



УДК 622.276.66

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА НА СКВАЖИНАХ САМОТЛОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



TECHNOLOGY AND TECHNOLOGY OF CARRYING OUT A HYDRAULIC FRACTURING ON WELLS OF THE SAMOTLORSKOYE FIELD

Антонов Евгений Николаевич

ведущий инженер по бурению
управления супервайзинга бурения,
АО «Самотлорнефтегаз»
evgeniy_kz@mail.ru

Шиян Станислав Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры
оборудования нефтяных и газовых промыслов,
Кубанский государственный
технологический университет
akngs@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено проведение гидравлического разрыва пласта на скважине № 51114 куста 2494 Самотлорского месторождения. Сделан выбор и обоснование капитального ремонта скважины, описана подготовка скважины к гидравлическому разрыву пласта. Представлены оборудование и агрегаты для гидроразрыва пласта. Выполнен расчёт параметров гидравлического разрыва пласта. Описано влияние особенностей проведения ГРП на эффективность и влияние ГРП на окружающие скважины.

Ключевые слова: подготовка скважин к гидравлическому разрыву пласта; подбор скважины-кандидата; подготовка скважины к проведению ГРП; выбор жидкости разрыва, качества песка, продавочной жидкости и жидкости-песконосителя; оборудование и агрегаты для гидроразрыва пласта; влияние особенностей проведения ГРП на эффективность; влияние ГРП на окружающие скважины.

Antonov Evgeny Nikolaevich

Lead drilling engineer
of the supervising drilling department,
JSC «Samotlorneftegaz»
evgeniy_kz@mail.ru

Shiyan Stanislav Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of oil
and gas field equipment,
Kuban state technological university
akngs@mail.ru

Annotation. The article describes the conduct of hydraulic fracturing on well № 51114 of a cluster 2494 of the Samotlorskoye field. The choice and justification of the overhaul of the well are made, the preparation of the well for hydraulic fracturing is described. Equipment and units for hydraulic fracturing are presented. The calculation of the parameters of hydraulic fracturing. The influence of the features of hydraulic fracturing on the effectiveness and the effect of hydraulic fracturing on surrounding wells is described.

Keywords: preparation of wells for hydraulic fracturing; selection of a candidate well; well preparation for hydraulic fracturing; selection of fracturing fluid, quality of sand, squeezing fluid and sand carrier fluid; equipment and units for hydraulic fracturing; effect of the features of hydraulic fracturing on efficiency; effect of hydraulic fracturing on surrounding wells.

Введение

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) как метод воздействия на призабойную зону стал применяться за рубежом с 1949 года. Успешность метода составляет около 90 %. За счёт применения метода 25–30 % запасов нефти переведено из забалансового в балансовые.

Принципиальным различием в подходе к выбору скважин для ГРП за рубежом и в России является то, что в отечественной практике метод применяется в отдельных скважинах, работающих с заниженными дебитами, по сравнению с прилегающими скважинами данного месторождения, или на скважинах, значительно снизивших свои добывающие показатели. В связи с высокой стоимостью метод ГРП используется в крайнем случае, когда применение других методов не обеспечивает нужного эффекта. За рубежом ГРП рассматривается, главным образом, как метод, составляющий часть общей системы разработки объекта, сложенного низкопроницаемыми коллекторами.

Главной проблемой в таком применении ГРП для отечественной практики является отсутствие опыта управления методом в общей системе разработки объекта, что в свою очередь сдерживается недостаточными для начального периода лабораторными и промысловыми исследованиями, контролем результатов ГРП.

Основные требования и особенности метода:

- практически в любой технически исправной скважине, дренирующей неистощённый пласт, может быть проведён ГРП с определённым технологическим эффектом;



- в пластах с относительно высокой проницаемостью ГРП увеличивает текущий дебит, мало влияя на конечную нефтеотдачу. В низкопроницаемых пластах ГРП может существенно влиять на конечную нефтеотдачу;
- трещина распространяется перпендикулярно плоскости наименьшего напряжения в пласте;
- для областей, тектонически ослабленных, гидроразрыв происходит при давлениях меньше горного, ориентация трещины вертикальная;
- показателем горизонтальной трещины является давление разрыва, равное или превышающее горное. Горизонтальные трещины получаются в областях активного тектонического сжатия, где наименьшее напряжение вертикально и равно горному;
- для проектирования ГРП очень важным выводом из механизма образования трещины является то, что в одинаково напряжённых районах пласта трещины будут параллельными друг другу. Эта характеристика может быть ключом к проектированию расстановки скважин для проведения ГРП;
- значительное влияние на успешность ГРП оказывает правильный подбор жидкости разрыва и расклинивающего агента.

