

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
European Journal of Technology and Design  
Has been issued since 2013.  
E-ISSN: 2310-3450  
2021. 9(1): 3-7

DOI: 10.13187/ejtd.2021.1.3  
[www.ejournal4.com](http://www.ejournal4.com)



## Articles

### The Technology of Hydraulic Fracturing

Dmitry V. Izymbaev <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Kalashnikov's Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

#### Abstract

The main method of influencing the bottomhole formation zone in order to increase the productivity of wells is hydraulic fracturing. Hydraulic fracturing pursues two main goals: increasing reservoir productivity by increasing the effective radius of well drainage; creation of a highly permeable inflow channel, bypassing the damaged bottomhole zone. The design of this operation should take into account the geological features of the formation in the zone of each well on which hydraulic fracturing is planned. Accordingly, for each well, it is necessary to optimize the crack parameters from the physical and economic points of view.

The properties of the fluids used are of great importance for the effectiveness of the method; the size of the crack opening directly depends on the pressure generated. But under high pressure, liquid can penetrate into the pores, thereby contaminating the rock and formation. In the presence of core material, it is necessary to conduct tests in laboratory conditions to study the nature of formation contamination.

The use of specially treated fluids, specialized for the conditions of hydraulic fracturing only for this formation, anchoring material, equipment and technology provides a greater initial and cumulative increase in oil production.

**Keywords:** hydraulic fracturing, oil production rate, fracturing fluid, liquid chemicals, development, manifold, magnitude of openness, intensification, oil recovery.

#### 1. Введение

Основной метод воздействия на призабойную зону пласта с целью увеличения производительности скважин является гидроразрыв пласта. Проведение гидроразрыва пласта преследует две главные цели: повышение продуктивности пласта путем увеличения эффективного радиуса дренирования скважины; создание высокопроницаемого канала притока, минуя поврежденную призабойную зону.

#### 2. Обсуждение и результаты

##### Технология гидроразрыва пласта

Технология гидравлического разрыва пласта (ГРП), включает следующие операции:

- перфорация;

\* Corresponding author  
E-mail addresses: [izimbaev09@mail.ru](mailto:izimbaev09@mail.ru) (D.V. Izymbaev)

- спуск в скважину высокопрочных насосно-компрессорных труб с пакером и якорем на нижнем конце;
- проведение теста, для корректировки закачки основного агента;
- закачку по насосно-компрессорной трубе в пласт жидкости-разрыва, жидкости – песконосителя и продавочной жидкости;
- демонтаж оборудования, освоение скважины и пуск скважины в работу (Альфред, Дженнингс, 2003).

Организация ГРП состоит в приготовлении соответствующих реагентов в качестве жидкости гидроразрыва и последующей закачки ее в продуктивную зону с низким расходом и под высоким давлением с тем, чтобы расклинить породу, образовать в результате трещину как результат гидравлического воздействия. Прежде всего, чистая жидкость (буфер) закачивается в скважину для иницирования трещин и ее продвижения в пласте. После этого суспензия продолжает развивать трещину.

Подготовка жидкостей ГРП производится на кусту скважин, непосредственно перед закачкой ее в пласт. Система подготовки жидкости ГРП включает: песковоз, емкость с водой или дизтопливом, смесительный агрегат (блендер). В смесителе смешиваются жидкости разрыва, химические компоненты и расклинивающие частицы.

Наиболее важной функцией смесителя является механическое смешивание. Химикаты должны быть тщательно и с большой силой перемешаны, чтобы образовалась однородная жидкость разрыва, без комочков (Мальшев, 2010).

Мешалка может быть сконструирована для перемещения жидкости или суспензии в насосные установки, способные закачать до 16 м<sup>3</sup> в минуту. Жидкие добавки вводятся в количестве от 2 до 75 л/мин.

Для этой цели применяются разные насосы. Они снабжены контрольно-измерительными приборами, с помощью которых оператор может определить потребность в добавках и контролировать качество смешиваемой жидкости с тем, чтобы она соответствовала нужным требованиям. Некоторые насосы должны работать с низкой, но постоянной производительностью для осуществления непрерывной закачки. Мешалка должна быть устойчивой к химикатам в процессе смешивания жидкостей.

