

# Жидкость ГРП с энзимным брейкером

## Сравнение традиционного и альтернативного деструктора

Антон Игнатъев, Сергей Мамбетов

В работе представлены результаты сравнительного анализа применения в составе жидкости гидроразрыва пласта энзимного брейкера и традиционных гелей. По результатам фильтрационных исследований определены остаточная проницаемость и проводимость проппантной пачки в термобарических условиях, приближенных к пластовым, а также коэффициент восстановления проницаемости керна пласта ЮШ<sub>6</sub> Ловинского месторождения (Западная Сибирь). Результаты проведенных лабораторных испытаний свидетельствуют о низкой эффективности применения жидкости ГРП с энзимным брейкером для условий указанного пласта, а также пластов с аналогичными термобарическими условиями и фильтрационно-емкостными свойствами.

Ключевые слова: ГРП, энзимный брейкер, деструкция геля, вязкость геля, остаточная проницаемость и проводимость проппанта, коэффициент восстановления проницаемости.

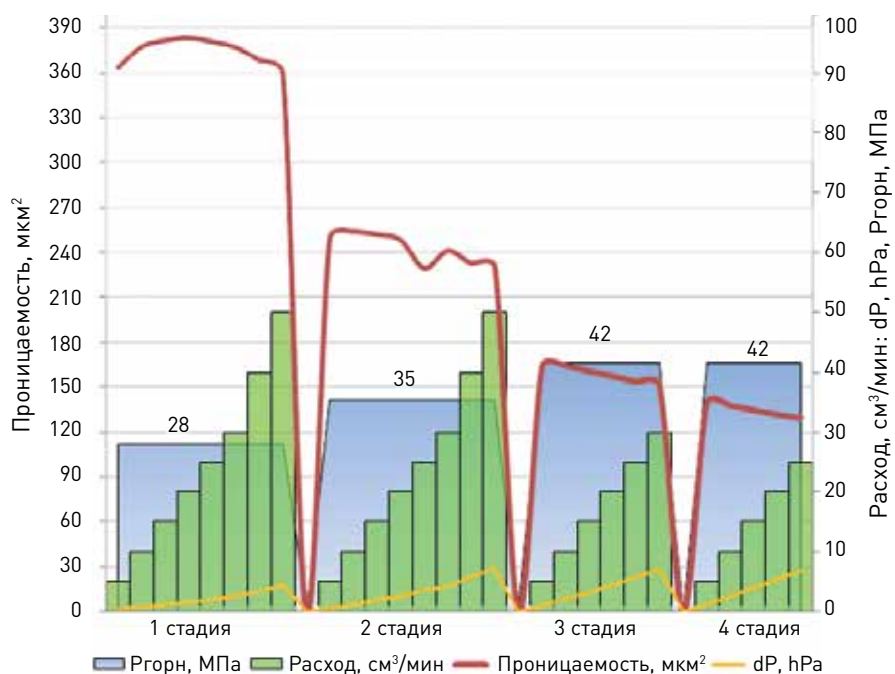
Для разработки залежей нефти с низкопроницаемыми коллекторами широко применяется гидроразрыв пласта (ГРП). Выход скважины на проектный уровень дебита зависит не только от успешности самой операции ГРП, но и от обеспечения долгосрочной приемлемой проницаемости системы трещин после разрыва.

Для сведения риска повреждения пласта к минимуму при ГРП проводится проектирование целевой проницаемости трещин ГРП на основе анализа всех имеющихся априорных данных, в том числе состава жидкости для ГРП с целью минимизации загрязнения межзернового пространства упакованной трещины с момента запуска скважины в работу после проведенного ГРП.

Появление «в перспективе применения» новых разработок в области гидравлического разрыва пласта, в том числе новых технологий, основанных на применении разного рода химических реагентов, всегда должно сопровождаться тестированием их «в свободном объеме» (химико-аналитические исследования) и в лаборатории фильтрационных исследований. Исследования «в свободном объеме» включают в себя определение реологических характеристик, устойчивости к сдвигу — способности

Рисунок 1

Результаты фильтрационных экспериментов (T=80°C, ForeProp 16/20, жидкость разрыва с энзимным брейкером)



восстанавливать структуру после снятия динамических нагрузок, периода стабильности геля, его песконесущей способности, демульгирующих свойств и так далее. Фильтрационные исследования проводятся на установках, позволяющих создать реальные пластовые условия (прежде всего температуру и давление). Полученные результаты своего рода уникальны,

поскольку проведение таких исследований требует наличия специализированного оборудования и высококвалифицированных специалистов. Достоверность результатов также обусловлена использованием в экспериментах образцов естественного керна.

