



Выбор агента расклинивания при ГРП

**Тринадцатая Региональная
научно - техническая
конференция
молодых специалистов**

ОАО «Удмуртнефть» и

дочерних обществ

автор проекта Курамшин Максим
Дмитриевич
ИНиГ им. М.С.Гуцериева,
нефтегазовое дело, 3 курс

г.Ижевск, 17.03.2017

Содержание



- **Введение в ГРП**
- **Расклинивающий агент. Назначение проппанта**
- **Виды расклинивающих агентов**
- **Свойства проппанта**
- **Движение проппанта**
- **Требования, предъявляемые к жидкости гидроразрыва**



Сущность гидравлического разрыва пласта (ГРП) в том, что посредством закачки жидкости при высоком давлении происходит раскрытие естественных или образование искусственных трещин в продуктивном пласте и при дальнейшей закачке песчано-жидкостной смеси или кислотного раствора расклинивание образованных трещин с сохранением их высокой пропускной способности после окончания процесса и снятия избыточного давления.

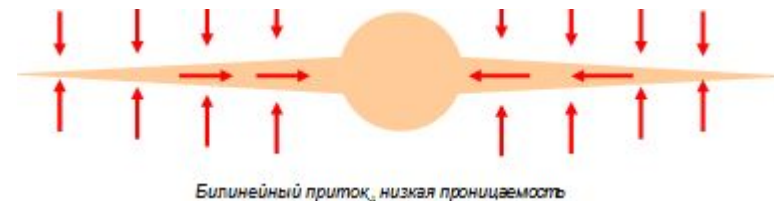
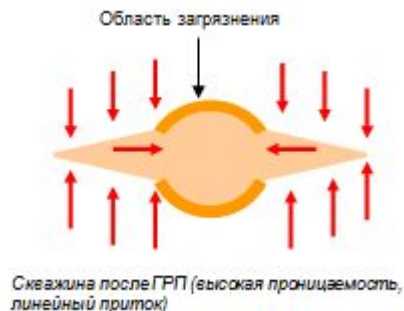
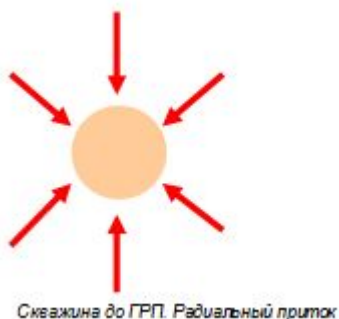
В настоящее время ГРП широко применяется во всем мире как в низкопроницаемых, так и в высокопроницаемых пластах-коллекторах.

Цели ГРП для пластов с низкой проницаемостью следующие :

- увеличить добычу или приемистость созданием каналов с высокой продуктивностью,
- улучшить сообщаемость флюидов между скважиной и пластом

Цели ГРП для пластов с высокой проницаемостью следующие :

- изменение радиального характера притока жидкости из пласта к забою скважины на линейный или билинейный
- В случае радиального движения жидкости к забою скважины происходит дестабилизация пласта. Объясняется это явление тем, что скорости фильтрации вблизи забоев скважин выше, чем в пласте. Соответственно, возникает значительный перепад давлений между различными участками пласта, скорость движения флюида вблизи забоя скважины сильно возрастает и существует проблема разрушения породы пласта и засорение мехпримесями призабойной зоны скважины.
- решение проблемы снижения проницаемости призабойной зоны скважины, возникшей в результате воздействия физических или химических факторов (солеотложения, засорение пор призабойной зоны пласта мех.примесями из раствора глушения, проникновение бурового раствора в пласт, образование АСПО и т.д.).
 - улучшение сообщаемости скважины с призабойной зоной, минимизация напряжений в пласте,
 - снижение скоростей, минимизация миграции тонкодисперсных фракций





При производстве ГРП должны быть решены следующие задачи :

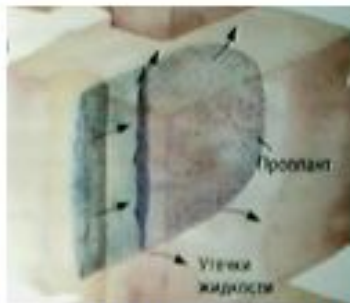
- Создание трещины гидроразрыва путем закачки специально подобранной жидкости ГРП.
- Удержание трещины в раскрытом состоянии путем добавления в жидкость гидроразрыва пропанта с зернами определенного размера и определенной прочности.
- Удаление жидкости гидроразрыва для восстановления высоких фильтрационных характеристик призабойной зоны скважины.
- Повышение продуктивности пласта.

