

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-1-104-110

УДК 622.276.66

Т.Ф. Шайхутдинов, Н.Р. Яркеева (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

АНАЛИЗ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

Timur F. Shaikhutdinov, Natalya R. Yarkeeva (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

ANALYSIS OF NEGATIVE CONSEQUENCES DURING A HYDRAULIC FRACTURING

Введение

В настоящее время доля трудноизвлекаемых природных запасов нефти при разработке нефтяных и газонефтяных месторождений увеличивается, повышается и объем проведения работ по увеличению коэффициента нефтеизвлечения. Гидравлический разрыв пласта является одним из эффективных методов интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи.

Цели и задачи

Определить качественную геолого-физическую информацию о строении объекта разработки при проектировании процессов геолого-технических мероприятий. Обосновать отрицательные последствия, возникающие после проведения работ по интенсификации и увеличению коэффициента нефтеизвлечения. Установить влияние обводненности скважин на эффективность проведения гидравлического разрыва пласта.

Результаты

Выполнен подбор главных аспектов правильного построения геолого-гидродинамической модели.

Background

Currently, the share of hard-to-recover natural oil reserves in the development of oil and gas-oil fields is increasing, and the volume of work to increase the oil recovery ratio is increasing. Hydraulic fracturing is one of the effective methods of production enhancement and enhanced oil recovery.

Aims and Objectives

To determine the qualitative geological and physical information about the structure of the development object when designing the processes of geological and technical measures. To prove the negative consequences arising after the work on intensification and increase of oil recovery factor. To establish the effect of water-cut wells on the effectiveness of hydraulic fracturing.

Results

The main aspects of the correct construction of the geological and hydrodynamic model are selected.

Проанализированы возможные отрицательные последствия, возникающие при неправильном проектировании процесса гидравлического разрыва пласта, обоснованы способы их предупреждения. Отмечено влияние водоносных пропластков при проведении гидроразрыва пласта в добывающих скважинах с высокой базовой обводненностью.

The possible negative consequences arising due to improper design of the hydraulic fracturing process are analyzed, and ways to prevent them are justified. The influence of the aquifer interlayers was noted during hydraulic fracturing in production wells with a high level of irrigation.

Ключевые слова: гидравлический разрыв; проницаемость; низкопроницаемый коллектор; обводненность; моделирование; трещина

Key words: hydraulic fracturing; permeability; low permeability reservoir; water cut; modeling; crack

Современные темпы добычи углеводородов снижаются в связи с тем, что подземные ископаемые становятся менее доступными. Большую долю в разработке составляют коллекторы, которые имеют плохие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС). Добыча углеводородов из нетрадиционных коллекторов и пластов с плохими коллекторскими свойствами практически затруднена без использования методов интенсификации притока.

приводит к их смыканию. Для того чтобы предотвратить этот процесс, в трещину попутно с вязкой жидкостью закачивается закрепляющий агент - проппант.

Одним из эффективных и наиболее испытанных временем является гидравлический разрыв пласта. Он позволяет не только расширить область дренирования вокруг скважины, связав микротрещинами слабодренируемые толщины в залежах с тонкослоистыми пропластками, но и интенсифицировать эту область за счёт снижения потерь пластовой энергии в околоскважинной зоне.

На сегодняшний день подбор скважин для проведения гидравлического разрыва основывается на практических и исследовательских данных. Правильный выбор скважины осуществляется путем детального изучения геолого-физических характеристик пласта, анализа динамики его разработки. Однако следует отметить, что существуют много видов ГРП, которые подбираются не только в зависимости от геолого-физических условий пласта, но и с учетом конструкции и типа скважины.

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является сложным процессом, который заключается в нагнетании вязкой жидкости в пласт под высоким давлением. Жидкость под действием давления создает новые или раскрывает уже существующие трещины в горной породе. Проницаемость на забое скважины резко увеличивается и, следовательно, увеличивается приток пластовой жидкости в скважину. Уменьшение давления в трещинах

Нефтедобывающие компании применяют гидроразрыв пласта в комплексе с горизонтальным бурением, в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах (ГС) [1]. Данное условие необходимо для получения большей поверхности соприкосновения ствола скважины с продуктивным пластом.

