технологий ГРП.

Keywords:
hydraulic fracturing, geomechanical modeling, dimensionless fracture conductivity, optimization of fracture design, high-viscosity fracturing fluids, low-viscosity fracturing fluids, fracturing technology selection matrix.

The paper considers hydraulic fracturing as one of the efficient methods for stimulation of hydrocarbon production amid ever-increasing share of unconventional reserves with special focus to hydraulic fracturing applications in complex geological conditions, where fracture height containment and optimal fracture geometry are crucial. The main criterion for optimal hydraulic fracture geometry is dimensionless conductivity and intact shale barrier. Optimal geometry ensures substantial increase in well productivity and hydrocarbon production.
Results of detailed analysis of the effects of fracturing fluid flow rate and volume during the pad stage for various types of fluids (high- and low-viscosity) are presented. Hydraulic fracturing scenarios were simulated in specialized simulator for the conditions of Pashian sediments of Romashkinskoye field. The obtained results were used as basis for the developed practical matrix for selection of fracturing technology, comprising specific recommendations for determination of optimal injection parameters depending on fluid type.
It is noted that 40–47% of fracturing treatment success depends on adequate selection of injection parameters and fluids characteristics. Of special importance is the ability to control fracture propagation within the reservoir, which has a direct impact on treatment efficiency and minimizing the risk of fracturing an underlying aquifer bed.
The present research is practically useful because it provides clear criteria for selection of hydraulic fracturing technology depending on specific geological conditions and reservoir characteristics. The developed selection matrix allows reservoir engineers to make informed decisions while planning hydraulic fracturing operations considering both fracturing fluid type and geology aspects of the field under development.
The paper is of particular interest to oil and gas reservoir engineers and personnel involved in planning and implementation of hydraulic fracturing treatments. The present research findings can be used for development of new and optimization of the existing hydraulic fracturing technologies.

Сахибгараев Рамис Расилевич – главный специалист по проектированию (e-mail: sakhibgaraevrr@tatneft.ru, тел.: +007 (904) 460 81 73).

Ramis R. Sakhibgaraev (Author ID in Scopus: 56800851200, ORCID: 0009-0000-3130-8268) – Chief Specialist for design (e-mail: sakhibgaraevrr@tatneft.ru, tel.: +7 (904) 460 81 73).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:
Сахибгараев, Р.Р. Разработка матрицы для выбора оптимальной технологии гидравлического разрыва пласта / Р.Р. Сахибгараев // Недропользование. – 2025. – Т.25, №4. – С. 382–387. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.13

Please cite this article in English as:
Sakhibgaraev R.R. Development of Matrix for Selection of Optimal Hydraulic Fracturing Technology. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2025, vol.25, no.4, pp. 382-387. DOI: 10.15593/2712-8008/2025.4.13

Введение

В современных условиях разработки нефтегазовых месторождений наблюдается тенденция к росту доли трудноизвлекаемых запасов, что сопровождается стабилизацией объема извлекаемых запасов, увеличением обводненности продукции и переходом месторождений в позднюю стадию разработки [1, 2]. Данные реалии требуют применения инновационных методов интенсификации добычи.

Одним из наиболее эффективных методов увеличения нефтеотдачи в сложившейся ситуации является технология гидроразрыва пласта (ГРП). Особую актуальность приобретает применение данной технологии с использованием облегченных пропантов на основе маловязкой жидкости, что позволяет оптимизировать процесс воздействия на пласт и повысить эффективность добычи. Эффективность операции ГРП во многом зависит от геометрии образующейся трещины, которая определяется комплексом факторов, включая напряженное состояние горных пород, свойства жидкостей ГРП и параметры проведения операции [3]. При этом особое значение имеет контроль за развитием трещины для достижения оптимальной геометрии, обеспечивающей максимальную продуктивность скважины.

Целью данного исследования является комплексное изучение влияния ключевых параметров проведения ГРП, таких как расход рабочей жидкости, объем буферной стадии и характеристики используемых материалов на геометрию образующейся трещины. На основе полученных данных моделирования разработана матрица оптимизации технологических параметров для достижения максимальной эффективности процесса с учетом геомеханических особенностей пласта.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности добычи на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, и поиска оптимальных решений для увеличения коэффициента извлечения нефти в условиях растущей доли трудноизвлекаемых запасов. Особое внимание уделяется разработке методик, позволяющих прогнозировать поведение трещины при различных режимах проведения ГРП и создавать трещины оптимальной геометрии для конкретных геолого-технических условий.

Материалы и методы

В рамках исследования проведено моделирование процесса ГРП с использованием жидкостей различной вязкости. Моделирование осуществлялось в специализированном программном комплексе с целью определения оптимальных параметров проведения ГРП в осложненных геолого-промысловых условиях. Методологическая основа исследования базировалась на следующих ключевых положениях:

1. Оптимальный дизайн ГРП рассматривается как индивидуальное решение для каждой скважины, учитывающее специфику геолого-промысловых условий.

2. В рамках математической модели отсутствует универсальная оптимальная масса пропанта. Вместо этого определяется оптимальная геометрия трещины, обеспечивающая целевое значение безразмерной проводимости трещины.

3. Установлена константа оптимальной безразмерной проводимости трещины (C_{fD} = 1,6), являющаяся инвариантной величиной для практически реализуемых чисел пропанта (Np = 1) [4]:

$$C_{fD} = \frac{k_f w}{k x_f} \approx 1{,}6, \quad (1)$$

где x_f – полудлина трещины; k_f – проницаемость пропанта; k – проницаемость породы; w – средняя ширина трещины.

При проведении моделирования в программном комплексе «РН-ГРИД» осуществлялось последовательное изменение следующих параметров:

1. Расход жидкости ГРП.
2. Объем буферной стадии ГРП.

В ходе исследования проводился сравнительный анализ двух разновидностей жидкостей для ГРП: маловязкой и высоковязкой.

Для комплексной оценки их эффективности выбраны следующие ключевые параметры:

– геометрические характеристики трещины (длина, высота, ширина);

– безразмерная проводимость сформированной трещины ГРП.

Такой подход к оценке позволил получить полную картину эффективности каждой системы и определить оптимальные условия их применения в различных геологических условиях.