Для увеличения производительности скважин применяется метод создания в высокопроницаемых пропластках коротких и широких трещин проникающих за пределы зоны загрязнения, который называется **технологией концевое экранирования (TSO)**.

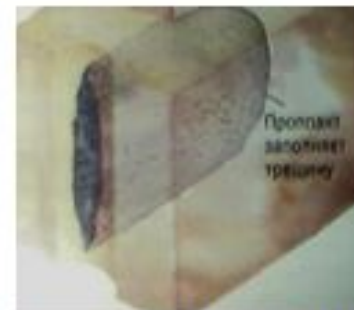
Технология концевое экранирования является модификацией операции гидроразрыва , при которой создаются короткие трещины (несколько десятков метров) шириной до 30 мм. Это достигается путем контролируемого распространения трещины до запланированной длины и последующего ее закрепления пропантом, закачиваемым с рабочей жидкостью. Благодаря фильтрационным утечкам рабочей жидкости через поверхности трещины, концентрация пропанта возрастает на фронте закачки, что приводит к образованию пропантных пробок вблизи конца трещины, которые препятствуют ее дальнейшему распространению. Закачка пропанта , продолжаемая после остановки трещины , позволяет повысить давление внутри трещины, увеличивая тем самым ее раскрытие. При такой технологии ГРП уменьшаются затраты на проведение работ за счет уменьшения объемов зака



Трещина растет до запланированной длины, т.к. пропант образует перемычку вблизи конца трещины, препятствуя ее дальнейшему распространению.



Дополнительная смесь нагнетается в трещину, повышая ее внутреннее эффективное давление, что ведет к ее расширению.



Дальнейшее обезвоживание смеси образует однородную укладку, которая заполняет трещину от ее конца к стволу скважины.



Эффект образования перемычек и повышенной упаковки проппанта в конце трещины считался одним из серьезных осложнений при проведении ГРП, сопровождающимся преждевременным выпадением проппанта и остановкой распространения трещин, но закачка могла быть продолжена и после этого еще некоторое время. Инженерное решение состояло в использовании данного эффекта для решения задач управления распространением трещин и оптимизации их раскрытия. Процесс образования перемычек и повышенной упаковки проппанта в конце трещины можно успешно использовать для создания коротких и широких трещин в высокопроницаемых пластах-коллекторах.

Увеличение раскрытия закрепленной трещины ведет к увеличению ее проводимости. Значение безразмерного параметра гидравлической проводимости C позволяет оценить продуктивность скважины после ГРП методом подстановки в формулу Дюпюи эффективного радиуса скважины вместо фактического. Эффективный радиус скважины пропорционален длине трещины, умноженной на функцию гидравлической проводимости трещины C .