В мешалке смешиваются жидкости, которые могут содержать основную жидкость, загуститель, комплексообразующий реагент, добавки для уменьшения фильтрации, вяжущие компоненты для глины, компонент для регулировки pH, биоцид и деэмульгатор.

Некоторые из этих компонентов в жидкой форме, некоторые в порошкообразной. Каждый из них добавляется в различной концентрации и, как правило, одновременно. В процессе разрыва может понадобиться менять концентрацию. Это ещё более усложняет систему. За исключением редкого ручного засыпания добавок в мешалку, обычно большинство из химикатов добавляется механическим путём (Мальшев, 2010).

Жидкие химикаты хранятся в контейнерах от 4 л до 8000 л, при крупных операциях по разрыву пласта химические вещества могут помещаться в крупных баках.

Расклинивающие частицы, как правило, засыпаются в мешалку специальным механическим устройством – передвижным ленточным конвейером или шнековым транспортёром.

Механизмы снабжены контрольно-измерительными приборами, регулирующими количество засыпаемых частиц (Некрасов и др., 2018).

Расклинивающие частицы могут храниться в бункерах и засыпаться в мешалку механически. При крупной операции по гидравлическому разрыву пласта они могут храниться и подаваться в мешалку с помощью совершенной механической системы. В этой системе на участке в одном механическом узле могут храниться до 145000 кг пропанта, которые при необходимости подаются на мешалку.

Насосы высокого давления перекачивают жидкости разрыва в скважину с нужной производительностью и под нужным давлением. Эти насосы должны быть жёсткой конструкции, позволяющей закачивать жидкость разрыва под высоким давлением и с высокой производительностью, и выдерживать коррозионное и абразивное воздействие суспензий. Последние могут иметь pH от 1 до 10 и содержание твердого абразива до 0,9 кг на литр. Скорость закачки жидкости может быть в пределах от 480 до 48000 л/мин, что в

среднем составляет 5600 л/мин. Давление при операции разрыва пласта увеличивается с увеличением глубины пласта и достигает 1400 мг/см<sup>2</sup>.

Насосы, участвующие в операциях по разрыву пласта, различаются по своей мощности. Наиболее распространённые из них могут иметь мощность в 400, 1000, 3000 л.с. Часто для закачки нужного количества жидкости в трещину одного насоса недостаточно и тогда приходится через манифольд с помощью нескольких насосов перекачать жидкость в одну трубу, ведущая в ствол скважины. Источником мощности обычно служат дизельные двигатели. Кроме насосов эти двигатели могут снабжать энергией и другое механическое оборудование.

### **Выбор жидкости для гидроразрыва**

Для создания трещины в пласте, её развития и заполнения песком, обычно используют жидкости на нефтяной или водной основах. Основными показателями рабочих жидкостей являются их вязкостные свойства, способность переносить песок на большие расстояния, фильтрационные свойства, определяющие потери жидкости в пласт, а также загрязняющие свойства: способность забивать поры породы пласта (Белкина, Дорошенко, 2017).

Для регулирования свойств жидкости обычно используют следующие модификаторы: понизители фильтрации; гелеобразователи или загустители; стабилизаторы; эмульгаторы.

Выбор рабочих жидкостей – наиболее важный этап проектирования операции ГРП. Основное назначение жидкостей состоит в создании глубоких трещин. Протяженность и раскрытость трещин, создаваемых нагнетаемой жидкостью, зависит как от прочностных свойств горных пород, так и от фильтрующих свойств рабочей жидкости. Чем большая часть заканчиваемой жидкости отфильтровывается в породу пласта, тем меньшую работу она совершает по развитию и расширению трещин.

Величина раскрытости трещины зависит от создаваемого в ней давления. Для создания повышенного давления в трещине необходимо увеличивать вязкость рабочей жидкости, либо увеличивать расход жидкости при нагнетании.

Вязкие жидкости имеют низкие фильтрационные характеристики, поэтому их использование не приводит к большим фильтрационным потерям. Жидкости повышенной вязкости хорошо переносят песок.

Комплексное влияние на процесс фильтрации вязкости и стабильности – контролируемых факторов – может быть определено в лабораторных условиях испытанием на естественных или искусственных образцах. В результате таких исследований определяются начальные потери – потери, идущие на создание корки, и показатель фильтрации жидкости, независящий от потерь на создание корки (Усачев, 1986).