К жидкости разрыва предъявляются сложные требования:

- минимальная фильтрация в пласт;
- пониженная вязкость в период закачивания;
- возможность быстрого удаления жидкости разрыва после смыкания трещины.

Увеличение эффективности ГРП в эксплуатационных скважинах различна (7–28 месяцев) и зависит от геологической характеристики пласта, а также особенностей его залегания в продуктивном горизонте. Исследования показали, что продолжительность эффекта не зависит от количества закачиваемого песка в пласт.

За последние годы проведено значительное количество ГРП на Самотлорском месторождении. Состояние изученности результатов применения метода таково, что на сегодняшний день можно говорить только о качественных характеристиках и зависимостях эффекта от геолого-промысловых факторов. Получение количественных зависимостей затруднено отсутствием исследований о направлении и размерах трещин, непоследовательностью либо недостаточным объёмом промысловых исследований.

Среди общих выводов о применении метода гидравлического разрыва пласта на Самотлорском месторождении можно отметить следующее:

- наибольшая успешность метода отмечается в сильно прерывистых коллекторах большой мощности в чисто нефтяных зонах;
- наличие ВНЗ существенно снижает применение метода;
- в монолитных коллекторах вблизи зоны нагнетания обычно происходит резкий рост обводнённости скважин после ГРП;
- в большей части высокообводнённых скважин, в прерывистых коллекторах после обработки наблюдается снижение обводнённости;
- по многим скважинам, имеющим высокие дебиты до обработок, получен отрицательный эффект.

История эксплуатации скважины № 51114 куста 2494 Самотлорского месторождения:

- скважина введена в эксплуатацию: 16.09.2001 г.;
- пластовое давление: 185 атм. от 27.10.2005 г.;
- ожидаемый дебит скважины по нефти 11 тонн/сут.;
- газовый фактор: 75 м³/м³;
- краткое описание последних трёх ремонтов:
 - 25.09.2004 г. – смена ЭЦН-35х250;
 - 20.03.2005 г. – подъём ЭЦН-250, спуск воронки, т.з. н/о;
 - 26.09.2005 г. – допуск воронки;
- режим до остановки:
 - дебит жидкости $q_{ж} = 8$ м³/сут.;
 - дебит нефти $q_{н} = 2$ тонн/сут.;
 - обводнённость – 25 %;
- состояние к началу ремонта: в бездействии с 11.2004 г.;
- причина отказа: малодебитная.

Выбор и обоснование капитального ремонта скважины

Для проведения капитального ремонта в скважине был выбран вид капитального ремонта – гидравлический разрыв пласта (ГРП).

Данный вид капитального ремонта выбран по причине:

- малый дебит скважины;
- невозможность перевода скважины в нагнетательный фонд;
- невозможность перевода на другие продуктивные горизонты;
- отдалённость водонефтяного контакта.



Предполагается произвести гидравлический разрыв пласта (КР 7-2) с целью повышения нефтеотдачи.

Подготовка скважины к гидравлическому разрыву пласта

Подготовительные работы к проведению ГРП включают в себя обследование скважины, состоящий из проверки крепи в интервале ГРП, а также наличие перетоков и техническое состояние эксплуатационной колонны с помощью промыслово-геофизических исследований путём снижения уровня компрессором или специальным оборудованием (свабом).

Работы по свабированию проводятся при работе бригады УКРС со станка с помощью тартальной лебёдки. При проведении работ по исследованию обязательно собирается материал об искусственном и текущем забое, и делается привязка материала перфорации по локатору муфт и гамма-каротажу.