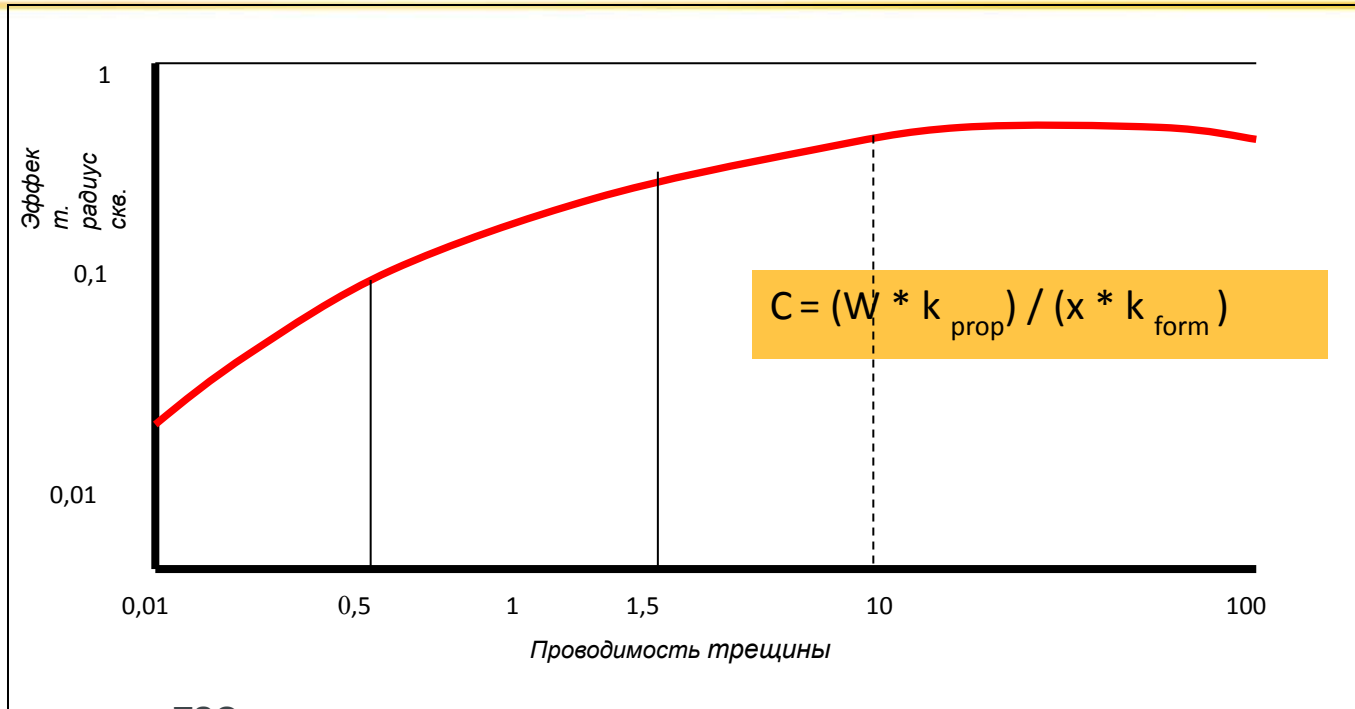
$$C = (W * k_{prop}) / (x * k_{form}) , \text{ где}$$

W – раскрытие трещины ,

k_{prop} – проницаемость пропантной набивки ,

x – полудлина трещины ,

k_{form} – проницаемость пласта .



Особенности технологии **TSO**:

- предотвращает нежелательное распространение трещины после прекращения закачки. При использовании традиционных технологий ГРП после закрытия скважины большой объем буферной жидкости обычно остается перед рабочей жидкостью ГРП с проппантом, и поэтому трещина может продолжать распространяться, что может уменьшить проводимость трещины.
- возможность предотвращения выноса проппанта за счет достижения более равномерного распределения напряжений по упаковке проппанта. Трещины, созданные с использованием традиционных методов, смыкаются дольше, позволяя некоторому количеству проппанта осесть, что создает более высокие концентрации проппанта в нижней части трещины. В результате увеличивается вероятность локального каналообразования или формирования «карманов» в проппантной упаковке с низким сжимающим трещину напряжением, что облегчает вынос проппанта при добыче. Технология TSO, в которой фильтрационные утечки рабочей жидкости подавляются в меньшей мере для создания высоких концентраций проппанта на фронте закачки, обеспечивает более быстрое смыкание трещин и позволяет тем самым минимизировать вынос проппанта.



Расклинивающий агент. Назначение проппанта.

Проппant предназначен для предотвращения смыкания трещины после окончания закачивания. Проппant добавляется к жидкости глушения и закачивается вместе с ней.

Возможности трещины транспортировать жидкость к стволу скважины, обусловлены пропускной способностью трещины. Обычно она определяется произведением проницаемости трещины и ширины трещины:

$$S=K*W$$

где **K**- проницаемость (миллидарси);

W - ширина трещины (мм)

Проницаемость трещины зависит от следующих взаимосвязанных факторов:

- типа, размера и однородности проппанта;
- степени его разрушения или деформации;
- количества и способа перемещения проппанта.

