



УДК 622.276.66(470.1)

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2020

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА В КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Д.В. Новокрещенных, А.В. Распов

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми (614015, Россия, г. Пермь, ул. Пермская, 3а)

TRENDS IN IMPROVING HYDRAULIC FRACTURING EFFICIENCY IN CARBONATE DEPOSITS AT KOMI REPUBLIC AND NENETS AUTONOMOUS DISTRICT FIELDS

Dmitrii V. Novokreshchennykh, Aleksei V. Raspopov

PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)

Получена / Received: 17.02.2020. Принята / Accepted: 15.04.2020. Опубликовано / Published: 15.06.2020

Ключевые слова:

карбонатный коллектор, методы интенсификации добычи нефти, гидродразрыв пласта, оптимизация технологии, увеличение технологической эффективности гидродразрыва пласта, увеличение проводимости трещины гидродразрыва пласта, увеличение охвата по площади и разрезу, сокращение неконтролируемых утечек жидкости разрыва, сокращение высоты трещины.

Рассматривается опыт проведения гидродразрыва пласта в карбонатных отложениях месторождений Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Массовое применение технологии гидродразрыва пласта на карбонатных коллекторах началось с 2012 г., выполнено более трехсот скважино-операций. Значительная доля остаточных извлекаемых запасов в карбонатных отложениях предопределяет необходимость их вовлечения и увеличения темпов выработки, в том числе за счет применения гидродразрыва пласта. В условиях постепенного ухудшения фильтрационно-емкостных свойств скважин-кандидатов поддержание стабильного уровня технологической эффективности гидродразрыва пласта обеспечивается за счет внедрения новых и оптимизации стандартных технологий. Проблемы реализации гидродразрыва пласта тесно связаны с основными вопросами разработки месторождений и особенностями строения карбонатных коллекторов. С учетом особенностей строения карбонатных коллекторов и существующих проблем разработки определены основные задачи при реализации гидродразрыва пласта: увеличение проводимости трещин; увеличение охвата по площади и разрезу; сокращение неконтролируемых утечек жидкости разрыва; сокращение высоты трещины в условиях близлежащих водо- и газонасыщенных пропластков.

На текущий момент ряд технологий успешно адаптирован и применяется на объектах месторождений Республики Коми и Ненецкого автономного округа. За счет реализации комплексного подхода при подборе модификаций технологии гидродразрыва пласта, учитывающего существующие проблемы разработки месторождений и особенности строения карбонатных объектов, обеспечено поддержание стабильной эффективности метода в условиях ухудшающейся структуры фонда скважин-кандидатов, а также расширение области применения технологии. Предложены направления расширения спектра выполняемых лабораторных исследований: определение коэффициента интенсивности напряжений – трещиностойкости и пороупругого параметра Био, исследование динамики интенсивности утечек различных жидкостей разрыва в зависимости от коллекторских свойств образцов керна при заданных перепадах, определение зависимости динамического переноса пропантов от реологических свойств жидкостей разрыва и скоростей их фильтрации для различных раскрытостей модели трещины разрыва.

Key words:

carbonate reservoir, oil recovery enhancement methods, hydraulic fracturing, technology optimisation, hydraulic fracturing process efficiency improvement, increase in hydraulic fracture conductivity, increase in area and section coverage, decrease in uncontrolled leakoff of fracturing fluid, decrease in fracture height.

A practice of hydraulic fracturing in carbonate deposits at Komi Republic and Nenets Autonomous District fields is considered. Over three hundred jobs were performed since 2012 with the wide application of hydraulic fracturing technology in carbonate reservoirs. A significant share of remaining recoverable reserves in carbonate deposits dictates the need for bringing them into development and increasing their recovery rates, in particular, through hydraulic fracturing. As permeability and porosity of candidate wells are gradually deteriorating, maintenance of a stable level of the hydraulic fracturing process efficiency is ensured through introduction of new technologies and optimisation of conventional ones. The problems of hydraulic fracturing implementation are closely related to the principal issues of field development and specifics of carbonate reservoir structure. The key tasks in hydraulic fracturing have been defined subject to structural features of carbonate reservoirs and ongoing development issues, including: increase in fracture conductivity; increase in coverage by area and section; decrease in uncontrolled leakoff of fracturing fluid; decrease in fracture height subject to adjacent water- and gas-saturated interlayers.

To date, a number of technologies have been successfully adapted and applied at the facilities of Komi and NAO fields. Integrated approach in the selection of hydraulic fracturing technology modifications subject to current issues in field development and specifics of carbonate facilities structure, have enabled maintaining consistent efficiency of the method given the deteriorating structure of candidate well stock, as well as expanding the technology application range. The trends for expanding the scope of laboratory research have been proposed, including determination of stress intensity factor - fracture resistance and Biot's poroelastic parameter, research of dynamics of leakage rate of various fracturing fluids depending on reservoir properties of core samples at given gradients, determination of dependency of dynamic transfer of proppants on rheological properties of fracturing fluids and their flow velocity for various fracture model openings.