Материалы по обследованию скважин, выполняемые силами НГДУ, должны иметь срок давности не более трёх месяцев. Силами УКРС обследование проводится только после проведения сложного ремонта, связанного с фрезированием и ударными нагрузками на инструмент.

Подбор скважины-кандидата

На первом этапе геологической службой НГДУ выбираются скважины для проведения ГРП. Основными критериями подбора являются:

- пласты с ухудшенной ёмкостно-фильтрационной характеристикой (заглинизированы, с частым переслаиванием);
- скважины, давшие при опробовании слабый приток нефти по сравнению с окружающими;
- скважины с неоднородными пластами по разрезу (нагнетательные, с неравномерной приёмистостью, эксплуатационные с неравномерным отбором).

Подготовка скважины к проведению ГРП

Для проведения процесса ГРП в скважину спускают НКТ-89, если давление разрыва превышает допускаемые напряжения для обсадных колонн, на насосно-компрессорных трубах спускается пакер, который устанавливается над объектом гидроразрыва.

Спуск пакера в технически неисправную колонну не допускается. Во избежание оседания песка на забой скважины пакер снабжается хвостовиком с перфорированной в нижней части трубой. Хвостовик опускается ниже вскрытой мощности пласта.

При производстве ГРП с применением пакера нижняя часть обсадной колонны с высоким давлением изолируется от остальной части, расположенной выше пакера. Возникающий при этом перепад давлений создаёт действующие на пакер усилия, стремящиеся вытолкнуть пакер вместе с колонной НКТ на поверхность, а в случае закрепления труб к устьевому фланцу устьевого колонны – сжать колонну НКТ вдоль оси. Величина этого усилия зависит от перепада давлений под и над пакером и диаметра обсадной колонны и может достигать при гидравлическом разрыве пласта 1 МН и более.

С целью разгрузки колонны НКТ от сжимающих усилий, а также чтобы пакер не сдвигался по колонне при повышении давления, применяются гидравлические якоря, которые устанавливаются над пакерами. Чем больше давление в трубах и внутри якоря, тем с большей силой выдвигаются и прижимаются поршеньки якоря к обсадной колонне.

Техническая характеристика пакера, используемого при ГРП, приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика пакера, используемого при ГРП

Показатели	ПРО-112	ПРО-118
Наружный диаметр эксплуатационной колонны, мм	140; 146	140;146
Толщина стенок колонны, мм	7–11; 9–12	7–8; 7–11
Максимальная температура, °С	100–150	100–150
Максимальный перепад давлений на пакер, МПа	100	100
Габаритные размеры, мм:		
– максимальный диаметр по корпусу	112	112
– диаметр проходного канала	46	46
– длина	2140	2140
Нагрузка при пакеровке, кН	60–320	60–320
Присоединительная резьба, мм	Резьба гладких труб НКТ 73 мм ГОСТ-633-80 Резьба гладких труб НКТ 60 мм ГОСТ-633-80	



Выбор жидкости разрыва, качества песка, продавочной жидкости и жидкости-песконосителя

Жидкости для ГРП, основанные на нефти

Используются для интенсификации притока в породах, чувствительных к воде. Такие породы содержат высокий процент глин, которые могут мигрировать или набухать в присутствии воды или соляных растворов. Жидкости, основанные на нефти, не оказывают неблагоприятного воздействия на пластовые глины и с этой точки зрения считаются не создающими повреждений.

Добавки к водяным жидкостям для ГРП

Водожелатинизирующие агенты загущают пресную воду и мягкие соляные растворы, улучшая перенос проппанта. В образуемых гелях возникают поперечные связи, что увеличивает количество удерживаемого ими проппанта.

Высокотемпературные стабилизаторы водных гелей

Стабилизаторы гелей используют в тех случаях, когда высокие температуры в забое гидроразрыва ограничивают срок жизни определённого желатинизирующего агента. Уменьшение вязкости из-за повышения температуры, приводящее к более быстрому оседанию песка, может быть замедлено использованием этих продуктов; необходимо пользоваться стабилизаторами гелей при температурах от 66 °С и выше.