На частицы проппанта действует напряжение закрытия трещины. В результате этого некоторые из частиц могут быть раздавлены или же, в мягком пласте вдавливаются в породу. На степень раздавливания или вдавливания влияют:

- прочность и размер проппанта;
- твердость пласта;
- напряжение закрытия, прилагаемое к слою проппанта



- Если частицы раздавливаются или вдавливаются в породу, пропускная способность трещины будет уменьшаться и может снизиться настолько, что проводимость слоя проппанта и проницаемость породы коллектора не будут слишком различаться. В этом случае результаты гидроразрыва пласта будут неудовлетворительными по причине потери проводимости трещины. К такому же результату может привести процесс образования полимерной корки на поверхности трещины и наличие определенного количества полимера, остающегося в проппантной упаковке. В процессе эксплуатации скважин после ГРП возможен интенсивный вынос проппанта с продукцией скважин. Это происходит если раскрытие закрепленной трещины превышает диаметр частиц проппанта в 5,5 раз, когда упаковка проппанта становится неустойчивой. Для предотвращения выноса проппанта применяются такие методы как создание коротких трещин (до 50 м) и добавление стекловолокон PropNET в проппантную упаковку. Стекловолоконные волокна, добавляемые в последние порции жидкости ГРП в количестве 1,5% по весу, создают внутреннюю структуру, удерживающую частицы проппанта на месте. При этом сохраняется высокая проводимость трещин. На месторождениях Западной Сибири технология PropNET используется в 90%

операций по ГРП. **(ЭТО НЕ ДЛЯ
ПРЕЗЕНТАЦИИ, ОТДЕЛЬНО
РАССКАЖУ).**

Виды расклинивающих агентов



Одним из первых расклинивающих агентов был просеянный речной песок. Он содержал какое-то количество слишком больших частиц, которые не проходили в трещину. Это служило причиной образования мостов в скважине, подземных инструментах и в самой трещине. Из-за образования мостов происходит «стоп», в результате чего создается трещина меньшего размера, приходится заканчивать операцию по разрыву и нести дополнительные затраты на очистку ствола скважины от проппанта.

Применяемый в настоящее время песок и другие виды расклинивающих агентов имеют менее угловатую поверхность и более точно классифицируются по размеру:

Размер сит	Предельные размеры частит (мм)
100	0,150
40-60	0,419-0,250
20-40	0,841-0,419
12-20	1,679-0,841
8-12	2,380-1,679



Применяемые в настоящее время проппанты по прочности можно разделить на следующие группы :

- кварцевые пески (плотность до $2,65 \text{ г/см}^3$),
- синтетические проппанты средней прочности (плотность $2,7-3,3 \text{ г/см}^3$),
- синтетические проппанты высокой прочности (плотность $3,2-3,8 \text{ г/см}^3$).

Высокая прочность проппанта обеспечивает сохранение трещины открытой длительное время. По глубине скважин проппанты имеют следующие области применения: кварцевые пески - до 2500 м; проппанты средней прочности - до 3500 м; проппанты высокой прочности - свыше 3500 м. С увеличением размера гранул увеличивается проницаемость упаковки проппанта, но снижается прочность и возникают проблемы с переносом проппанта вдоль трещины.

С увеличением прочности проппанта увеличивается его стоимость и стоимость ГРП.

Отсортированный силикатный песок SiO_2 на сегодняшний день является преобладающим проппантом, который применяется при гидроразрыве и является наиболее экономичным. Однако его эффективность может быть ограничена из-за низкой сопротивляемости раздавливанию. В глубоко залегающих пластах с высоким давлением обычно используется более прочный проппант. В конце 1970-х начали использоваться частицы металлокерамического боксита, которые поддерживали высокую проницаемость при очень высоком напряжении закрытия. Металлокерамический боксит как проппант состоит из высококачественной обожженной бокситной руды и имеет высокую стоимость. Более дешевыми и менее прочными являются проппанты изготовленные на основе аллюминевой керамики Interprop TM и Carborprop TM. Для достижения низкой плотности обожженная глина перемешивается с обожженным бокситом перед процессом обработки.