Новокрещенных Дмитрий Вячеславович – ведущий инженер отдела планирования и сопровождения гидродразрыва пластов (тел.: +007 342 233 63 91, e-mail: Dmitriy.Novokreshchennykh@pnn.lukoil.com). Контактное лицо для переписки.

Распов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, заместитель директора филиала по научной работе в области разработки месторождений (тел.: +007 342 219 82 92, e-mail: aleksej.raspov@pnn.lukoil.com).

Dmitrii V. Novokreshchennykh (Scopus ID 55531158400) – Lead Engineer of OPIGRP (tel.: +007 342 233 63 91, e-mail: Dmitriy.Novokreshchennykh@pnn.lukoil.com). The contact person for correspondence.

Aleksei V. Raspopov (Scopus ID 30267829600) – PhD in Engineering, Deputy Director of the Branch for Scientific Work in the Area of Field Development (tel.: +007 342 219 82 92, e-mail: aleksej.raspov@pnn.lukoil.com).

Введение

Наибольшая часть (более 60 %) остаточных извлекаемых запасов Республики Коми и Ненецкого автономного округа (НАО) сосредоточена в карбонатных коллекторах, поэтому вопрос эффективной выработки запасов из карбонатных пластов является актуальным в настоящее время.

Продуктивные залежи с карбонатным типом коллектора приурочены к силурийским, нижнедевонским, верхнедевонско-турнейским, серпуховским, средне- и верхнекаменноугольным, нижнепермским отложениям. Эксплуатационные объекты характеризуются широким диапазоном изменения геолого-физических параметров (таблица).

Значительная доля остаточных извлекаемых запасов в карбонатных отложениях предопределяет необходимость их вовлечения и увеличения темпов выработки, в том числе за счет применения гидроразрыва пласта (ГРП). На месторождениях Республики Коми и НАО массовое применение технологии ГРП на карбонатных коллекторах началось с 2012 г. (выполнено более трехсот скважино-операций). На рис. 1 приведена динамика изменения основных геолого-физических характеристик пластов, на которых проводились ГРП [1].

В условиях постепенного ухудшения фильтрационно-емкостных свойств скважин-кандидатов поддержание стабильного уровня технологической эффективности ГРП в карбонатных коллекторах обеспечивается за счет внедрения новых и оптимизации стандартных технологий.

За период с 2012 по 2018 г. на карбонатных объектах месторождений Республики Коми и НАО испытано восемь модификаций ГРП, из которых в рамках опытно-промышленных работ (ОПР) реализовано четыре технологии и две переведены в промышленную эксплуатацию. Кроме того, три технологии испытано вне ОПР.

Сложности реализации ГРП тесно связаны с основными проблемами разработки месторождений и особенностями строения карбонатных коллекторов.

Так, к примеру, на объектах с недренируемыми запасами по причине низких коллекторских свойств и близостью газо- или водо- насыщенных пропластков существуют риски прорыва трещины ГРП по разрезу вследствие слабой фильтрации жидкости разрыва и низкого контраста напряжений даже при незначительных объемах обработки. В случае ухудшенного энергетического состояния залежи возникают риски, связанные с повышенными утечками жидкости разрыва, неполным охватом по разрезу и низкой проводимостью создаваемых трещин [2].

С учетом особенностей строения карбонатных коллекторов и существующих проблем разработки определены основные задачи при реализации ГРП:

- 1) повышение проводимости трещин;
- 2) увеличение охвата по площади и разрезу;
- 3) сокращение неконтролируемых утечек жидкости разрыва;
- 4) сокращение высоты трещины в условиях близлежащих водо- и газонасыщенных пропластков.

На текущий момент ряд технологий успешно адаптирован и применяется на объектах месторождений Республики Коми и НАО. Далее рассмотрим примеры реализации ГРП для решения вышеуказанных задач.

Увеличение проводимости трещины

На первом этапе внедрения технологии ГРП в карбонатных коллекторах повсеместно применялась технология кислотного ГРП (КГРП), где в качестве отклонителя использовалась гелированная сшитая кислота. В дальнейшем при тиражировании технологии ГРП на объектах с высокой расчлененностью пластов опробована технология пропантного ГРП. Необходимо отметить, что по результатам лабораторных исследований на ячейках проводимости величина вдавливания пропанта в карбонатную породу оказалась сопоставимой с терригенным типом коллектора, и таким образом подтверждена возможность использования пропанта для закрепления трещины в карбонатных отложениях.