### Лабораторные исследования

Результаты лабораторных исследований, наряду с промысловыми данными, являются важным дополнением при изучении пластовых гидродинамических процессов и принятии решений для повышения эффективности проводимых геолого-технологических мероприятий, а также предупреждения нецелевого использования финансовых средств.

В перспективе применения инновационных разработок и технологий в качестве альтернативы повсеместно применяемым окислительным и капсулированным брейкерам было предложено использовать энзимный брейкер, который представляет собой жидкий реагент и применяется при температурах пласта выше 50°C. Заявленными преимуществами указывалось на несколько порядков большее количество связей в молекуле гуара, которое возможно разрушить одной молекулой энзимного брейкера, — до 30 000 против максимум двух, при сравнении с повсеместно применяемыми окислительными деструкторами. С одной стороны, это позволяет применять маленькие концентрации активного вещества, а с другой, действие энзима может продолжаться в течение длительного времени, что способствует разрушению остаточного гуара и дополнительному повышению проницаемости.

С целью подтверждения/опровержения заявленных свойств и преимуществ энзимных брейкеров в лаборатории моделирования методов повышения нефтеотдачи пластов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени были проведены исследования жидкости разрыва, в состав которой входил энзимный брейкер.

По внешнему виду реагент является прозрачной жидкостью с легким запахом дрожжей. По паспорту безопасности — это очень токсичное вещество, состоящее из гемицеллюлозы 30–60% масс. и энзима 0,1–1,0% масс. (табл. 1) [6].

По результатам исследований «в свободном объеме» преимущества энзимного брейкера перед капсулированным обнаружено не было [6].

Фильтрационные эксперименты по определению остаточной проницаемости и проводимости проппантной пачки, коэффициента восстановления проницаемости кернового материала при взаимодействии с жидкостью разрыва с применением энзимных брейкеров проводились в термобарических условиях, приближенных к пластовым условиям. В качестве тестируемого проппанта был взят ForeProp фракции 16/20, для создания керновых моделей пласта использовался керн пласта ЮШ<sub>6</sub> Ловинского месторождения.

**Антон Игнатьев** — начальник управления инженерного сопровождения опытно-промысловых работ методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени.

**Сергей Мамбетов** — ведущий инженер управления инженерного сопровождения опытно-промысловых работ методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти, филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени.

### FRACTURING FLUIDS WITH ENZYME BREAKER

#### Assessing the effectiveness of their use

The work presents a comparative analysis of the use of an enzyme breaker and of traditional gels in fracturing fluid. The results of penetration tests were used to determine residual permeability and proppant pack conductivity in pressure and temperature conditions approaching those found in reservoirs, as well as a core permeability recovery factor for YUSH<sub>6</sub> reservoir of the Lovinskoye field in West Siberia. The results of laboratory tests prove the low effectiveness of the use of fracturing fluids with an enzyme breaker for the conditions of this reservoir, and for reservoirs with similar P&T conditions and reservoir parameters.

Keywords: hydraulic fracturing, enzyme breaker, gel breakdown, gel viscosity, residual permeability and proppant conductivity, permeability recovery factor.

**Anton Ignatyev, Sergei Mambetov**

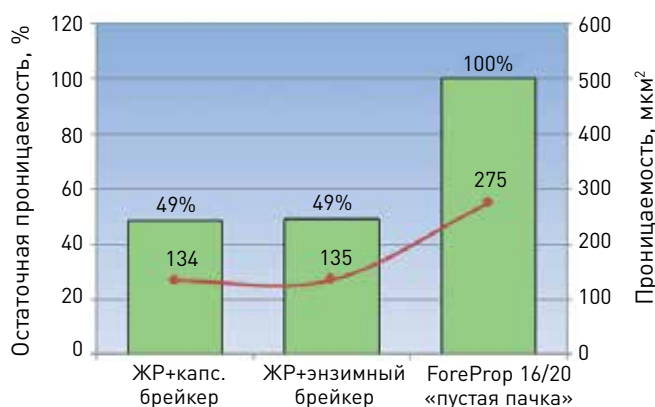
Исследования выполнялись в соответствии с «Международным стандартом ISO 13503 Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта, часть 5. Методики измерения долгосрочной удельной проводимости расклинивающих наполнителей и часть 6. Метод измерения поглощения пластом жидкости гидроразрыва в динамических условиях». Работа на фильтрационных установках осуществлялась в соответствии с руководствами пользователя и методическими указаниями проведения на них экспериментов.