Важно отметить, что проведение ГРП несет в себе возможные экологические последствия, которые необходимо предопределить в процессе технологического проектирования согласно правилам охраны недр и окружающей среды.

Перед проведением ГРП предполагается подготовка качественной информации объекта разработки, а именно:

- бурение поисковых, разведочных скважин;
- отбор и лабораторные исследования керна пород;
- проведения геофизических исследований скважин (ГИС);
- построение детальных корреляционных схем;
- построение геологических карт профилей и разрезов.

Конечным результатом подготовки проведения гидроразрыва пласта является геологическая модель объекта разработки. На основе этой модели можно выбирать места для бурения эксплуатационных либо нагнетательных скважин, где в свою очередь будет проводиться ГРП. При массовом применении ГРП на нефтяных месторождениях ключевую роль играют определение фильтрационных потоков в пласте через гидродинамическую модель. На сегодня известны различные способы моделирования ГРП на таких моделях, где можно не только создавать геометрические характеристики трещин, но и адаптировать их под необходимые условия [2].

Конечным результатом подготовки проведения гидроразрыва пласта является геологическая модель объекта разработки. На основе этой модели можно выбирать места для бурения эксплуатационных либо нагнетательных скважин, где в свою очередь будет проводиться ГРП. После выбора места и пробуривания скважин, определяется интервал ГРП, давление разрыва, состав жидкости разрыва и расклинивающего материала.

К положительному эффекту от проведения ГРП можно отнести увеличение дебита скважины с уменьшением обводненности продукции. Однако существуют отрицательные эффекты, связанные с ошибками в проектировании процесса ГРП. К наиболее возможным отрицательным следствиям ГРП следует отнести:

- вынос проппанта из трещин флюидом в процессе эксплуатации скважины;

- резкое повышенное обводнение скважинной продукции;
- низкая проводимость трещин из-за ошибок в проектировании ГРП;
- снижение фазовой проницаемости по нефти в переходных и ненасыщенных зонах пласта;
- прорыв воды из трещины ГРП при близости водонасыщенных прослоев;
- неконтролируемое расположение трещин при плохом учете неоднородности и анизотропии пласта;
- кольматация призабойной зоны пласта (ПЗП).

Вышеперечисленные отрицательные факторы значительно снижают эффективность проведенного гидравлического разрыва. Снижается также продолжительность эффекта от ГРП, что приводит к технологико-экономическим потерям.

Некоторые из этих факторов можно устранить оптимизацией разработки и дизайна ГРП, остальные нуждаются в использовании дополнительных технологических решений для уменьшения риска появления отрицательного эффекта.

Опыт проведения ГРП показывает, что не всегда наблюдается рост обводненности продукции после проведения работ. Это указывает на то, что возможно и снижение доли воды в продукции путем вовлечения в разработку недренированных ранее зон пласта. Исходя из этого, для учета изменения обводненности продукции после проведения ГРП обязательным является проведение расчетов на базе численных гидродинамических моделей.

Проводимости трещин необходимо придавать важное значение, так как незакрепленная часть трещины в прискважинной зоне составляет не более 3 % от её длины. Незакрепленность приводит к закрытию входного участка трещины и снижению эффекта от ГРП. Следовательно, для увеличения эффекта необходимо проведение подбора и учета напряжения упаковки закрепителя [3].

Ухудшение фазовой проницаемости по нефти и проводимости трещины преимущественно в низкопроницаемых коллекторах можно предотвратить применением азотного

или пенного ГРП с двуокисью углерода. Газ вводится в пласт в сжиженном состоянии, выносится в газовой фазе. Данный процесс позволяет вынести жидкость разрыва из пласта, предотвращая при этом негативные загрязняющие эффекты [4].