Диапазоны изменения геолого-физических параметров нефтегазоносных комплексов с карбонатным типом коллектора

Нефтегазоносный комплекс	Глубина залегания, м	Эффективная толщина, м	Пористость, %	Вязкость нефти, мПа·с	Пластовая температура, °С	Пластовое давление, МПа	Проницаемость, мкм ² ·10 ⁻³
Республика Коми, Ненецкий АО							
Силурийский	3310–4160	2,39–15,1	8,3–18,3	0,5–1,8	89–97	34,5–62,8	11–193
Нижнедевонский	3340–4110	1,0–26,5	5,5–16,0	0,7–6,9	61–92,8	32,5–64,6	1,2–19,3
Средне- и верхнефранский, фаменский, турнейский	885–4060	0,4–51,1	4,4–19,0	0,2–152,6	19–98	8,5–42,1	0,7–320
Серпуховский, средне- и верхнекаменноугольный, нижнепермский	860–3360	1,6–28,4	8,5–26,4	0,5–710	17–73	9,5–34,3	0,5–402



Рис. 1. Динамика изменения основных геолого-физических характеристик пластов Республики Коми и Ненецкого автономного округа, на которых проводились ГРП

Ранее реализованные технологии КГРП на карбонатных объектах зачастую были низкоэффективными: отмечалось резкое снижение прироста дебитов нефти в первые месяцы работы скважины. Возможными причинами низкой эффективности КГРП являлись: избирательное травление кислотой наиболее проницаемых пропластков и, как следствие, неполный охват по разрезу; кольматация коллектора продуктами деструкции гелированного состава. За счет применения пропантных ГРП удалось снизить темпы падения прироста дебита нефти. На текущий момент выполнено более ста пропантных ГРП на 25 объектах с карбонатным типом коллектора. Дополнительно для увеличения проводимости трещин в карбонатных пластах при ГРП используется энзимный деструктор, кроме того, планомерно увеличивается удельный расход пропанта и снижается концентрация полимера в жидкости разрыва.

Увеличение охвата по площади и разрезу, сокращение неконтролируемых утечек жидкости разрыва

Карбонатные пласты силурийского, нижнедевонского и верхнедевонско-турнейского нефтегазоносных комплексов Республики Коми и НАО характеризуются низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) (по отдельным скважинам проницаемость составляет менее $0,001 \text{ мкм}^2$), высокой расчлененностью на фоне высокого контраста ФЕС по разрезу, значительной мощностью (более 30 м), большой глубиной залегания (до 4200 м). При ГРП отмечаются высокие значения: градиента смыкания трещины – более $0,20 \text{ атм/м}$, эффективности жидкости разрыва – более 70 %, эффективного давления – до 300 атм, а также наличие эффекта утечек, зависящих от давления (pdl).

Реализованные технологии кислотного ГРП показали низкую эффективность в связи со слабым охватом по разрезу и наличием остаточной вязкости

применяемого гелированного кислотного состава. Технология стандартного пропантного ГРП также оказалась низкоэффективной, отмечено недостижение запланированной геометрии трещины ГРП ввиду преждевременных остановок закачки. Причинами осложнений послужили использование жидкостей разрыва повышенной вязкости (отсутствие ее фильтрации в пласт) и высокий темп набора концентрации пропанта. Закачиваемая масса пропанта при стандартном подходе не превышала 20 т.

С учетом опыта ранее выполненных работ в 2017 г. впервые на месторождениях Республики Коми и НАО реализована технология многообъемного пропантного ГРП с увеличением массы пропанта до 40 т. Дополнительно реализованы следующие технологические решения: с целью сокращения утечек жидкости разрыва использован комбинированный буфер (линейный+сшитый гель, слаговая пачка пропанта 100 mesh), уменьшение типоразмера (значительная доля пропанта – 30/50, меньшая часть – 20/40) и концентрации пропанта (уменьшение с $900 \text{ до } 350 \text{ кг/м}^3$), увеличение скорости закачки (с 2,5 до $4,0 \text{ м}^3/\text{мин}$). В результате выполнения ГРП по оптимизированной технологии отмечено значительное увеличение доли работающей толщины пласта – в 6,9 раза, повышение технологической эффективности – в 2,5 раза по сравнению со стандартными технологиями пропантного и кислотного ГРП [3].