В результате комплексного исследования влияния ключевых параметров производства ГРП на эффективность добычи нефти сформирована матрица выбора оптимальной технологии ГРП, учитывающая геологические особенности продуктивного пласта и позволяющая создать наиболее эффективную геометрию трещины [5]. Матрица базируется на многофакторном анализе, включающем оценку эффективности жидкости ГРП, механических свойств породы и распределения напряжений в пласте [5]. При этом особое внимание уделяется балансу между длиной и шириной трещины, что обеспечивает максимальную выработку запасов при оптимальных экономических показателях.

Влияние расхода жидкости ГРП на геометрию трещины

В ходе моделирования процесса ГРП проведено исследование влияния расхода рабочей жидкости на характеристики формируемой трещины при использовании высоковязкой и маловязкой жидкостей разрыва. Эксперимент проводился в среде симулятора ГРП «РН-ГРИД» при постоянной массе пропанта для обеспечения сопоставимости результатов.

Диапазон исследуемых расходов составил от 2,8 до 3,8 м^3/мин. Моделирование показало существенные различия в поведении трещины при использовании жидкостей с различными реологическими свойствами (рис. 1).

В ходе исследования установлено существенное влияние реологических свойств рабочей жидкости на формирование геометрии трещины ГРП [6].

При использовании высоковязкой жидкости максимальная безразмерная проводимость трещины достигается при расходе 3,0–3,2 м^3/мин. Характерной особенностью данного типа жидкости является стабильность длины трещины при одновременном увеличении ее ширины и высоты [7].

В случае применения низковязкой жидкости оптимальная безразмерная проводимость наблюдается при расходе 3,6–3,8 м^3/мин. Отличительной особенностью является пропорциональное увеличение длины трещины в зависимости от расхода жидкости при сохранении постоянной высоты трещины ГРП и одновременном снижении ее ширины.

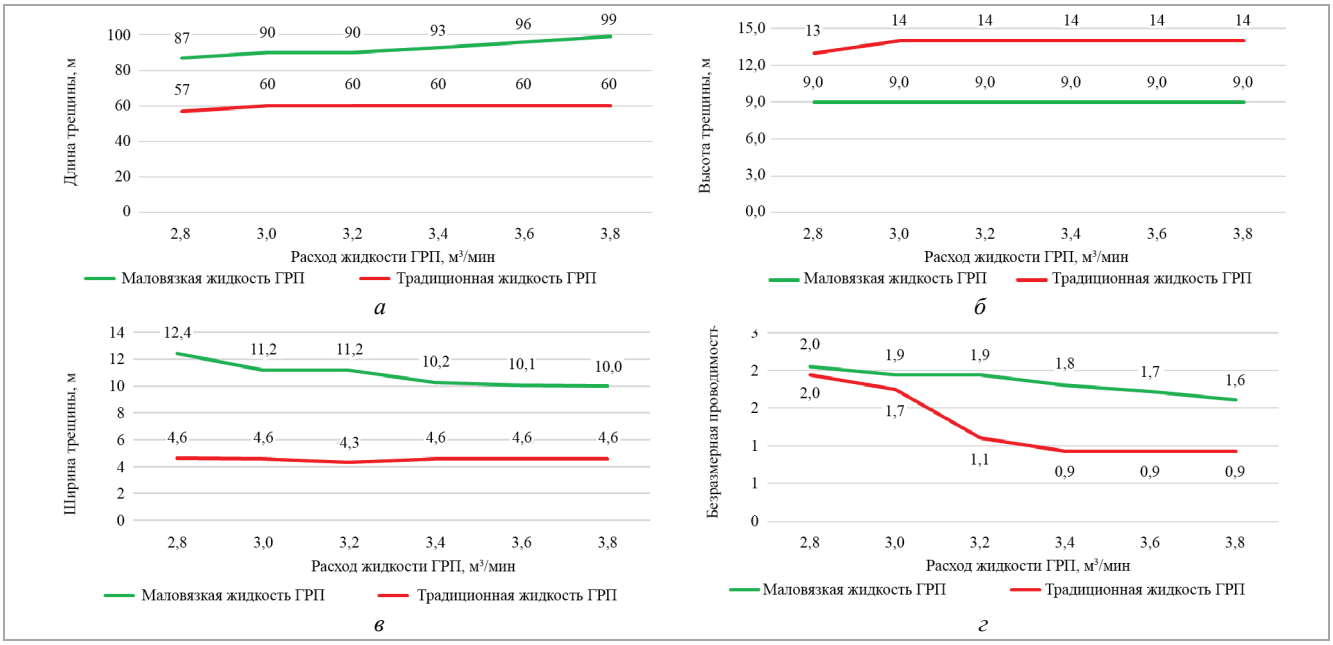


Рис. 1. Влияние расхода жидкости ГРП на геометрию трещины: *а* – закрепленная полудлина; *б* – закрепленная высота; *в* – ширина; *г* – безразмерная проводимость