В качестве добавок для снижения потерь обычно используют различные порошки – тонко размельченные твердые частицы.

Для жидкостей на водной основе применяют порошок двуокиси кремния.

Частицы этого порошка свободно фильтруются через песок и вымываются в скважину при обратной промывке.

При выборе в качестве рабочей жидкости дегазированной нефти применяют добавки – порошки карбоната кальция, обработанные нерастворимыми ПАВ.

Эмульсии и высоковязкие жидкости чаще всего обладают невысокими фильтрационными характеристиками и поэтому не требуют добавок (Меликбеков, 1967).

Способность жидкостей переносить песок на удаленные участки трещины определяется её вязкостью, соотношением её плотности и плотности песка, а также размером частиц песка. Существуют определенные зависимости скорости выпадения песка от вязкости жидкости – носителя и диаметра частиц, воспользоваться при расчете высоты заполнения трещины песком. Однако при этом необходимо учитывать, что при закачке песка с высокой концентрацией за счет столкновения частиц песка средняя скорость их осаждения может оказаться меньшей, чем для отдельных частиц, движение которых в вязкой среде описывается формулой Стокса. Кроме этого, при использовании высоковязких жидкостей последние, как правило, являются неньютоновскими и поэтому их вязкости не остается постоянной с изменением температуры и скорости движения.

Загрязнение пласта в той или иной степени происходит при закачке в пласт любых жидкостей. Сравнивая с обычной радиальной фильтрацией жидкости к скважине, где даже

неглубокое загрязнение пород в призабойной зоне пласта приводит к значительному снижению дебита, при фильтрации жидкости к скважине через трещину, глубокое проникновение жидкости разрыва в пласт через стенки трещины не приводят к полному блокированию потока жидкости. Снижение дебита может произойти не за счет загрязнения поверхностей трещины, а в результате блокирования каналов фильтрации в самой трещине, что может произойти вследствие взаимодействия пластовой и рабочей жидкостей при движении их в трещине (Альварадо, Манрик, 2011).

Блокирование пористой среды в трещине происходит также вследствие попадания в трещину мелких частиц породы пласта, являющихся продуктом реакции рабочих агентов с пластовой средой.

В слабопроницаемых низко пористых пластах возможно создание водной блокады при проникновении водных растворов в породу пласта.

Высоковязкие жидкости на нефтяной основе, как правило, легко растворяются в пластовых нефтях и при обратной промывке легко вытесняются в скважину. Однако в некоторых случаях механизм взаимодействия пластовой нефти с высоковязкой жидкостью разрыва может быть таким, что при их контакте сначала выделяются легкие нефтяные фракции из рабочей жидкости, и тогда остальные компоненты выпадают в осадок, способствуя блокированию каналов фильтрации в трещине (Малышев, 2010).

При наличии кернового материала необходимо в лабораторных условиях провести испытания по изучению характера загрязнения пласта рабочими агентами. Испытания должны включать изучение глинистости и карбонатности образцов пород, петрографические определения размеров зерен и пор, связь между ними, а также исследование фильтрационных характеристик до и после прокачки рабочих жидкостей через керн.

### 3. Заключение

Таким образом, применяемые и специализированные только для ГРП спецобработанные жидкости, закрепляющий материал, а так же техника и технология обеспечивает больший как начальный, так и накопленный прирост добычи нефти.

### Литература

Альварадо, Манрик, 2011 – Альварадо В., Манрик Э. Методы увеличения нефтеотдачи пластов. Планирование и стратегии применения. М.: Премиум Инжиниринг, 2011.

Альфред, Дженнингс, 2003 – Альфред Р., Дженнингс Ж. Применение гидравлического разрыва пласта / пер. с англ. Д. А. Малахов. М.: Петроскиллс, 2003. 168 с.

Белкина, Дорошенко, 2017 – Белкина В.А., Дорошенко А.А. Оценка и прогноз эффективности методов увеличения нефтеотдачи: Учеб. пособие. Тюмень, ТюмГНГУ, 2017. 128 с.

Малышев, 2010 – Малышев А.Г. Особенности эксплуатации скважин после ГРП. М.: ВНИИОЭНГ, 2010. 156 с.