Сокращение высоты трещины

В карбонатных отложениях артинского и кунгурского ярусов на одном из месторождений Республики Коми по результатам ранее выполненных работ отмечена низкая эффективность стандартных кислотных и пропантных ГРП ввиду отсутствия контраста напряжений по разрезу и прорыва подошвенной воды. Для сокращения высоты трещины оптимизированы технологические параметры ГРП. Выполнено лабораторное тестирование жидкости разрыва, по результатам которого снижена загрузка полимера в жидкости разрыва с $3,6 \text{ до } 2,6 \text{ кг/м}^3$, уменьшена скорость закачки с $3,5 \text{ до } 2,6 \text{ м}^3/\text{мин}$, для повышения проводимости трещины увеличена максимальная концентрация пропанта с $800 \text{ до } 1000 \text{ кг/м}^3$, применен комбинированный буфер на основном ГРП, использован энзимный деструктор. В результате выполненных работ отмечено снижение обводненности скважинной продукции в среднем на 6,1 %, повышение технологической эффективности в 1,8 раза по сравнению со стандартным пропантным ГРП. По результатам комплексного внедрения данной технологии на 25 скважинах темп отбора нефти в целом по залежи за 2018 г. вырос на 9,4 %.

За счет реализации комплексного подхода при подборе модификаций технологии ГРП, учитывающего существующие проблемы разработки месторождений и особенности строения карбонатных объектов, обеспечено поддержание стабильной эффективности метода в условиях ухудшающейся структуры фонда скважин-кандидатов, а также расширение области применения технологии (рис. 2).



Рис. 2. Динамика количества выполненных ГРП, количества объектов применения, количества технологий ГРП и удельного прироста дебита нефти после ГРП на месторождениях Республики Коми и Ненецкого АО с 2012 по 2018 г.

С целью повышения эффективности технологий ГРП в карбонатных коллекторах требуется продолжение работ по подбору эффективных модификаций метода по обозначенным направлениям. Также на текущий момент актуальной задачей является повышение достоверности прогнозирования распространения трещин по площади и разрезу за счет развития геомеханического моделирования, учитывающего изменение напряженного состояния пластов в процессе разработки месторождений.

Расширение спектра выполняемых лабораторных исследований

Также необходимо отметить, что для повышения эффективности ГРП необходимо расширение спектра выполняемых лабораторных исследований, таких как:

- коэффициент интенсивности напряжений – трещиностойкость и порупругий параметр Био (коэффициент разгрузки), необходимые для уточнения профиля напряжений и моделирования дизайна ГРП;

- динамика интенсивности утечек различных жидкостей разрыва от коллекторских свойств образцов керна при заданных перепадах давлений – для обоснования значений вязкости жидкостей разрыва, необходимой для обеспечения ее фильтрации в условиях различных проницаемостей коллекторов;

- определение зависимости динамического переноса пропантов от реологических свойств жидкостей разрыва и скоростей их фильтрации для различных раскрытостей модели трещины разрыва, что позволит определить граничные значения вязкости жидкостей разрыва и скорости ее закачки, необходимые для переноса заданной концентрации пропанта в трещину разрыва.

Заключение

1. За счет адресного подбора параметров технологий ГРП для конкретных геолого-физических условий в пласте создаются трещины необходимой геометрии, что позволяет экономически эффективно вводить в разработку запасы, приуроченные к низкопроницаемым коллекторам на объектах с карбонатным типом коллектора месторождений Республики Коми и НАО.

2. Определены основные задачи по совершенствованию технологии с учетом особенностей строения карбонатных коллекторов и существующих проблем разработки.

3. За счет процесса постоянной оптимизации технологии обеспечивается эффективность метода на высоком уровне.

Библиографический список

1. Развитие технологий гидравлического разрыва пласта на месторождениях Пермского края / В.Л. Воеводкин, А.А. Алероев, Т.Р. Балдина, А.В. Распопов, А.С. Казанцев, С.А. Кондратьев. – М.: Нефтяное хозяйство, 2018. – 108 с.
2. Опыт проведения пропантного гидроразрыва пласта в карбонатных коллекторах месторождений Пермского края / С.А. Кондратьев, А.А. Жуковский, Т.С. Кочнева, В.Л. Малышева. – М.: Изд-во ВНИОЭНГ, 2016. – 68 с.
3. Проведение пропантных гидроразрывов низкопроницаемых пластов на нефтяных месторождениях Ненецкого автономного округа / А.А. Алероев, С.А. Кондратьев, Р.Р. Шарфеев, Д.В. Новокрещенных, В.А. Жигалов. – М.: Нефтяное хозяйство, 2017. – 108 с.
4. Бакиров Э.А., Ермолкин В.И., Ларин В.И. Геология нефти и газа. – М.: Недра, 1980. – 240 с.
5. Гиматудинов Ш.К. Эксплуатация и технология разработки нефтяных и газовых месторождений. – М.: Недра, 1978. – 357 с.
6. Баренблатт Г.И., Енгов В.М., Рыжин В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. – М.: Недра, 1972.
7. Желтов Ю.П., Христианович С.А. О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Известия АН СССР. ОТН. – 1955. – № 5. – С. 3–41.