Для контроля над обратным потоком при производстве ГРП применяется пропант со смоляным покрытием. В качестве смолы применялись термоактивные феноловые пластмассы, которые оседали в скважине. Также было обнаружено, что эти пластиковые покрытия улучшают прочность и проницаемость песка при более высоком напряжении закрытия. Пример фенолформальдегидной смолы – бакелит. В 1982г. получило распространение покрытие из предварительно отвержденной смолы. Данное покрытие обеспечивало более простое применение и контроль лучшего качества , чем смола , способная к затвердеванию.

Преимущества пропанта с покрытием из предварительно отвержденной смолы :

- не образует уплотнений
- возможно применить в жидкостях на нефтяной и спиртовой основе,
- низкая растворимость в кислоте,

Недостатки:

- процент раздавливания немного выше, чем у пропанта с покрытием из затвердевающих смол,
- покрытие удаляется горячей жидкостью или каустической содой.



Условия и ограничения применения проппанта с покрытием смолы, способной к затвердеванию:

- необходимое напряжение закрытия от 1000 до 2000 psi (для обеспечения сцепления между зернами проппанта и предотвращения выноса проппанта),
- минимальная температура отверждения 120-140 F в течении 200 часов (возможно использование катализатора),
- содержание алкоголя в жидкостях не выше 90%,
- жидкости на нефтяной основе удваивают время отверждения,
- покрытие легко стирается с проппанта,
- хранить при температуре не выше 100F и невысокой влажности во избежание затвердевания покрытия.

Свойства проппанта

Округлость и сферичность. Влияют на расположение зерен проппанта и выдерживаемую ими нагрузку. Округлость – это показатель кривизны поверхности песчинок. Сферичность – это показатель того, насколько близка форма песчинок к шару. Рекомендуемые показатели округлости и сферичности 0,6.

Плотность. Это показатель абсолютной плотности проппанта по отношению к воде. Плотность проппанта определяет перенос и расположение проппанта вдоль трещины. Проппанты высокой плотности труднее поддерживать во взвешенном состоянии в жидкости разрыва при их транспортировании вдоль трещины. Заполнение трещины проппантом высокой плотности может быть достигнуто двумя путями - использованием высоковязких жидкостей, которые транспортируют проппант по длине трещины с минимальным его осаждением, либо применением маловязких жидкостей при повышенном темпе их закачки. Рекомендуемая предельная плотность 2,65

Объемная плотность. О.п. – это отношение массы материала к объему, который он занимает (фунт/фут³ или грамм/см³). Рекомендованная максимальная о.п. 105 фунт/фут³ (1700 кг/ м³).

Растворимость в кислоте(12% HCl – 3%HF). Показатель количества имеющихся примесей и относительной стойкости проппанта к кислоте. Измеряется массовой концентрацией в процентах. Рекомендуемый максимум для песка 2% , для проппанта со смоляным покрытием 7%.

Примеси мелкозернистых частиц. Этот показатель определяет количество примесей частиц глины, ила или другого мелкозернистого материала в проппанте. Содержание мелких частиц в проппанте может существенно понизить проницаемость трещины разрыва. Хорошо промытый и обработанный проппант не содержит большого количества мелкозернистых примесей. Единица измерения FTU. Рекомендуемый показатель 250 FTU (formation turbidity units).



Сопротивляемость раздавливанию. Обозначает относительную прочность пропанта путем измерения количества материала, которое раздавливается под воздействием определенной нагрузки. Выражается в процентном содержании образованных мелких частиц. Рекомендуемые АНИ максимальные пределы :

- для 12/60 – 16% при давлении 3000 psi (204 Атм)
- для 20/40 – 14% при давлении 4000 psi (272 Атм)
- для 12/20 со смоляным покрытием – 25% при давлении 7500 psi (510 Атм)
- для 16/20 со смоляным покрытием – 25% при давлении 10000 psi (680 Атм)

Сцепляемость. Измеряется массовой концентрацией в процентах. Обозначает силу прикрепления отдельных зерен пропанта друг к другу.