Меликбеков, 1967 – Меликбеков А.С. Теория и практика гидравлического разрыва пласта. М.: Недра, 1967. 141 с.

Некрасов и др., 2018 – Некрасов В.И., Глебов А.В., Ширгазин Р.Г., Вахрушев В.В. Гидравлический разрыв пласта: внедрение и результаты, проблемы и решения. Лангепас-Тюмень: ООО «Лукойл Западная Сибирь», 2018. 234 с.

Усачев, 1986 – Усачев П.М. Гидравлический разрыв пласта. М.: Недра, 1986. 165 с.

### References

Al'fred, Dzhennings, 2003 – Al'fred, R., Dzhennings, Zh. (2003). Primenenie gidravlicheskogo razryva plasta [Application of hydraulic fracturing]. Per. s angl. D. A. Malakhov. M.: Petroskills. 168 p. [in Russian]

Al'varado, Manrik, 2011 – Al'varado, V., Manrik, E. (2011). Metody uvelicheniya nefteotdachi plastov. Planirovanie i strategii primeneniya [Methods of enhanced oil recovery. Planning and application strategies]. M.: Premium Inzhiniring. [in Russian]

Belkina, Doroshenko, 2017 – Belkina, V.A., Doroshenko, A.A. (2017). Otsenka i prognoz effektivnosti metodov uvelicheniya nefteotdachi [Evaluation and forecast of the efficiency of enhanced oil recovery methods]: Ucheb. posobie. Tyumen', TyumGNGU. 128 p. [in Russian]

Malyshev, 2010 – Malyshev, A.G. (2010). Osobennosti ekspluatatsii skvazhin posle GRP [Features of wells operation after hydraulic fracturing]. M.: VNIIOENG. 156 p. [in Russian]

Melikbekov, 1967 – Melikbekov, A.S. (1967). Teorii praktika gidravlicheskogo razryva plasta [Theories of the practice of hydraulic fracturing]. M.: Nedra. 141 p. [in Russian]

Nekrasov i dr., 2018 – Nekrasov, V.I., Glebov, A.V., Shirgazin, R.G., Vakhrushev, V.V. (2018). Gidravlicheskiy razryv plasta: vnedrenie i rezul'taty, problemy i resheniya [Hydraulic fracturing: implementation and results, problems and solutions]. Langepas-Tyumen': OOO «Lukoil Zapadnaya Sibir'». 234 p. [in Russian]

Usachev, 1986 – Usachev, P.M. (1986). Gidravlicheskiy razryv plasta [Hydraulic fracturing]. M.: Nedra. 165 p. [in Russian]

## Технология проведения гидравлического разрыва пласта

Дмитрий Викторович Изымбаев <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Российская Федерация

**Аннотация.** Основным методом воздействия на призабойную зону пласта с целью увеличения производительности скважин является гидроразрыв пласта. Проведение гидроразрыва пласта преследует две главные цели: повышение продуктивности пласта путем увеличения эффективного радиуса дренирования скважины; создание высокопроницаемого канала притока, минуя поврежденную призабойную зону. Проектирование данной операции должно учитывать геологические особенности пласта в зоне каждой скважины, на которой планируется гидроразрыв пласта. Соответственно, по каждой скважине необходимо оптимизировать параметры трещины с физической и экономической точек зрения.

Большое значение для эффективности метода имеют свойства применяемых жидкостей, величина раскрытости трещины напрямую зависит от создаваемого давления. Но при большом давлении жидкость может проникать в поры, тем самым загрязняя породу и пласт. При наличии кернового материала необходимо в лабораторных условиях провести испытания по изучению характера загрязнения пласта.

Применение специализированного для условий гидроразрыва только данного пласта спецобработанные жидкости, закрепляющий материал, техника и технология обеспечивает больший как начальный, так и накопленный прирост добычи нефти.

**Ключевые слова:** гидравлический разрыв пласта, дебит нефти, жидкость разрыва, жидкие химикаты, разработка, манифольд, величина раскрытости, интенсификация, нефтеотдача.

\* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: [izimbaev09@mail.ru](mailto:izimbaev09@mail.ru) (Д.В. Изымбаев)