8. Желтов Ю.П. Гидравлический разрыв пласта. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 98 с.
9. Желтов Ю.П. Деформация горных пород. – М.: Недра, 1966. – 198 с.
10. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1986. – 332 с.
11. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir stimulation // New Jersey. Eglewood cliffs 01632, 1989. – 430 p.
12. Экономидис М., Олин Р., Валько П. Унифицированный дизайн гидроразрыва пласта: от теории к практике. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 236 с.
13. Иванов С.И. Интенсификация притока нефти и газа к скважинам: учеб. пособие. – М.: Недра – Бизнесцентр, 2006. – 565 с.
14. Clark J.B. Hydraulic process for increasing productivity of wells // Trans. AIME. – 1949. – Vol. 186. – P. 1–8.
15. Каневская Р.Д. Зарубежный и отечественный опыт применения гидроразрыва пласта. – М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1998. – 40 с.
16. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 346 с.
17. Желтов Ю.П. Механика нефтегазонаосного пласта. – М.: Недра, 1975. – 207 с.
18. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1998. – 364 с.
19. Maxwell S.C., Urbancic T.I. The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field // The Leading Edge. – 2001. – № 6. – P. 636–639.
20. Microseismic imaging of hydraulic fracture complexity in a naturally fractured reservoir // T.I. Urbancic, S.C. Maxwell, N. Steinsberger and R.J. Zinno // EAGE 64 Conference & Exhibition. – Florence, 2002. – 43 p.
21. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VII. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
22. Телков А.П., Грачева Н.С., Каширина К.О. Образование трещин в продуктивном пласте при гидравлическом разрыве // Газовая промышленность. – 2008. – № 3. – С. 17–20.
23. Интенсификация добычи нефти и газа методом разрыва пласта / Т.Л. Чернышева, Г.В. Тимашев, А.Ю. Мищенко, А.Я. Строгий. – М.: Изд-во ВНИИГазпром, 1987. – 43 с.
24. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат, 1962.
25. Lewis L. Laei. Dynamic rock mechanics testing for optimized fracture design // SPE 38716. – 1997.
26. Шумилов В.А., Шалинов В.П., Азаматов В.В. Исследование призабойной зоны пластов при интенсификации добычи нефти и газа за рубежом // Обз. информ. Серия: Нефтепромысловое дело. – М.: Изд-во ВНИИОЭНГ, 1985. – 32 с.
27. Моделирование ГРП по экспериментальным зависимостям геомеханических характеристик коллектора / Р.Г. Ширгазин, Р.Х. Исянгулова, О.А. Залевский, В.Н. Лысенко, Ю.В. Земцов // OilGas conference. – 2008. – № 6. – P. 41–43.
28. John L, Gidley. Recent advances in hydraulic fracturing. Monograph. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Richardson. TX. U.S.A, 1989.
29. Александров С.И., В.А. Мишин, Д.И. Буров Микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта: успехи и проблемы // Технологии добычи и использования углеводородов. – 2014. – № 2. – С. 39–43.
30. Байкин А.Н. Динамика трещины гидроразрыва пласта в неоднородной пороупругой среде: дис. ... канд. физ.-мат. наук / МО и НРФ ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. – Новосибирск, 2016.
31. Повышение эффективности гидроразрыва в условиях высокой обводненности пласта БВ-8 Повховского месторождения / А.С. Валеев, М.Р. Дулкарнаев, Ф.С. Салимов, А.В. Бухаров, А.В. Котенев // Нефтегазовое дело. – 2014. – № 6. – С. 154–174.
32. Barker B.J., Ramey H.J. Jr. Transient flow to finite conductivity vertical fractures // SPE 7489. – 1978.
33. Economides, M.J., and Nolte, K.G. Reservoir stimulation // Schlumberger Educational Services. – Houston, Texas. – 1987. – P. 11–3.
34. Raghavan R. Analysis of pressure data for fractured wells: the constant-pressure outer boundary R. Raghavan, Hadinoto, Nico // SPEJ. – 1978. – April. – P. 139–149.
35. Vertical fracture height – its effect on steady state production increase / J.M. Tinsley, J.R. Williams, R.L. Tiner, W.T. Malone // SPE 1900. Journal of Petroleum Technology. – 1969. – Vol. 21. – P. 633–638.
36. Weijers L. The Near-wellbore geometry of hydraulic fractures initiated from horizontal and deviated wells. – Delft, Netherlands, Delft University Press, 1995.
37. Гидроразрыв пласта. Современные достижения в области проектирования обработки скважин / Б. Брэди, Дж. Элвел, М. Мак, Х. Морален, К. Нолте // Oilfield Review. – 1992. – October.
38. Давление разрыва как технологический фактор, ограничивающий репрессию на пласт // Труды СибНИИГП. Вопросы геологии и разработки месторождений Западной Сибири. – Тюмень, 1985. – С. 86–94.
39. Занкиев М.Я. Классификация и диагностирование эффективности технологии гидравлического разрыва пластов в условиях ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз»: автореф. дис. канд. техн. наук / Тюм. гос. нефтегазовый ун-т. – Тюмень, 1998. – 24 с.
40. Курамшин Р.М., Иванов С.В., Кузьмичев А.П. Эффективность проведения гидроразрывов пласта на месторождениях Ноябрьского района // Нефтяное хозяйство. – 1997. – № 12. – С. 58–64.
41. Логинов Б.Г., Блажевич В.А. Гидравлический разрыв пластов. – М.: Недра, 1966. – 148 с.