Прорыв воды имеет разносторонний характер влияния на эффективность разработки после ГРП. В пластах с повышенной неоднородностью употребление фронта нагнетания воды приводит к положительным последствиям. Однако если пласт однородный и скважина, в которой проведен ГРП, наиболее приближена к фронту, то в этом случае возникает риск повышенной обводненности продукции [5].

На текущий момент значительная часть месторождений Западной Сибири находятся на четвертой стадии разработки, характеризующейся высокой обводненностью продукции вследствие как естественной выработки запасов, так и влияния заводнения. Порядка 60 % фонда действующих скважин эксплуатируются с текущей обводненностью более 90 %, более 22 % фонда скважин - в диапазоне от 70 % до 90 %. Отмечается, что со временем увеличивается процент воды в добываемой продукции как до, так и после операций ГРП, что в целом сказывается на эффективности мероприятий.

Состояние скважин действующего добывающего фонда по территориально-производственному предприятию «Когалымнефтегаз» представлено на рисунке 1.

Средние удельные приросты дебита нефти по диапазонам изменений базового дебита и обводненности показаны на рисунке 2.

Следует отметить, что основную долю по динамике изменения дебита нефти от 0 до 4 т/сут составляют скважины, имеющие обводненность более 95 %. Наименьший удельный прирост дебита нефти отмечается по группе скважин с высокой базовой обводненностью (более 95 %) и с базовым дебитом нефти в диапазоне от 4 до 10 т/сут. По остальным группам скважин удельный прирост дебита нефти составляет 4,3-5,0 т/сут.

Заметное увеличение объемов ГРП на высокообводненном фонде сказывается на эффективности мероприятий. При высокой базовой обводненности требуются разработка и применение технологий ГРП, адаптированных под условия таких скважин.

Однако при адаптации необходимо учитывать не только время, но и стоимость ремонтов. Адаптированные технологии рентабельно применять только на тех скважинах, которые уже имеют большую базовую обводненность.

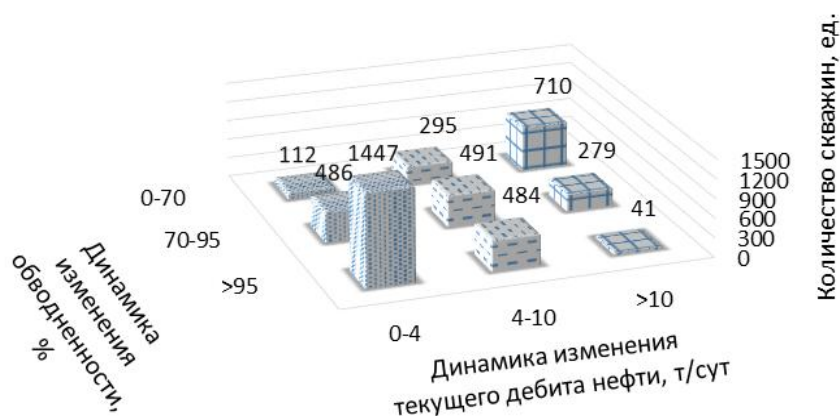


Рисунок 1. Характер распределения скважин по диапазонам изменения текущего дебита нефти и обводненности

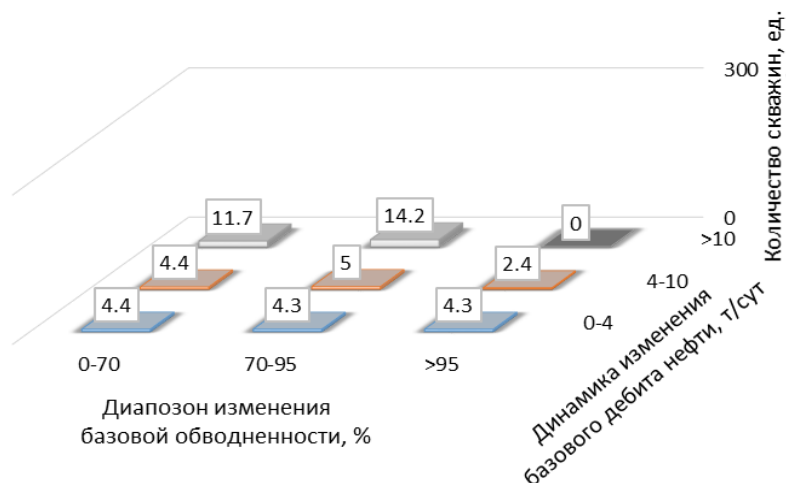


Рисунок 2. Средний характер распределения скважин по удельным приростам дебита нефти