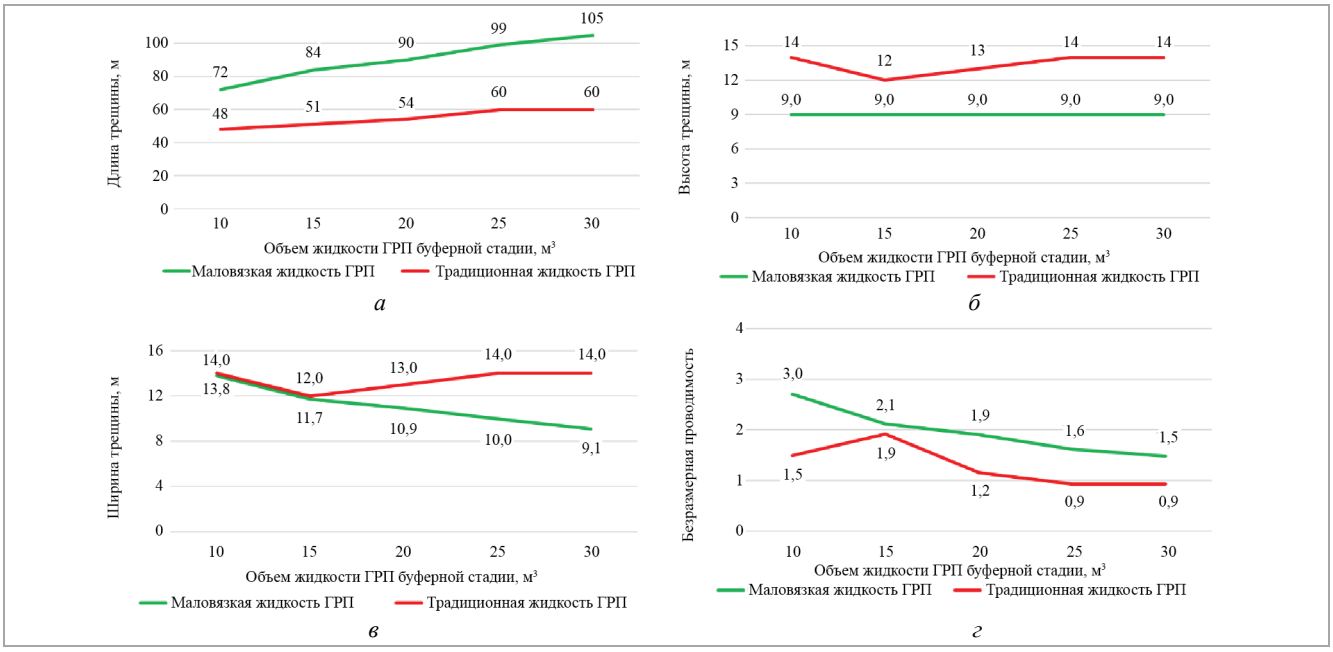


Рис. 2. Влияние буферной стадии ГРП на геометрию трещины: *а* – закрепленная полудлина; *б* – закрепленная высота; *в* – ширина; *г* – безразмерная проводимость

Влияние объема жидкости ГРП буферной стадии на геометрию трещины

При проведении ГРП существенное влияние на эффективность процесса оказывают параметры закачки рабочей жидкости [8]. В результате проведенных исследований установлено, что для достижения оптимальной безразмерной проводимости необходимо учитывать расход жидкости ГРП.

Экспериментальные данные демонстрируют, что высоковязкие жидкости ГРП обеспечивают максимальную эффективность при расходе 3 м³/мин, тогда как для маловязких жидкостей данный показатель должен составлять 3,8 м³/мин. Данная дифференциация обусловлена необходимостью компенсации влияния вязкости на транспортные характеристики и формирование трещины.

Объем буферной стадии представляет собой еще один критически важный параметр, определяющий гидравлическую геометрию трещины и условия размещения пропанта в целевом пласте. Реологические свойства используемых жидкостей существенным образом влияют на требуемый объем жидкости ГРП в буферной стадии. Высоковязкие жидкости, характеризующиеся повышенной способностью к транспортировке пропанта и сниженными утечками в пласт, требуют меньшего объема буферной стадии. В то время как маловязкие жидкости нуждаются в увеличенном объеме для обеспечения необходимой гидравлической ширины и эффективного транспорта пропанта в связи с высокими значениями утечек в пласт [9].

С целью учета реологических характеристик используемых жидкостей для достижения максимальной

безразмерной проводимости трещины моделирование в симуляторе ГРП производилось для различных объемов буферной стадии ГРП [10].

Результаты моделирования процесса ГРП (рис. 2) позволили установить оптимальные параметры буферной стадии для различных типов жидкостей разрыва.

В ходе исследования установлено, что для высоковязких жидкостей ГРП требуется меньший объем буферной жидкости – 10–15 м^3 (31–39 % от общего объема), при этом обеспечивается эффективная закачка 8 т пропанта и достигается оптимальная безразмерная проводимость трещины.

В то же время для маловязких жидкостей ГРП необходим значительно больший объем буферной жидкости – 25–30 м^3 (50–56 % от общего объема).

Полученные результаты демонстрируют существенную разницу в требованиях к буферной стадии в зависимости от реологических характеристик жидкости разрыва. При переходе от высоковязких к маловязким жидкостям наблюдается более чем двукратное увеличение необходимого объема буферной жидкости.

Сравнительный анализ эффективности различных систем жидкостей ГРП

Успешность операции ГРП во многом определяется характеристиками используемой жидкости разрыва. Технологическая жидкость должна соответствовать ряду важных требований: иметь минимальное количество для создания длинных трещин, обладать высокой несущей способностью для эффективной транспортировки пропанта, иметь низкое гидравлическое сопротивление и достаточную сдвиговую устойчивость. Особое значение имеет способность жидкости к регулируемой деградации в пластовых условиях без образования нерастворимого осадка, который может снизить проницаемость пласта.

В рамках исследования изучены три типа жидкостей ГРП: маловязкая жидкость (МВЖ), высоковязкая жидкость (ВВЖ) № 1 и 2. Оценка эффективности проводилась по следующим параметрам: длина трещины, высота трещины, ширина трещины и безразмерная проводимость трещины ГРП (рис. 3).

Применение маловязкой жидкости приводит к формированию трещины с увеличенной длиной, но низкой высотой. Статистический анализ показывает снижение высоты трещины на 40–47 % по сравнению с трещинами, образованными при использовании традиционных жидкостей ГРП. Данный эффект обусловлен реологическими характеристиками маловязкой жидкости, что не дает удерживать в трещине высокое давление. Важно отметить, что МВЖ особенно эффективна в осложненных геологических условиях, где существует риск прорыва в нижележащие водонасыщенные пласты, так как формирование невысокой, но длинной трещины минимизирует риск нежелательного сообщения с водонасыщенными пластами.

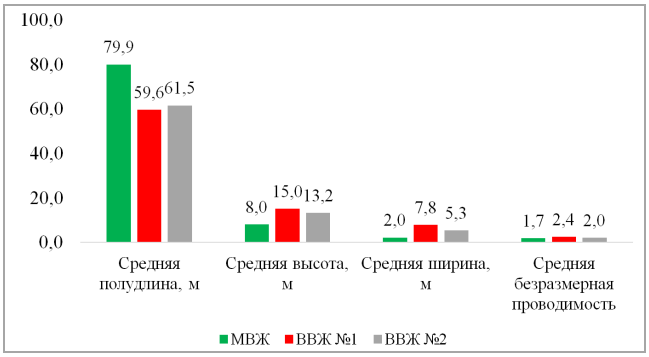


Рис. 3. Результаты сравнительного анализа ГРП за 2022–2024 гг.