42. Анализ технологии проведения ГРП на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» / Г.А. Малышев, А.Г. Малышев, В.Н. Журба, Н.Н. Сальникова // Нефтяное хозяйство. – 1997. – № 9. – С. 46–52.

43. Анализ влияния технологических факторов и механических свойств горных пород на эффективность проведения ГРП / А.Г. Малышев, Г.А. Малышев, В.П. Сонич, В.Ф. Седач, В.Н. Журба // Нефть Сургута: сб. статей посвященный добыче 1 млрд т нефти на мест. ОАО «Сургутнефтегаз». – М.: Нефтяное хозяйство, 1997. – С. 224–238.

44. Инструкции по технологии глубокопроникающего гидравлического разрыва пласта. РД 39-0147035-236-89 / П.М. Усачев, Ю.А. Песляк, С.В. Константинов, Г.С. Киселева, Н.В. Крикунов, Н.П. Лесик, Л.А. Мигадова, В.А. Миклин, В.А. Руднев, Л.А. Саврасов, Ф.Ф. Галиев, В.В. Сысков. – М.: ВНИИ, 1989. – 52 с.

45. Усачев П.М. Гидравлический разрыв пласта. – М: Недра, 1986. – 166 с.

References

1. Voevodkin V.L., Aleroev A.A., Baldina T.R., Raspopov A.V., Kazantsev A.S., Kondrat'ev S.A. Razvitie tekhnologii gidravlicheskogo razryva plasta na mestorozhdeniiakh Permskogo kraia [The development of hydraulic fracturing technologies in the Perm region]. Moscow: Neftianoe khoziaistvo, 2018, 108 p.
2. Kondrat'ev S.A., Zhukovskii A.A., Kochneva T.S., Malysheva V.L. Opyt provedeniia proppantnogo gidrorazryva plasta v karbonatnykh kollektorakh mestorozhdenii Permskogo kraia [Some experience of the formation proppant fracturing in carbonate reservoirs of Perm region deposits]. Moscow: VNIIOENG, 2016, 68 p.
3. Aleroev A.A., Kondrat'ev S.A., Sharafiev R.R., Novokreshchennykh D.V., Zhigalov V.A. Provedenie proppantnykh gidrorazryvov nizkopronitsaemykh plastov na neftianykh mestorozhdeniiakh Nenetskogo avtonomnogo okruga [Performance of proppant hydraulic fracturing in low-permeability oil reservoirs of the Nenets autonomous district]. Moscow: Neftianoe khoziaistvo, 2017, 108 p.
4. Bakirov E.A., Ermolkin V.I., Larin V.I. Geologiya nefti i gaza [Geology of oil and gas]. Moscow: Nedra, 1980, 240 p.
5. Gimatudinov Sh.K. Ekspluatatsiia i tekhnologiya razrabotki neftianykh i gazovykh mestorozhdenii [Operation and technology for the development of oil and gas fields]. Moscow: Nedra, 1978, 357 p.
6. Barenblatt G.I., Engov V.M., Ryzhin V.M. Teoriia nestatsionarnoi fil'tratsii zhidkosti i gaza [Theory of unsteady fluid and gas filtration]. Moscow: Nedra, 1972.
7. Zheltov Iu.P., Khristianovich S.A. O gidravlicheskom razryve neftenosnogo plasta [About hydraulic fracturing of oil reservoir]. *Izvestiia AN SSSR. OTN*, 1955, no. 5, pp. 3-41.
8. Zheltov Iu.P. Gidravlicheski razryv plasta [Hydraulic fracturing]. Moscow: Gostoptekhizdat, 1957, 98 p.
9. Zheltov Iu.P. Deformatsiia gornyx porod [Rock deformation]. Moscow: Nedra, 1966, 198 p.
10. Zheltov Iu.P. Razrabotka neftianykh mestorozhdenii [Oil field development]. Moscow: Nedra, 1986, 332 p.
11. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir stimulation. *New Jersey. Eglewood cliffs 01632*, 1989, 430 p.
12. Ekonomidis M., Olin R., Val'ko P. Unifitsirovannyi dizain gidrorazryva plasta: ot teorii k praktike [Unified fracturing design: from theory to practice]. Moscow – Izhevsk: Institut komp'iuternykh issledovani, 2007, 236 p.
13. Ivanov S.I. Intensifikatsiia pritoka nefti i gaza k skvazhinam [Intensification of oil and gas inflow to wells]. Moscow: Nedra – Biznestsentr, 2006, 565 p.
14. Clark J.B. Hydraulic process for increasing productivity of wells. *Trans. AIME*, 1949, vol. 186, pp. 1-8.
15. Kanevskaia R.D. Zarubezhnyi i otechestvennyi opyt primeneniia gidrorazryva plasta [Foreign and domestic experience in the use of hydraulic fracturing]. Moscow: VNIIOENG, 1998, 40 p.
16. Charnyi I.A. Podzemnaia gidrogazodinamika [Underground hydrodynamics]. Moscow: Gostoptekhizdat, 1963, 346 p.
17. Zheltov Iu.P. Mekhanika neftegazonosnogo plasta [Oil and gas reservoir mechanics]. Moscow: Nedra, 1975, 207 p.
18. Khellan K. Vvedenie v mekhaniku razrusheniia [Introduction to fracture mechanics]. Moscow: Mir, 1998, 364 p.
19. Maxwell S.C., Urbancic T.I. The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field. *The Leading Edge*, 2001, no. 6, pp. 636-639.
20. Urbancic T.I., Maxwell S.C., Steinsberger N., Zinno R.J. Microseismic imaging of hydraulic fracture complexity in a naturally fractured reservoir. *EAGE 64 Conference & Exhibition*. Florence, 2002. 43 p.
21. Landau L.D., Livshits E.M. Teoreticheskaia fizika. Tom VII. Teoriia uprugosti [Theoretical physics. Volume VII. Elasticity theory]. Moscow: Nauka, 1987, 248 p.
22. Telkov A.P., Gracheva N.S., Kashirina K.O. Obrazovanie treshchin v produktivnom plaste pri gidravlicheskom razryve [The formation of cracks in the reservoir during hydraulic fracturing]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2008, no. 3, pp. 17-20.
23. Chernysheva T.L., Timashev G.V., Mishchenko A.Iu., Strogii A.Ia. Intensifikatsiia dobychi nefti i gaza metodom razryva plasta [Intensification of oil and gas production by fracturing]. Moscow: VNIIGazprom, 1987, 43 p.
24. Kobranova V.N. Fizicheskie svoistva gornyx porod [Physical properties of rocks]. Moscow: Gostoptekhizdat, 1962.
25. Lewis L. Laei. Dynamic rock mechanics testing for optimized fracture design. *SPE 38716*, 1997.