Движение пропанта

Эффективность любого гидроразрыва в большой степени зависит от проводимости созданной расклиненной трещины. Проводимость в свою очередь зависит от размера и прочности пропанта и распределения пропанта в трещине. Необходимо отметить, что пропант не всегда движется с жидкостью гидроразрыва из-за фильтрация жидкости в породу, поэтому не происходит раскрытия трещины на 100% ее площади. Поверхности трещин не разделенные пропантом закроются обратно под действием существующего напряжения, то есть эти трещины сомкнутся. Таким образом, только расклиненные пропантом трещины будут доступны потоку жидкости и будут обеспечивать высокую эффективность ГРП.

При движении частиц пропанта при гидроразрыве существует несколько ступеней:

- движение через устьевое оборудование;
- движение вниз через колонну НКТ;
- движение с изменением направления через перфорационные отверстия;
- транспортировка в трещине и дополнительное оседание , которое может произойти во время закрытия трещины





Для того, чтобы определить процесс движения проппанта по трещине необходимо иметь представление о форме трещины.

Трещина может иметь две основные формы:

- **горизонтальная трещина.** Это разрыв, распространяющийся по всем направлениям от ствола скважины в плоскости, перпендикулярной стволу скважины,
- **вертикальная трещина.** Это разрыв, распространяющийся в двух направлениях от ствола скважины. Вертикальные трещины могут быть представлены в виде эллипса.

Для упрощения расчетов форму трещины принимают в виде прямоугольника и допускают, что жидкость имеет проход по всей высоте трещины и что проппант входит в трещину всегда одинаково по ширине трещины. Движение частиц проппанта зависит от следующих параметров:

- размер проппанта;
- плотность проппанта;
- скорость жидкости;
- вязкость жидкости;
- утечки жидкости;
- плотность жидкости;
- форма проппанта
- концентрация проппанта.

Горизонтальная скорость частиц и скорость оседания (вертикальная скорость) будут определять распределение частиц в трещине. Частица проппанта входит в трещину вместе с движущимся вперед потоком жидкости и продолжала бы свое горизонтальное движение с постоянной скоростью, если бы не контактировала со стенками породы. Если бы жидкость имела низкую вязкость (например, газ) или разница между плотностью жидкости и частиц была бы очень большой, происходило бы буксование и частица двигалась бы медленнее жидкости. Одновременно частица будет двигаться вертикально вниз под действием силы тяжести. Когда сила захватывания будет уравновешена силами гравитации произойдет оседание частицы. Скорость оседания частиц проппанта в ньютоновской жидкости зависит от диаметра частицы, вязкости жидкости, разницы между плотностью частицы и жидкости..



- Горизонтальная скорость жидкости зависит от ширины трещины и расхода жидкости при закачивании. По мере продолжения операции по разрыву закачивается больше жидкости и трещина растет в длину и ширину. Если поддерживается постоянный темп закачки, скорость в любом месте по длине трещины со временем медленно понижается, т.к. увеличивается ширина трещины. К тому же в процессе закачки происходят потери флюида, что приводит к увеличению концентрации проппанта, уменьшению скорости движения жидкости и влияет на «скрытое оседание» проппанта.
- Таким образом, расстояние вдоль трещины, которое проходит частица проппанта прежде чем достигнуть основания трещины зависит от значения скорости жидкости, скорости оседания и высоты трещины. Скорость жидкости зависит от расхода при закачивании, ширины и высоты трещины в данный момент. Вертикальная скорость оседания будет зависеть от вязкости жидкости, диаметра и формы частицы и различия в плотности частицы и жидкости

**ЭТО НЕ ДЛЯ
ПРЕЗЕНТАЦИИ,
ОТДЕЛЬНО**



Требования, предъявляемые к жидкости ГРП



Выбор пропанта и его действие





Контактная информация

117997, г. Москва, Софийская
наб., 26/1

Телефон: +7 (495) 777-44-22

Факс: +7 (495) 777-44-44

E-mail: postman@rosneft.ru