На месторождениях Западной Сибири проявили высокую эффективность работы по гидроразрыву, выполненные по технологии «SlugFrac». ГРП по данной технологии проводят в условиях, когда нижележащие водонасыщенные пласты отделены от проводимого интервала тонкими глинистыми перемычками. Важное значение при проведении данной работы имеет линейный гель, который обеспечивает достижение давления ГРП, определяющего рост трещины в высоту. В процессе закачки проппант оседает в нижней части трещины в соответствии с законом Стокса. Результат оседания проппанта - образование дюн, которые служат в будущем барьером. При последующей закачке остальной части смеси проппанта со сшитым гелем (высоковязкой жидкостью) происходит отклонение закачиваемого потока от нижней части трещины. Вследствие отклонения происходит увеличение полудлин трещин и замедляется их рост по вертикали по отношению к нижележащим пропласткам.

Кольматации ПЗП можно избежать в случае правильного изменения дизайна с целью проработки призабойной зоны и использования метода дренирования. Использо-

вание проработки позволяет снизить возможность загрязнения скважины и определить количество требуемого объема проппанта [6].

На Тевлинско-Русскинском месторождении для пласта БС₁₀²⁻³ широкое применение получила технология селективных ГРП. Разница в выработке запасов между кровельной и подошвенной частями пласта выявила эффективность данного вида работ. После селективных ГРП прирост нефти в 2016-2017 гг. составил 6,9 и 3,3 т/сут соответственно. Данный вид гидроразрыва позволяет произвести закачку определенного объема жидкости на каждый интервал горизонтального ствола. Повышение дебита при этом обуславливается увеличением охвата всей продуктивной толщины пласта. Следует отметить, что при селективных ГРП масса проппанта на 10-20 % меньше, чем при других стандартных видах ГРП [7].

Выводы

Обосновано, что определяющими факторами успешности ГРП являются правильный выбор объекта для проведения операций, использование адаптивных технологий гидроразрыва.

Качественно построенная гидродинамическая модель позволяет выполнить анализ точного состояния запасов углеводородов, выбрать правильный участок объекта для проведения геолого-технических мероприятий.

Использование адаптированных технологий при эксплуатации скважин обводненного фонда скважин ведет к снижению отрицательных последствий и увеличению притока жидкости и газа.

Список литературы

1. Бархатов Э.А., Яркеева Н.Р. Эффективность применения многозонного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. № 10. С. 50-58.
2. Шахов Д.С., Ярышев М.Г. Моделирование эффектов гидроразрыва пласта на полномасштабных моделях при помощи метода создания дополнительных соединений // Бурение и нефть. 2014. № 12. С. 43-46.
3. Акимов О.В., Гусаков В.Н., Мальцев В.В., Худяков Д.Л. Потенциал технологии закрепления пропанта для повышения эффективности гидроразрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2008. № 11. С. 31-33.
4. Пенг Х., Фенг Г., Янг Й., Югуи Ы., Янан Г., Йиа Л. Влияние воды и азотной жидкости разрыва на возникновении и распространении трещины при гидроразрыве пористой породы // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017. № 45. С. 38-52.
5. Юсифов Т.Ю., Фаттахов И.Г., Юсифов Э.Ю., Каримова Н.Г., Петрова Л.В., Сафиуллина А.Р. Влияние фронта нагнетаемых вод на эффективность гидроразрыва пласта // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18959> (дата обращения: 17.04.2019). DOI: 10.17513/spno.121-18959.
6. Швецов Д.И., Полякова Н.С. Методы снижения влияния кольматации призабойной зоны пласта при проведении гидроразрыва пласта // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 2. URL: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=15890> (дата обращения: 18.03.2019).
7. Верикосин А.Е., Зиновьева Л.М. Особенности технологии промывки и освоения горизонтальных скважин после селективного гидроразрыва пласта на месторождениях Западной Сибири // Наука. Инновации. Технологии. 2015. № 3. С. 79-90.