26. Shumilov V.A., Shalinov V.P., Azamatov V.V. Issledovanie prizaboinoi zony plastov pri intensifikatsii dobychi nefi i gaza za rubezhom [Investigation of the bottom-hole formation zone during the intensification of oil and gas production abroad]. *Obz. inform. Neftepromyslovoe delo*. Moscow: VNIIOENG, 1985, 33 p.
27. Shirgazin R.G., Isiangulova R.Kh., Zalevskii O.A., Lysenko V.N., Zemtsov Iu.V. Modelirovanie GRP po eksperimental'nym zavisimostiam geometricheskikh kharakteristik kollektora [Hydraulic fracturing modeling by experimental dependences of reservoir biomechanical characteristics]. *Oil Gas conference*, 2008, no. 6, pp. 41-43.
28. John L., Gidley. Recent advances in hydraulic fracturing. Monograph. Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Richardson. TX. U.S.A, 1989.
29. Aleksandrov S.I., Mishin V.A., Burov D.I. Mikroiseismicheskii monitoring gidrorazryva plasta: uspekhi i problemy [Microseismic monitoring of hydraulic fracturing: successes and challenges]. *Tekhnologii dobychi i ispol'zovaniia uglevodorodov*, 2014, no. 2, pp. 39-43.
30. Baikin A.N. Dinamika treshchiny gidrorazryva plasta v neodnorodnoi porouprugoi srede [The dynamics of hydraulic fracturing in an inhomogeneous porous-elastic medium]. Ph. D. Thesis. Novosibirsk: Novosibirskii natsional'nyi issledovatel'skii gosudarstvennyi universitet, 2016.
31. Valeev A.S., Dulkarnaev M.R., Salimov F.S., Bukharov A.V., Kotenev A.V. Povyshenie effektivnosti gidrorazryva v usloviakh vysokoi obvodnenennosti plasta BV-8 Povkhovskogo mestorozhdeniia [Improving efficiency of hydraulic fracturing under high watercut reservoir conditions of bv-8 formation, povkhovskoe field]. *Neftegazovoe delo*, 2014, no. 6, pp. 154-174.
32. Barker B.J., Ramey H.J.Jr. Transient Flow to Finite Conductivity Vertical Fractures. *SPE 7489*, 1978.
33. Economides M.J., Nolte K.G. Reservoir Stimulation. *Schlumberger Educational Services*. Houston, Texas, 1987, pp. 11-3.
34. Raghavan R., Hadinoto Nico. Analysis of Pressure Data for Fractured Wells: The Constant- Pressure Outer Boundary. *SPEJ*, 1978, April, pp. 139-149.
35. Tinsley J.M., Williams J.R., Tiner R.L., Malone W.T. Vertical Fracture Height—Its Effect on Steady State Production Increase. *SPE 1900. Journal of Petroleum Technology*, 1969, vol. 21, pp. 633-638.
36. Weijers L. The Near-Wellbore Geometry of Hydraulic Fractures Initiated from Horizontal and Deviated Wells. Delft. Netherlands, Delft University Press, 1995.
37. Bredi B., Elvel Dzh., Mak M., Moralen X., Nolte K. Gidrorazryv plasta. Sovremennye dostizheniia v oblasti proektirovaniia obrabotki skvazhin [Hydraulic fracturing. Modern advances in the design of well treatment]. *Oilfield Review*, October, 1992.
38. Davlenie razryva kak tekhnologicheskii faktor, ogranicivaiushchii repressiiu na plast [Burst pressure as a technological factor limiting repression on the formation]. *Trudy SibNINP. Voprosy geologii i razrabotki mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri*. Tiumen', 1985, pp. 86-94.