Система ВВЖ-1 демонстрирует наилучшие показатели по ширине трещины и проводимости, что указывает на оптимальное сочетание реологических и песконесущих свойств.

Система ВВЖ-2 показывает сбалансированные характеристики, занимая промежуточное положение по всем параметрам.

Выбор оптимальной системы жидкости ГРП должен учитывать:

– требуемые геометрические параметры трещины;

– геологические особенности строения пластов (проницаемость пласта, наличие рисков прорыва).

Высоковязкие системы рекомендуются применять для стандартных геологических условий для создания трещины с приемлемыми показателями по геометрии и проводимости [11].

Маловязкая жидкость эффективна при необходимости формирования длинной трещины даже при относительно низкой проводимости, особенно в тех случаях, когда необходимо минимизировать риски взаимодействия с нижележащими водонасыщенными пластами.

Матрица для выбора оптимальной технологии ГРП

В работе [12] для Ромашкинского месторождения определены критерии подбора скважин – кандидатов для производства ГРП с использованием маловязких жидкостей ГРП:

– общие трения по результату ниже 90 атм;

– градиент напряжений ниже 0,140 атм/м;

– эффективность жидкости ГРП выше 25 %.

Практическая значимость исследования заключается в создании методического подхода к планированию ГРП, позволяющего оптимизировать параметры процесса с учетом характеристик применяемых жидкостей и геолого-технических условий пласта. Предложенные решения могут быть использованы при проектировании ГРП в конкретных геологических условиях, что способствует повышению эффективности стимуляции продуктивности скважин (таблица).

Аналитическая матрица выбора оптимальной технологии ГРП

Параметр	Гуар (высокая вязкость)	Ксантан (низкая вязкость)
Условия	Стандартные	Риски прорыва в нижележащий водонасыщенный пласт
Вязкость жидкости ГРП, сП	500–1200	100–150
Общие потери давления на трение, атм	Нет ограничений	90
Градиент давлений, атм/м	До 0,220	До 0,140
Эффективность жидкости, %	Нет ограничений	Выше 25
Толщина межпластовой перемычки, м	Более 4	Более 2
Расход жидкости при ГРП (для CfD ≈ 1,6), м^3/мин	3–3,2	3,6–3,8
Объем буферной стадии для (для CfD ≈ 1,6), %	30–39	50–56

Заключение

1. Для высоковязких жидкостей ГРП для достижения оптимальной геометрии трещины при проектировании дизайна необходимо ориентироваться на следующие параметры:
   – расход жидкости ГРП 3–3,2 м^3/мин;
   – объем буферной стадии 31–39 %.
2. Для маловязких жидкостей ГРП для достижения оптимальной геометрии трещины при проектировании дизайна необходимо ориентироваться на следующие параметры:
   – расход жидкости ГРП 3,6–3,8 м^3/мин;
   – объем буферной стадии 50–56 %.
3. Эффективность ГРП определяется правильным выбором типа жидкости с учетом геологических условий пласта. В условиях риска прорыва в водонасыщенный пласт маловязкие жидкости ГРП эффективнее на 40–47 %.
4. Разработанная матрица для выбора технологии производства ГРП может быть использована при планировании ГРП для достижения оптимальной геометрии трещины и минимизации рисков прорыва в нижележащие водонасыщенные пласты.