Брекеры для водных гелей

Правильный подбор брекеров для конкретного геля важен при проведении работ по ГРП. Высокая вязкая рабочая жидкость должна постепенно деградировать для обеспечения нормальных скоростей оттока и причинения минимального вреда пласту.

Проппанты

Нагнетание в пласт проппантов при проведении работ по ГРП необходимо для поддержания разрыва в открытом состоянии. Ключевыми факторами при оценке являются такие, как напряжение замыкания, прочность породы, а также свойства самого проппанта.

Биоциды

Бактерицидные соединения используют для борьбы с микроорганизмами, к числу которых относятся бактерии, а также водоросли. Микроорганизмы и продукты их метаболизма разлагают и разрушают рабочие жидкости для ГРП.

Добавки для уменьшения потерь жидкости

Геометрия разрыва зависит от нескольких параметров, одним из которых является степень потери жидкости. Для создания приемлемого проникновения разрыва в проницаемую породу часто требуются специальные добавки, которые позволяют контролировать утечки. При выборе подходящих добавок следует учитывать размер частиц продукта, его растворимость, а также возможные повреждения слоя проппанта и нарушения проводимости.

Добавки для уменьшения трения

Снижающие трение добавки обычно представляют собой эмульсии высокомолекулярного полиакриламида в нефти. Они могут частично гидролизироваться и реагировать с другими химикатами с образованием катионов и анионов. Эффективно используется для уменьшения давления трения во всех типах жидкостей – от кислот до углеводородов. Уменьшение давления трения достигает 80 %.

Пенообразующие добавки

Пена – это дисперсная система жидкости и газа, с газом как внешней фазой. Пласты с низким давлением очень часто медленно обрабатываются, и может возникнуть необходимость применять свабирование скважины. Вспененные жидкости разрыва – решение этой проблемы. Пена имеет низкое содержание жидкости, демонстрирует отличные результаты по управлению фильтрацией и лучшее течение из скважины, благодаря расширению газовой фазы. Основной жидкостью может быть вода, кислота, водный раствор метанола, дизтопливо, керосин или сырая нефть.

Для гидроразрыва пластов на Самотлорском месторождении рабочей жидкостью является нефтяной гель, который готовится непосредственно перед началом ГРП в двух емкостях общим объемом 85 м³. В процессе подготовки геля жидкость циркулирует через пескосмесительный агрегат МС-60, на котором смонтированы центробежные насосы и по две системы подачи сухих и жидких химикатов. Весь процесс замешивания занимает около часа. Готовый гель имеет плотность базовой жидкости 1000 кг/м³, вязкость 0,150–0,350 Па·с.

Пески, применяемые при ГРП

В практике широко применяются кварцевые пески с размером зёрен 0,4–1,2 мм. Песок не должен быть загрязнён мелкими, пылевидными или глинистыми фракциями. Количество песка, подлежащего закачке в трещины, должно определяться специальными расчётами в зависимости от параметров пласта. Если поступление песка в трещины затрудняется, следует увеличить темп закачки жидкости или повышать её вязкость. Применяемые на практике концентрации песка в жидкости-песконосителе колеблются в широких пределах и зависят от пескоудерживающей способности жидкости и технических возможностей насосного оборудования.



Оборудование и агрегаты для гидроразрыва пласта

ООО СП «Катобьнефть» располагает четырьмя мобильными комплексами для производства ГРП на гелированных жидкостях или кислотах и достаточным количеством скважинного оборудования.

Комплекс спецтехники СП «Катобьнефть» для производства ГРП:

- пескосмесительная установка – блендер MC-60;
- насосный агрегат FS-2251;
- блок манифольда IS-200;
- песковоз;
- станция контроля EC-22АСБ;
- ёмкости.

Практически всё оборудование для ГРП смонтировано на шасси тяжёлых грузовиков «Mercedes Benz» повышенной проходимости и предназначено для работы в жёстких условиях нефтяных месторождений Западной Сибири. За счёт компактности размещения оборудования комплекс ГРП способен развёртываться в стеснённых условиях кустовых площадок.