39. Zankiev M.Ia. Klassifikatsiia i diagnostirovanie effektivnosti tekhnologii gidravlicheskogo razryva plastov v usloviakh OAO "Slavneft'-Megionneftegaz" [Classification and diagnosis of the effectiveness of hydraulic fracturing technology in the conditions of OAO Slavneft'-Megionneftegaz"]. Abstract Ph. D. thesis. Tiumen': Tiimenskii gosudarstvennyi neftegazovyi universitet, 1998, 24 p.
40. Kuramshin P.M., Ivanov S.V., Kuz'michev A.P. Effektivnost' provedeniia gidrorazryvov plasta na mestorozhdeniakh Noiabr'skogo raiona [The effectiveness of hydraulic fracturing in the fields of the Noyabrsk district]. *Neftianoe khoziaistvo*, 1997, no. 12, pp. 58-64.
41. Loginov B.G., Blazhevich V.A. Gidravlicheskii razryv plastov [Hydraulic fracturing]. Moscow: Nedra, 1966, 148 p.
42. Malyshev G.A., Malyshev A.G., Zhurba V.N., Sal'nikova H.H. Analiz tekhnologii provedeniia GRP na mestorozhdeniakh OAO "Surgutneftegaz" [Analysis of hydraulic fracturing technology in the fields of OJSC "Surgutneftegaz"]. *Neftianoe khoziaistvo*, 1997, no. 9, pp. 46-52.
43. Malyshev A.G., Malyshev G.A., Sonich V.P., Sedach V.F., Zhurba V.N. Analiz vliianiia tekhnologicheskikh faktorov i mekhanicheskikh svoistv gornykh porod na effektivnost' provedeniia GRP [Analysis of the influence of technological factors and the mechanical properties of rocks on the effectiveness of hydraulic fracturing]. *Neft' Surguta. Sbornik statei posviashchennyi dobyche 1 mlrd t nefi na mest. OAO "Surgutneftegaz"*. Moscow: *Neftianoe khoziaistvo*, 1997, pp. 224-238.
44. Usachev P.M., Pesliak Iu.A., Konstantinov S.V., Kiseleva G.S., Krikunov N.V., Lesik N.P., Migadova L.A., Miklin V.A., Rudnev V.A., Savrasov L.A., Galiev F.F., Syskov V.V. Instruksii po tekhnologii glubokopornikaiushchego gidravlicheskogo razryva plasta. RD 39-0147035-236-89 [Instructions for the technology of deep-fracturing hydraulic fracturing. RD 39-0147035-236-89]. Moscow: VNII, 1989, 52 p.
45. Usachev P.M. Gidravlicheskii razryv plasta [Hydraulic fracturing]. Moscow: Nedra, 1986, 166 p.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Новокрещенных Д.В., Распопов А.В. Направления повышения эффективности гидроразрыва пласта в карбонатных отложениях месторождений Республики Коми и Ненецкого автономного округа // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т.20, №2. – С.275–281. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.2.7

Please cite this article in English as:

Novokreshchennykh D.V., Raspopov A.V. Trends in improving hydraulic fracturing efficiency in carbonate deposits at Komi Republic and Nenets Autonomous District fields. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2020, vol.20, no.2, pp.275-281. DOI: 10.15593/2224-9923/2020.2.7