Библиографический список

1. Повышение эффективности гидравлического разрыва пласта на зрелых месторождениях / А.В. Чураков [и др.] // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 50–60. DOI: 10.54859/kjogi108722
2. Нуриев, А.А. Результаты применения полученных коэффициентов вдавливания расклинивающего материала при составлении дизайна гидравлического разрыва пласта для нефтематеринских пород [Электронный ресурс] / А.А. Нуриев, Д.В. Кашапов, Ш.Х. Султанов // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14, № 1. – URL: https://esj.today/PDF/23NZVN122.pdf (дата обращения: 03.07.2025).
3. Егорова, Е.В. Подходы к разработке гидроразрыва пласта и оптимизация к повышению продуктивности скважин / Е.В. Егорова, О.А. Смолянская, Н.А. Пименова // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2023. – № 3. – С. 37–41. DOI: 10.24143/1812-9498-2023-3-37-41
4. Влияние вязкости технологической жидкости на геометрию трещин гидроразрыва / А.В. Насыбуллин [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 4. – С. 29–34.
5. Диагностический анализ вопроса эффективности проведения гидравлического разрыва пласта / И.Г. Фаттахов [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-27. – С. 6023–6029.
6. Применение современной технологии гидравлического разрыва пласта в залежах с подошвенной водой / И.Г. Фаттахов [и др.] // Научное обозрение. – 2016. – № 17. – С. 204–208.
7. Шляпкин, А.С. Формирование трещины гидроразрыва пласта высоковязким гелем / А.С. Шляпкин, А.В. Татосов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 9(345). – С. 109–112. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-9(345)-109-112
8. Пономарева, И.Н. Оценка результатов гидравлического разрыва пласта на основе анализа геолого-промысловых данных / И.Н. Пономарева, Д.А. Мартюшев // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 8–14. DOI: 10.18599/grs.2020.2.8-14
9. Синицына, Т.И. Алгоритм планирования повторного селективного гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах / Т.И. Синицына, Я.М. Курбанов // Нефтяное хозяйство. – 2024. – № 11. – С. 92–97. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-11-92-97
10. Экспериментальное исследование реологических свойств жидкостей для гидроразрыва пласта / Д.В. Ефремов [и др.] // Вестник Пермского университета. Физика. – 2020. – № 4. – С. 69–77. DOI: 10.17072/1994-3598-2020-4-69-77
11. Шляпкин, А.С. Математическое моделирование процесса гидроразрыва пласта с учетом особенностей движения проппанта в трещине и фильтрационных утечек в пласт: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 1.2.2 / А.С. Шляпкин. – Тюмень, 2022. – 23 с.
12. Повторный гидроразрыв с уменьшением массы проппанта / Т.Ю. Юсифов [и др.] // Научное обозрение. – 2014. – № 11-1. – С. 139–142.
13. Оценка рисков проведения гидроразрыва пласта в скважинах для ряда значений зенитного угла ствола скважины на основе статистического анализа / И.Г. Фаттахов [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 2(638). – С. 31–36. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-2(638)-31-36
14. Сахибгараев, Р.Р. Применение облегченных сверхлегких пропантов для повышения эффективности гидравлического разрыва пласта / Р.Р. Сахибгараев, И.Г. Фаттахов, А.А. Пименов // Нефтегазовое дело. – 2025. – Т. 23, № 2. – С. 38–47. DOI: 10.17122/ngdelo-2025-2-38-47
15. Перенос проппанта низковязкими жидкостями ГРП. Лабораторные исследования / Р.Р. Шарипов [и др.] // XIII Всероссийский Съезд по теоретической и прикладной механике: сб. тезисов докл., 21–25 авг., 2023 г., Санкт-Петербург: в 4 т. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – Т. 4.: Материалы симпозиумов и Исторической сессии. – С. 359–360.
16. Новый ответ на технологические вызовы месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Опыт применения вязкой сликводы на основе сухого полимера на объектах АО «Самаранефтегаз» / С.Н. Кожин [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2023. – № 10(275). – С. 94–106.
17. Кочетков, А.В. Факторы снижения информативности тестовых закачек при проведении пропантных ГРП с использованием полимерных жидкостей на водной основе [Электронный ресурс] / А.В. Кочетков // Нефтяная провинция: рец. науч. изд. сетевого распространения. – 2023. – № 2. – С. 191–207. – URL: https://vkro-raen.com/files/008/295/800/8295800/original/34-14-A.V.Kochetkov.pdf (дата обращения: 03.07.2025).
18. Определение направления образования трещины гидроразрыва пласта / В.В. Паникаровский [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 73-81. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-4-73-81
19. Федоров, А.И. Расчет направления инициирования трещин ГРП в скважине с системой перфорации / А.И. Федоров, Д.Р. Мулюков // Нефтегазовое дело. – 2023. – Т. 21, № 2. – С. 114–126. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-2-114-126
20. Технологии крепления RCP-проппанта в трещине ГРП путем применения экзотермических композиций / И.З. Муллагалин [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 4. – С. 38–46. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-4-38-46