Для выполнения анализа и сравнения остаточной проницаемости проппантной пачки после взаимодействия с исследуемыми жидкостями разрыва за 100% результат по проницаемости приняли

**Таблица 1**  
**Характеристика реагента**

Показатель	Данные по паспорту безопасности	Фактические данные
Запах и внешний вид	Прозрачное вещество янтарного цвета с легким ароматом дрожжей	Прозрачное вещество светлого цвета
Удельная плотность при 25°C, г/см <sup>3</sup>	1,00–1,05	1,03
pH, ед.	4,6–6,5	6,3

**Рисунок 2**  
**Сравнение остаточной проницаемости проппанта ForeProp 16/20**



275  $\mu\text{м}^2$ . Это значение было получено на основании фильтрационных экспериментов по «пустой пачке» ForeProp фракции 16/20 при фильтрации раствора дистиллированная вода + 2% KCl.

### Остаточная проницаемость

Исследования по определению остаточной проницаемости проппантной пачки ForeProp 16/20 после взаимодействия с жидкостью разрыва с применением энзимного брейкера проводились следующим образом. Образцы проппанта были помещены между пластинами песчаника, чтобы учесть влияние внедрения гранул проппанта в породу. Испытания проходили в прессе-термостате, который имитировал давление и температуру в пласте. Продолжительность тестов изменялась в пределах от 50 до 250 часов. В течение этого времени к образцу прилагались нагрузки в 13,8–69,0 МПа (2000–10 000 psi) [7].

В ходе проведения экспериментов была протестирована рецептура жидкости разрыва с энзимным брейкером при  $T = 80^\circ\text{C}$ . Проницаемость проппантной пачки с гелем была определена при осевых нагрузках 28, 35 и 42 МПа (4000, 5000 и 6000 psi) с выдержкой в 50 часов на каждой стадии согласно методике. В качестве рабочего агента использовали раствор дистиллированной воды + 2% KCl.

На рисунке 1 графически отображены основные процессы и параметры, которые протекали и были

**Таблица 2**  
**Остаточная проводимость ForeProp 16/20**

Жидкость разрыва (ЖР)	Остаточная проводимость, $\mu\text{м}^2\cdot\text{м}$	Остаточная проводимость, %
ЖР + капсулированный брейкер	50,5	48
ЖР + энзимный брейкер	50,6	48
«пустая пачка» ForeProp 16/20	105,01	100

определены при проведении экспериментов на проппантной пачке ForeProp 16/20 при  $T = 80^\circ\text{C}$ . Всего было проведено два эксперимента. На рисунке показаны усредненные значения по двум экспериментам.

Среднее значение остаточной проницаемости (на четвертом этапе) составило 135  $\mu\text{м}^2$ . В процентном соотношении это значение составляет 49% от остаточной проницаемости «пустой пачки» ForeProp 16/20.

Для сравнения на рисунке 2 приведены значения остаточной проницаемости «пустой пачки» ForeProp 16/20, а также проппанта той же марки и фракции, обработанного аналогичной жидкостью разрыва с капсулированным брейкером. Данные эксперименты проводились при аналогичных термобарических условиях, методика проведения исследований была идентичной [7].

На рисунке видно, что остаточная проницаемость проппанта ForeProp 16/20 после взаимодействия с жидкостью разрыва, содержащей энзимный брейкер, мало отличается от остаточной проницаемости того же проппанта, обработанного аналогичной жидкостью разрыва с капсулированным деструктором.

По результатам двух проведенных экспериментов при  $T = 80^\circ\text{C}$  была рассчитана средняя проводимость проппантной пачки на заключительном (четвертом) этапе.

Значения остаточной проводимости проппантной пачки ForeProp 16/20 по двум экспериментам при  $T = 80^\circ\text{C}$  составили 54,2  $\mu\text{м}^2\cdot\text{м}$  и 46,98  $\mu\text{м}^2\cdot\text{м}$ . Среднее – 50,6  $\mu\text{м}^2\cdot\text{м}$ . В таблице 2 приведены значения остаточной проводимости «пустой пачки» ForeProp (фракция 16/20), а также проппанта, обработанного аналогичной жидкостью разрыва с капсулированным брейкером [7].

### Восстановление проницаемости керна

Эксперименты по определению коэффициента восстановления проницаемости породы проводились на керне пласта ЮШ<sub>6</sub> Ловинского месторождения. Температура проведения экспериментов соответствовала пластовой температуре и составляла  $T = 80^\circ\text{C}$ . На рисунках 3 и 4 графически отображены начальная проницаемость модели пласта, конечная проницаемость и коэффициент восстановления проницаемости по первому и второму экспериментам. В качестве фильтруемого агента использовали керосин, фильтрацию проводили по керосинонасыщенной модели пласта с остаточной водонасыщенностью.