Блендер MC-60

Передвижной агрегат, предназначенный для предварительного приготовления технологических жидкостей в резервуарах и последующей их подачи через систему манифольда на приём насосных агрегатов. Благодаря тщательно продуманной системе компьютерного управления, агрегат способен обеспечить высокое качество смешивания жидкостей, пропанта и химикатов. Блок управления блендера обеспечивает соблюдение заданного уровня жидкости в смесителе, автоматический контроль подачи сухих и жидких химикатов.

Максимальная подача смеси – 8 м³/мин. при давлении 4 атм. Возможность рециркуляции жидкости через резервуары при загеливании жидкости разрыва. Турбинные расходомеры по жидкости и смеси. Радиоактивный плотномер смеси. Две системы подачи жидких химикатов и две системы подачи сухих химикатов, управление бортовым компьютером или оператором.

Контролируемые параметры:

- расход на приёме и выкиде;
- расход сухих и жидких химикатов;
- расход пропанта;
- плотность смеси на выкиде;
- давление на приёме и выкиде;
- параметры силовой установки.

Насосный агрегат FS-2251

Передвижной насосный агрегат предназначен для закачки в скважину различных жидкостей и смесей с пропантом с высоким темпом и при большом давлении. Трёхплунжерный пятидюймовый насос SPM приводится в действие через автоматическую трансмиссию Allison двигателем Detroit Diesel. Силовая установка – двухтактный дизель 16V149T1B номинальной мощностью 2250 л.с. при 2050 об./мин. водяное охлаждение, запуск от двигателя шасси. Максимальное рабочее давление – 800 атм. при подаче 0,77 м³/мин. Максимальное давление – 1050 атм. Максимальная подача – 2,5 м³/мин. Электронная система защиты от превышения установленного давления.

Блок манифольда IS-200

Блок манифольда предназначен для распределения жидкости от блендера к каждому насосу по системе низкого давления. Подача общего потока от насосов в скважину по системе высокого давления. Система низкого давления – диаметр 4 дюйма. Система высокого давления – диаметр 3 дюйма, давление – 1050 атм. Одновременное подключение до шести насосов.

Песковоз

Песковоз предназначен для перевозки пропанта и контролируемой подаче его на блендер и представляет собой гидравлический самосвал с полностью закрытым кузовом. Подача пропанта производится через гидравлически управляемую заслонку. Полезная максимальная нагрузка до 30 тонн. Короткая колёсная база обеспечивает повышенную манёвренность.

Станция контроля

Станция контроля – это компьютерный центр управления процессом ГРП и сбора информации. Для управления насосными агрегатами в станции установлены 6 электронных панелей, которые позволяют одному оператору управлять всеми насосами. Имеется возможность одновременной остановки всех насосов в аварийных случаях. Для оперативной связи в процессе работы имеется комплект радиосвязи близкого радиуса действия. Для контроля процесса ГРП и сбора данных станция оснащена компьютерной системой преобразования сигналов и двумя персональными компьютерами.

Контролируются параметры:

- давление НКТ;
- давление затрубья;
- расход смеси;



- расход пропанта;
- плотность смеси;
- расход химреагентов.

Компьютеры используются для проектирования ГРП, записи параметров процесса, обработки информации и распечатывания отчётов.

Ёмкости технологических жидкостей ГРП. Для приготовления технологических жидкостей гидро-разрыва (гелей на водной или углеводородной основе) имеется парк передвижных ёмкостей. Ёмкости цилиндрические, горизонтальные, объёмом от 40 до 75 м³ смонтированы на трёхосных колёсных прицепах.

Схема расстановки оборудования при проведении ГРП показана на рисунке 1.