21. Мельников, И.В. Моделирование транспорта проппанта в трещине ГРП с использованием PINN / И.В. Мельников, А.А. Хандаченко // Науки о Земле. Современное состояние: материалы VII Всерос. молодежной науч.-практ. школы-конф., Геологический полигон «Шира», Республика Хакасия, Россия, 2-8 авг. 2024 г. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2024. – С. 194–195.
22. Бабкина, М.И. Исследование геометрии трещин ГРП по результатам гидродинамических исследований скважин на месторождениях Самарской области / М.И. Бабкина, К.И. Бабицкая // EurasiaScience: сб. ст. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 15 нояб. 2020 г. – М.: Актуальность.РФ, 2020. – С. 35–38.
23. Экспериментальное исследование проводимости трещины ГРП при добыче сланцевой нефти / Ян Ин [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2024. – Т. 22, № 4. – С. 26–36. DOI: 10.17122/ngdelo-2024-4-26-36
24. Шипилов, А.И. Исследования вязкоупругих и пескоудерживающих свойств жидкости гидроразрыва пласта на основе вязкоупругих поверхностно-активных веществ / А.И. Шипилов, Е.В. Крутихин, О.Ш. Гоголишвили // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 5. – С. 17–23. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-5(605)-17-23
25. Гайнуллин, Ю.И. Применение технологии fiberfrac на месторождениях Сургутского района / Ю.И. Гайнуллин // Новая наука как результат инновационного развития общества: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Сургут, 22 апр. 2017 г.: в 17 ч. – Стерлитамак: АМИ, 2017. – Ч. 2. – С. 124–126.
26. Файзуллин, И.Г. Пути повышения эффективности ГРП за счет применения полиакрилатных систем на месторождениях «Газпром нефти» / И.Г. Файзуллин, Р.Н. Хасаншин // Нефть. Газ. Новации. – 2023. – № 8. – С. 73–77.
27. Сахибгараев, Р.Р. Новые химические реагенты для ГРП. Способы оптимизации ГРП / Р.Р. Сахибгараев // Инженерная практика. – 2024. – №7-8. – С. 42–50.
28. Колесник, С.В. Интенсификация добычи нефти посредством применения жидкости гидроразрыва пласта на основе полиакриламида / С.В. Колесник, М.Э. Ефимов // Нефтепромысловое дело. – 2023. – № 9. – С. 43–47. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-9(657)-43-47
29. Применение полиакриламидов в гидравлическом разрыве пласта / А.Ф. Гарипова [и др.] // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2025. – № 2(30). – С. 37–43.
30. Абусал, Ю. Применение вязкоупругих систем для гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах / Ю. Абусал, А.Р. Яхин, Л.Р. Галимзянова // Бурение и нефть. – 2024. – № 5. – С. 48–51. DOI: 10.62994/2072-4799.2024.77.90.007
31. Мирзамов, Н.А. Технология пенного гидроразрыва пласта / Н.А. Мирзамов // Академический журнал Западной Сибири. – 2020. – Т. 16, № 1. – С. 56–58.
32. Опыт проведения гидроразрыва пласта с использованием пенных систем на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» / А. П. Кондаков [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 8. – С. 36–39.
33. Разработка подходов к тестированию пенных систем для интенсификации добычи нефти / Т.В. Чабина [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2021. – № 3. – С. 29–35. – DOI: 10.33285/0207-2351-2021-3(627)-29-35
34. Абрамов, В.В. Применение технологий ОПЗ и ГРП с CO2 для увеличения добычи нефти на месторождениях АО «Самаранефтегаз» / В.В. Абрамов, А.А. Саринов // Сборник тезисов докладов научно-технических конференций ООО «СамараНИПИнефть», Самара, 31 мая – 27 окт. 2023 г. – Самара: Портал Инноваций, 2023. – С. 144–145.
35. Файзуллин, И.Г. Опыт повышения эффективности стимуляции скважин методом ГРП в ОАО «Газпром нефть» / И.Г. Файзуллин // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 7. – С. 59–62.
36. Файзулаев, Э.Р. Анализ использования пенных систем для модернизации технологии гидроразрыва пласта / Э.Р. Файзулаев // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Астрахань, 11-12 окт. 2023 года. – Астрахань: Астраханский гос. техн. ун-т, 2023. – С. 131–134.
37. Кашапов, Д.В. Математическое моделирование оседания проппанта в горизонтальной скважине при проведении операции гидравлического разрыва пласта на маловязкой жидкости / Д.В. Кашапов, Л.Р. Шакиров // Бурение и нефть. – 2021. – № 7-8. – С. 60–66.
38. Захарова, Е.Ф. Эффективность кислотных составов и ГРП с МВЖ в рамках тиражирования технологий ФЦП / Е.Ф. Захарова, А.Н. Фаррахова // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Альметьевск, 12 дек. 2022 г. – Альметьевск: АГНИ, 2022. – С. 36–43.
39. Повторный гидроразрыв с уменьшением массы проппанта / Т.Ю. Юсифов [и др.] // Научное обозрение. – 2014. – № 11-1. – С. 139–142.
40. Оценка рисков проведения гидроразрыва пласта в скважинах для ряда значений зенитного угла ствола скважины на основе статистического анализа / И.Г. Фаттахов [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2022. – № 2. – С. 31–36.
41. Моделирование гидродинамических процессов в условиях разработки некондиционных коллекторов скважинами с ГРП / Р.Х. Гильманова [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 7. – С. 59–63. – DOI: 10.33285/2413-5011-2022-7(367)-59-63
42. Перспективы внедрения горизонтальных скважин на месторождениях со сложным геологическим строением / И.Г. Фаттахов [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 3. – С. 46–53.
43. Влияние геологических характеристик нефтегазовой залежи на эффективность гидравлического разрыва пласта / А.В. Кустышев [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 1. – С. 52–58.