Коэффициент восстановления проницаемости породы по обоим экспериментам составил 13%. Полученные результаты говорят о низкой способности открытого порового пространства породы к очищению ввиду неудовлетворительной деструкции геля.

### Выводы

Полученные результаты экспериментов свидетельствуют о неполноценном процессе деструкции геля. Фильтрационная (кольматационная) корка недостаточно качественно подвергается разрушению, тем самым

препятствуя продвижению пластового флюида непосредственно из продуктивного пласта к образованной трещине. Продвижению пластовых флюидов в межзерновом пространстве упакованной трещины будут препятствовать остатки деструктурированного геля.

Одним из преимуществ использования энзимных брейкеров анонсировалась возможность применения его в малых концентрациях. Однако столь малой концентрации энзимов в составе предлагаемого брейкера (порядка 1%) было явно недостаточно.

Результаты фильтрационных исследований показали:

- низкую способность деструкции геля, в составе которого применялся энзимный брейкер;
- средние значения остаточной проницаемости и проводимости пропантной пачки ForeProp 16/20;
- недостаточные показатели коэффициента восстановления проницаемости керна.

Для условий пласта ЮШ<sub>6</sub> Ловинского месторождения, а также пластов с аналогичными термобарическими условиями и фильтрационно-емкостными свойствами применение энзимного брейкера в составе жидкости разрыва малоэффективно. 📍

### Литература

1. Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта. – М.: Недра, 1971. – 312 с.
2. ГОСТ 26450.0-85 – ГОСТ 26450.2-85. «Породы горные. Методы определения коллекторских свойств».
3. ОСТ 39-195-86. «Нефть. Метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в лабораторных условиях».
4. ОСТ 39-235-89. «Нефть. Метод определения фазовых проницаемостей в лабораторных условиях при совместной стационарной фильтрации».
5. СТО ООО «КогалымНИПИнефть» 05.019-2010. «Породы горные. Определение остаточной и текущей водонасыщенности методом центрифугирования с использованием ультрацентрифуги ACES200TM».
6. Акт № 17-15Г испытания жидкостей гидроразрыва, ООО «КогалымНИПИнефть», г. Когалым.

Рисунок 3

Результаты 1-го эксперимента по определению коэффициента восстановления проницаемости керна, (ЮШ<sub>6</sub> Ловинского месторождения, T=80°C)

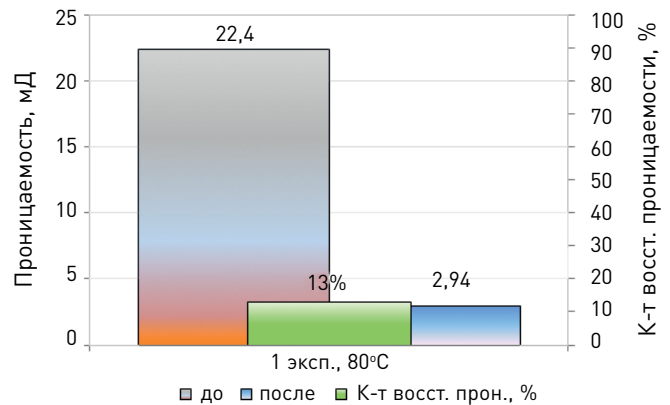
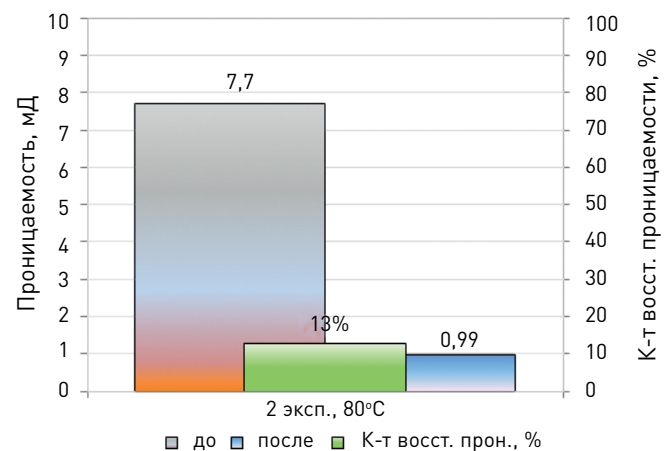


Рисунок 4

Результаты 2-го эксперимента по определению коэффициента восстановления проницаемости керна



7. Заключение № 142 фильтрационных испытаний жидкости разрыва с применением энзимных брейкеров, ООО «КогалымНИПИнефть», г. Когалым.