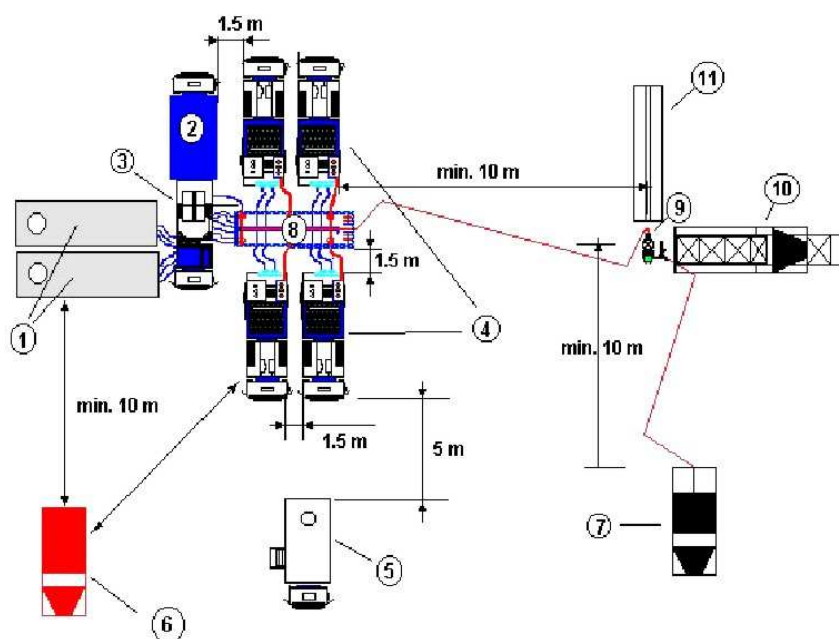


Рисунок 1 – Схема расстановки оборудования при проведении ГРП:

- 1 – АЦ8 (2 ёмкости V = 50 м³); 2 – песковоз; 3 – пескосмеситель МС-60 (блендер);
 4 – 4 насосных агрегата FC-2251; 5 – станция управления; 6 – пожарная машина; 7 – насосный агрегат ЦА-320;
 8 – блок манифольда IS-200; 9 – скважина; 10 – А-50; 11 – приёмные мостки

Расчёт параметров гидравлического разрыва пласта

Расчёт параметров ГРП представляет собой достаточно сложную задачу, которая состоит из двух частей:

- 1) расчёт основных характеристик процесса и выбора необходимого количества техники для проведения ГРП;
- 2) определение вида трещин и расчёт её размеров.

Исходные данные для расчёта:

Пластовое давление $P_{пл}$, МПа	11
Глубина залегания продуктивного пласта H , м	2655
Предел прочности песчаника на разрыв δ_p , МПа	5
Внутренний диаметр эксплуатационной колонны $D_{вн}$, мм	130
Наружный диаметр эксплуатационной колонны D_n , мм	146
Наружный диаметр НКТ d_n , мм	89
Внутренний диаметр НКТ $d_{вн}$, мм	75
Потери напора в трубах трение Δh , м	99
Количество песка вводимого в трещины, тонн	20
Плотность жидкости-песконосителя $\rho_{ж}$, кг/м ³	825
Эффективная вязкость жидкости-песконосителя μ , Па·с	0,2
Концентрация песка C_0 , кг/м ³	250
Объём жидкости-песконосителя $V_{ж}$, м ³	20
Плотность зёрен песка $\rho_{зп}$, кг/м ³	1560
Толщина пласта h , м	10



Окончание исходных данных для расчёта

Проницаемость пласта K_p , м ²	$247 \cdot 10^{-15}$
Пористость m	0,20
Нефтенасыщенность S_n	0,66
Модуль упругости пород E , Па	$2 \cdot 10^{10}$
Коэффициент Пуассона ν	1,1
Средняя плотность пород ρ_p , кг/м ³	2300
Располагаемый расход жидкости разрыва Q , л/с	60
Толщина трещины ω , см	0,1

Рассчитываем вертикальную составляющую горного давления:

$$P_{вг} = \rho_p \cdot g \cdot H = 58,66 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем давление разрыва пласта:

$$P_{рп} = P_{вг} - P_{пл} + \delta_p = 58,66 - 11 + 5 = 52,66 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем допустимое давление на устье скважины при закачке жидкости-песконосителя:

$$P_{уст} = \frac{D_H^2 - D_B^2}{D_H^2 + D_B^2} \cdot \frac{\sigma_T}{k} + P_{пл} + \rho_{ж} \cdot g \cdot (H - \Delta h) =$$

$$= \frac{0,146^2 - 0,130^2}{0,146^2 + 0,130^2} \cdot \frac{380}{1,5} + 11 + 825 \cdot 9,81 \cdot (2655 - 99) = 20,68 \text{ МПа,}$$

где σ_T – предел текучести стали ($\sigma_T = 380$ МПа); k – запас прочности ($k = 1,5$).