References

1. Barkhatov E.A., Yarkееva N.R. Effektivnost' primeneniya mnogozonnoho gidrorazryva plasta v gorizont'al'nykh skvazhinakh [The Effectiveness of Multi-Zone Hydraulic Fracturing in Horizontal Wells]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, No. 10, pp. 50-58. [in Russian].
2. Shakhov D.S., Yaryshev M.G. Modelirovanie effektivov gidrorazryva plasta na polnomasshtabnykh modelyakh pri pomoshchi metoda sozdaniya dopolnitel'nykh soedinenii [Simulation of the Effects of Hydraulic Fracturing on Full-Scale Models Using the Method of Creating Additional Connections]. *Burenie i neft' - Drilling and Oil*, 2014, No. 12, pp. 43-46. [in Russian].
3. Akimov O.V., Gusakov V.N., Maltsev V.V., Khudyakov D.L. Potentsial tekhnologii zakrepleniya propanta dlya povysheniya effektivnosti gidrorazryva plasta [Potential of Technologies of Proppant Fixation for Hydrofracturing Efficiency Increase]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2008, No. 11, pp. 31-33. [in Russian].
4. Peng Kh., Feng G., Yang I., Yugui Y., Yanan G., Iia L. Vliyanie vody i azotnoi zhidkosti razryva na vzniknovenii i rasprostraneni treshchiny pri gidrorazryve poristoi porody [The Effect of Water and Nitrogen Fluid Fracture on the Occurrence and Propagation of Cracks during Fracturing of Porous Rocks]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2017, No. 45, pp. 38-52. [in Russian].
5. Yusifov T.Yu., Fattakhov I.G., Yusifov E.Yu., Karimova N.G., Petrova L.V., Safiullina A.R. Vliyanie fronta nagnetaemykh vod na effektivnost' gidrorazryva plasta [Front Impact on the Efficiency of Injection Water Fracturing]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya - Modern Problems of Science and Education*, 2015, No. 1-1. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18959> (accessed 17.04.2019). DOI: 10.17513/spno.121-18959. [in Russian].
6. Shvetsov D.I., Polyakova N.S. Metody snizheniya vliyaniya kol'matatsii prizaboinoi zony plasta pri provedenii gidrorazryva plasta [Methods to Reduce the Effect of Mudding of the Bottomhole Zone during Hydraulic Fracturing]. *Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik - International Student Scientific Bulletin*, 2016, No. 2. Available at: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=15890> (accessed 18.03.2019). [in Russian].

7. Verikosin A.E., Zinoveva L.M. Osobennosti tekhnologii promyvki i osvoeniya gorizonta'nykh skvazhin posle selektivnogo gidrorazryva plasta na mestorozhdeniyakh Zapadnoi Sibiri [Features of Technology of Washing and Development of Horizontal Wells after Selective Hydraulic Fracturing of Layer on Fields of Western Siberia]. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii - Science. Innovations. Technologies*, 2015, No. 3, pp. 79-90. [in Russian].

Авторы

• Шайхутдинов Тимур Фаритович
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Разработка
и эксплуатация нефтяных и газонефтяных
месторождений»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: timurlan4ik@gmail.com

• Яркеева Наталья Расатовна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Разработка и эксплуатация
нефтяных и газонефтяных месторождений»
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: yarkeevan@yandex.ru

The Authors

• Shaikhutdinov Timur F.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Development
and Exploitation of Oil and Gas Fields
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: : timurlan4ik@gmail.com

• Yarkeeva Natalya R., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Development and Exploitation
of Oil and Gas Fields Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,
Russian Federation
e-mail: yarkeevan@yandex.ru