References

1. Churakov A.V. et al. Povyshenie effektivnosti gidravlicheskogo razryva plasta na zrelykh mestorozhdeniiakh [Enhancing the efficiency of hydraulic fracturing in mature fields]. *Vestnik neftegazovoi otrasli Kazakhstana*, 2024, vol. 6, no. 2, pp. 50-60. DOI: 10.54859/kjogi108722
2. Nuriev A.A., Kashapov D.V., Sultanov Sh.Kh. Rezul'taty primeneniia poluchennykh koeffitsientov vdavlivaniia rasklinivaiushchego materiala pri sostavlenii dizaina gidravlicheskogo razryva plasta dlia neftematerinskikh porod [The results of the application of the obtained coefficients of indentation of the wedging material in the design of hydraulic fracturing for source rock]. *Vestnik evraziiskoi nauki*, 2022, vol. 14, № 1, available at: https://esj.today/PDF/23NZVN122.pdf (accessed 03 July 2025).
3. Egorova E.V., Smolianskaia O.A., Pimenova N.A. Podkhody k razrabotke gidrorazryva plasta i optimizatsiia k povysheniiu produktivnosti skvazhin [Approaches to hydraulic fracturing development and optimization to increase well productivity]. *Neftegazovye tekhnologii i ekologicheskaia bezopasnost'*, 2023, no. 3, pp. 37-41. DOI: 10.24143/1812-9498-2023-3-37-41
4. Nasybullin A.V. et al. Vliianie viazkosti tekhnologicheskoi zhidkosti na geometriiu treshchin gidrorazryva [The influence of process fluid viscosity on the geometry of hydraulic fractures]. *Oborudovanie i tekhnologii dlia neftegazovogo kompleksa*, 2017, no. 4, pp. 29-34.
5. Fattakhov I.G. et al. Diagnosticheskii analiz voprosa effektivnosti provedeniia gidravlicheskogo razryva plasta [Diagnostic analysis of the efficiency of hydraulic fracturing]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2015, no. 2-27, pp. 6023-6029.
6. Fattakhov I.G. et al. Primenenie sovremennoi tekhnologii gidravlicheskogo razryva plasta v zalezhakh s podoshvennoi vodoi [Application of advanced technology of hydraulic fracturing in the reservoirs with bottom water]. *Nauchnoe obozrenie*, 2016, no. 17, pp. 204-208.
7. Shliapkin A.S., Tatosov A.V. Formirovanie treshchiny gidrorazryva plasta vysokoviazkim gelem [Formation of a hydraulic fracture by a high-viscous gel]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2020, no. 9 (345), pp. 109-112. DOI: 10.30713/2413-5011-2020-9(345)-109-112
8. Ponomareva I.N., Martiushev D.A. Otsenka rezul'tatov gidravlicheskogo razryva plasta na osnove analiza geologo-promyslovykh dannykh [Evaluation of hydraulic fracturing results based on the analysis of geological field data]. *Georesursy*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 8-14. DOI: 10.18599/grs.2020.2.8-14
9. Sinitsyna T.I., Kurbanov Ia.M. Algoritm planirovaniia povtornogo selektivnogo gidravlicheskogo razryva plasta v gorizontal'nykh skvazhinakh [Algorithm for planning repeated selective hydraulic fracturing in horizontal wells]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2024, no. 11, pp. 92-97. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-11-92-97
10. Efremov D.V. et al. Eksperimental'noe issledovanie reologicheskikh svoistv zhidkostei dlia gidrorazryva plasta [Experimental study of rheological properties of liquids for hydrofracturing]. *Vestnik Permskogo universiteta. Fizika*, 2020, no. 4, pp. 69-77. DOI: 10.17072/1994-3598-2020-4-69-77
11. Shliapkin A.S. Matematicheskoe modelirovanie protsessa gidrorazryva plasta s uchetom osobennostei dvizheniia proppanta v treshchine i fil'tratsionnykh utechek v plast [Mathematical modeling of the hydraulic fracturing process, taking into account the features of proppant movement in the fracture and filtration leaks into the formation]. Abstract of Ph. D. thesis. Tiumen', 2022, 23 p.
12. Iusifov T.Iu. et al. Povtornyi gidrorazryv s umen'sheniem massy proppanta [Re-fracturing with proppant mass reduction]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 11-1, pp. 139-142.
13. Fattakhov I.G. et al. Otsenka riskov provedeniia gidrorazryva plasta v skvazhinakh dlia riada znachenii zenitnogo ugla stvola skvazhiny na osnove statisticheskogo analiza [Estimation of hydraulic fracturing risks, performed in wells for a set of the zenith angle values of a wellbore based on the statistical analysis]. *Neftepromyslovoe delo*, 2022, no. 2 (638), pp. 31-36. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-2(638)-31-36
14. Sakhibgaraev R.R., Fattakhov I.G., Pimenov A.A. Primenenie oblegchennykh sverkhlegkikh propantov dlia povysheniia effektivnosti gidravlicheskogo razryva plasta [Lightweight and ultralightweight proppants potential for enhancement of hydraulic fracturing efficiency]. *Neftegazovoe delo*, 2025, vol. 23, no. 2, pp. 38-47. DOI: 10.17122/ngdelo-2025-2-38-47
15. Sharipov R.R. et al. Perenos proppanta nizkoviazkimi zhidkostiami GRP. Laboratornye issledovaniia [Proppant Transfer by Low-Viscosity Hydraulic Fracturing Fluids. Laboratory Studies]. *XIII Vserossiiskii S"ezd po teoreticheskoi i prikladnoi mekhanike. Sbornik tezisov dokladov, Sankt-Peterburg, 21-25 August 2023*. Saint Petersburg: POLITEKh-PRESS, 2023, vol. 4. Materialy simpoziumov i Istoricheskoi sessii, pp. 359360.
16. Kozhin S.N. et al. Novyi otvet na tekhnologicheskie vyzovy mestorozhdenii Volgo-Ural'skoi neftegazonosnoi provintsii. Opyt primeneniia viazkoi slikvody na osnove sukhogo polimera na ob"ektakh AO "Samaraneftegaz" [New answer to technological challenges of hydraulic fracturing on oilfields of Volga-Urals oil and gas province. The experience of application of viscous slickwater based on dry polymer. "Samaraneftegaz" JSC case study]. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2023, no. 10 (275), pp. 94-106.
17. Kochetkov A.V. Faktory snizheniia informativnosti testovykh zakachek pri provedenii propantnykh GRP s ispol'zovaniem polimernykh zhidkostei na vodnoi osnove [Factors of reducing the informativity of test injections during proppant fracturing with water-based polymer fluids]. *Neftianaia provintsiia: retsenziruemoe nauchnoe izdanie setevogo rasprostraneniia*, 2023, no. 2, pp. 191-207, available at: https://vkro-raen.com/files/008/295/800/8295800/original/34-14-A.V.Kochetkov.pdf (accessed 03 July 2025). DOI: 10.25689/NP.2023.2
18. Panikarovskii V.V. et al. Opredelenie napravleniia obrazovaniia treshchiny gidrorazryva plasta [Determination of crack formation direction]. *Neftegazovoe delo*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 73-81. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-4-73-81
19. Fedorov A.I., Muliukov D.R. Raschet napravleniia initsiirovaniia treshchin GRP v skvazhine s sistemoi perforatsii [Calculation of fracture initiation direction in perforated well]. *Neftegazovoe delo*, 2023, vol. 21, no. 2. pp. 114-126. DOI: 10.17122/ngdelo-2023-2-114-126
20. Mullagalin I.Z. et al. Tekhnologii krepleniia RCP-proppanta v treshchine GRP putem primeneniia ekzotermicheskikh kompozitsii [Technologies for fixing the RCP-proppant in a hydraulic fracturing crack by applying exothermic compositions]. *Neftegazovoe delo*, 2022, vol. 20, no. 4, pp. 38-46. DOI: 10.17122/ngdelo-2022-4-38-46
21. Mel'nikov I.V., Khandachenko A.A. Modelirovanie transporta proppanta v treshchine GRP s ispol'zovaniem PINN [Modeling proppant transport in a hydraulic fracture using PINN]. *Nauki o Zemle. Sovremennoe sostoianie. Materialy VII Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi shkoly-konferentsii, Geologicheskii poligon "Shira", Respublika Khakasiia, Rossiia, 2-8 August 2024*. Novosibirsk: Izdatel'sko-poligraficheskii tsentr Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta, 2024, pp. 194-195.
22. Babkina M.I., Babitskaia K.I. Issledovanie geometrii treshchin GRP po rezul'tatam gidrodinamicheskikh issledovanii skvazhin na mestorozhdeniiakh Samarskoi oblasti [Study of the geometry of hydraulic fractures based on the results of hydrodynamic studies of wells at fields in the Samara region]. *EurasiaScience. Sbornik statei XXXIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moscow, 15 November 2020. Moscow: Aktual'nost'.RF, 2020, pp. 35-38.
23. In Ian et al. Eksperimental'noe issledovanie provodimosti treshchiny GRP pri dobyche slantsevoi nefti [Experimental study on the fracture conductivity in shale oil production]. *Neftegazovoe delo*, 2024, vol. 22, no. 4, pp. 26-36. DOI: 10.17122/ngdelo-2024-4-26-36
24. Shipilov A.I., Krutikhin E.V., Gogolishvili O.Sh. Issledovaniia viazkouprugikh i peskouderzhivaiushchikh svoistv zhidkosti gidrorazryva plasta na osnove viazkouprugikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Research of viscoelastic and sand carrying properties of viscoelastic surfactant based fracturing fluids]. *Neftepromyslovoe delo*, 2019, no. 5, pp. 17-23. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-5(605)-17-23
25. Gainullin Iu.I. Primenenie tekhnologii fiberfrac na mestorozhdeniiakh Surgutskogo raiona [Application of fiberfrac technology in the Surgut region]. *Novaia nauka kak rezul'tat innovatsionnogo razvitiia obshchestva. Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Surgut, 22 April 2017*. Sterlitamak: AMI, 2017, part 2, pp. 124-126.
26. Faizullin I.G., Khasanshin R.N. Puti povysheniia effektivnosti GRP za schet primeneniia poliakrilatnykh sistem na mestorozhdeniiakh "Gazprom nefti" [Ways to Increase the Efficiency of Hydraulic Fracturing Through the use of Polyacrylate Systems at Gazprom Neft Fields]. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2023, no. 8, pp. 73-77.
27. Sakhibgaraev R.R. Novye khimicheskie reagenty dlia GRP. Sposoby optimizatsii GRP [New Chemical Reagents for Hydraulic Fracturing. Methods for Optimizing Hydraulic Fracturing.]. *Inzhenernaia praktika*, 2024, no. 7-8, pp. 42-50.
28. Kolesnik S.V., Efimov M.E. Intensifikatsiia dobychi nefti posredstvom primeneniia zhidkosti gidrorazryva plasta na osnove poliakrilamida [Intensification of oil production through the use of hydraulic fracturing fluid based on polyacrylamide]. *Neftepromyslovoe delo*, 2023, no. 9, pp. 43-47. DOI: 10.33285/0207-2351-2023-9(657)-43-47
29. Garipova A.F. et al. Primenenie poliakrilamidov v gidravlicheskom razryve plasta [Application of viscoelastic systems for hydraulic fracturing in horizontal wells]. *Vestnik molodogo uchenogo Ufimskogo gosudarstvennogo neftianogo tekhnicheskogo universiteta*, 2025, no. 2 (30), pp. 37-43.
30. Abusal Iu., Iakhin A.R., Galimzianova L.R. Primenenie viazkouprugikh sistem dlia gidravlicheskogo razryva plasta v gorizontal'nykh skvazhinakh [Application of viscoelastic systems for hydraulic fracturing in horizontal wells]. *Burenie i neft'*, 2024, no. 5, pp. 48-51. DOI: 10.62994/2072-4799.2024.77.90.007
31. Mirzamov N.A. Tekhnologiia pennogo gidrorazryva plasta [Foam fracturing technology]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri*, 2020, vol. 16, no. 1, pp. 56-58.
32. Kondakov A.P. et al. Opyt provedeniia gidrorazryva plasta s ispol'zovaniem pennykh sistem na mestorozhdeniiakh OAO "Surgutneftegaz" [Experience of hydraulic fracturing with use of foam systems at the fields of Surgutneftegaz OJSC]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2012, no. 8, pp. 36-39.
33. Chabina T.V. et al. Razrabotka podkhodov k testirovaniiu pennykh sistem dlia intensifikatsii dobychi nefti [Development of approaches to testing foam systems for intensification of oil production]. *Neftepromyslovoe delo*, 2021, no. 3, pp. 29-35. DOI: 10.33285/0207-2351-2021-3(627)-29-35
34. Abramov V.V., Sarinov A.A. Primenenie tekhnologii OPZ i GRP s CO2 dlia uvelicheniia dobychi nefti na mestorozhdeniiakh AO "Samaraneftegaz" [Application of CO2-assisted hydraulic fracturing and gas treatment technologies to increase oil production at the fields of JSC Samaraneftegaz]. *Sbornik tezisov dokladov nauchno-tekhnicheskikh konferentsii OOO "SamaraNIPIneft'", Samara, 31 May - 27 September 2023*. Samara: Portal Innovatsii, 2023, pp. 144-145.
35. Faizullin I.G. Opyt povysheniia effektivnosti stimuliatsii skvazhin metodom GRP v OAO "Gazprom neft'" [Experience in improving the efficiency of well stimulation using hydraulic fracturing at Gazprom Neft]. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2011, no. 7, pp. 59-62.
36. Faizulaev E.R. Analiz ispol'zovaniia pennykh sistem dlia modernizatsii tekhnologii gidrorazryva plasta [Analysis of the use of foam systems for modernization of hydraulic fracturing technology]. *Noveishie tekhnologii osvoeniia mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ia i obespechenie bezopasnosti ekosistem Kaspiiskogo shel'fa. Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Astrakhan', 11-12 October 2023*. Astrakhan': Astrakhanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2023, pp. 131-134.
37. Kashapov D.V., Shakirov L.R. Matematicheskoe modelirovanie osedaniia proppanta v gorizontal'noi skvazhine pri provedenii operatsii gidravlicheskogo razryva plasta na maloviazkoi zhidkosti [Mathematical modeling of proppant settling in a horizontal well during hydraulic fracturing operation on a low-viscosity fluid]. *Burenie i neft'*, 2021, no. 7-8, pp. 60-66.
38. Zakharova E.F., Farrakhova A.N. Effektivnost' kislotnykh sostavov i GRP s MVZh v ramkakh tirazhirovaniia tekhnologii FTsP [Efficiency of acid compositions and hydraulic fracturing with microfluidic liquids within the framework of the replication of Federal Target Program technologies]. *Dostizheniia, problemy i perspektivy razvitiia neftegazovoi otrasli. Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Al'met'evsk, 12 December 2022*. Al'met'evsk: Al'met'evskii gosudarstvennyi neftianoi institut, 2022, pp. 36-43.
39. Iusifov T.Iu. et al. Povtornyi gidrorazryv s umen'sheniem massy proppanta [Re-fracturing with proppant mass reduction]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 11-1, pp. 139-142.
40. Fattakhov I.G. et al. Otsenka riskov provedeniia gidrorazryva plasta v skvazhinakh dlia riada znachenii zenitnogo ugla stvola skvazhiny na osnove statisticheskogo analiza [Estimation of hydraulic fracturing risks, performed in wells for a set of the zenith angle values of a wellbore based on the statistical analysis]. *Neftepromyslovoe delo*, 2022, no. 2, pp. 31-36. DOI: 10.33285/0207-2351-2022-2(638)-31-36
41. Gil'manova R.Kh. et al. Modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov v usloviiakh razrabotki nekonditsionnykh kollektorov skvazhinami s GRP [Modeling of hydrodynamic processes in the conditions of substandard reservoirs development by wells with hydraulic fracturing]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2022, no. 7, pp. 59-63. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-7(367)-59-63
42. Fattakhov I.G. et al. Perspektivy vnedreniia gorizontal'nykh skvazhin na mestorozhdeniiakh so slozhnym geologicheskim stroeniem [Prospects for horizontal wells construction in the fields with a complex geological structure]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2022, pp. 3, pp. 46-53. DOI: 10.33285/2413-5011-2022-3(363)-46-53
43. Kustyshev A.V. et al. Vliianie geologicheskikh kharakteristik neftegazovoi zalezhi na effektivnost' gidravlicheskogo razryva plasta [Influence of geological characteristics of an oil and gas deposit on the efficiency of a formation hydraulic fracturing]. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2015, no. 1, pp. 52-58.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Вклад автора 100 %.