Рассчитываем допустимое давление в зависимости от прочности трубы верхней части колонны труб на страгивающее усилие:

$$P_y = \frac{P_{стр} - G}{\frac{\pi \cdot D_{вн}^2}{4}} = \frac{1,59 - 0,5}{\frac{3,14 \cdot 0,130^2}{4}} = 42,2 \text{ МПа,}$$

где $P_{стр}$ – страгивающее усилие ($P_{стр} = 1,59$ МН); G – усилие затяжки ($G = 0,5$ МН).

Рассчитываем забойное давление:

$$P_{заб} = P_{уст} + \rho_{ж} \cdot g \cdot (H - \Delta h) = 42,2 + 825 \cdot 9,81 \cdot (2655 - 99) = 20,69 \text{ МПа.}$$

Количество жидкости, требуемое для разрыва, равно количеству жидкости-песконосителя:

$$V_p = V_{ж} = 20 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем объём продавочной жидкости:

$$V_p = \frac{1,3 \cdot \pi \cdot D_{вн}^2 \cdot H}{4} = \frac{1,3 \cdot 3,14 \cdot 0,130^2 \cdot 2655}{4} = 45,8 \text{ м}^3.$$

Рассчитываем общую продолжительность процесса ГРП:

$$t = \frac{V_p + V_{ж} + V_{пр}}{q} = \frac{20 + 20 + 45,8}{0,015} = 5720 \text{ с} = 1,6 \text{ ч} = 0,067 \text{ сут.},$$

где $q = 1,5$ л/с – темп закачивания жидкости разрыва.

Рассчитываем радиус горизонтальной трещины:

$$r_t = c \cdot \left(Q \cdot \sqrt{\frac{10^{-9} \cdot \mu \cdot t_p}{k_n}} \right)^{0,5} = 0,02655 \cdot \left(60 \cdot \sqrt{\frac{10^{-9} \cdot 0,2 \cdot 5,55}{247 \cdot 10^{-15}}} \right)^{0,5} = 1,7 \text{ м,}$$



где c – эмпирический коэффициент, зависящий от горного давления (для $H = 2655$ м эмпирический коэффициент $c = 0,02655$); μ – эффективная вязкость жидкости-песконосителя ($\mu = 0,2$ Па·с); t_p – время закачки жидкости разрыва:

$$t_p = \frac{V_p}{Q} = \frac{20 \cdot 10^3}{60} = 333 \text{ с} = 5,55 \text{ мин.}$$

Рассчитываем проницаемость горизонтальной трещины:

$$K_t = \frac{\omega^2}{12} = \frac{0,001^2}{12} = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2.$$

Рассчитываем проницаемость призабойной зоны:

$$K_{пз} = \frac{K_n \cdot h + K_t \cdot \omega}{h + \omega} = \frac{247 \cdot 10^{-15} \cdot 10 + 8,3 \cdot 10^{-8} \cdot 0,001}{10 + 0,001} = 8,55 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2.$$

Рассчитываем проницаемость дренажной системы:

$$K_{дс} = \frac{K_n \cdot K_{пз} \cdot \lg\left(\frac{R_k}{r_c}\right)}{K_{пз} \cdot \lg\left(\frac{R_k}{r_t}\right) + K_n \cdot \lg\left(\frac{r_t}{r_c}\right)} =$$

$$= \frac{247 \cdot 10^{-15} \cdot 8,55 \cdot 10^{-12} \cdot \lg\left(\frac{250}{0,073}\right)}{8,55 \cdot 10^{-12} \lg\left(\frac{250}{8}\right) + 247 \cdot 10^{-15} \lg\left(\frac{8}{0,073}\right)} = 0,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2,$$

где R_k – радиус контура питания ($R_k = 250$ м); $R_{скв} = \frac{D_H}{2} = \frac{0,146}{2} = 0,073$ м.

Рассчитываем максимальный дебит скважины после ГРП по формуле Дарси:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot K_{дс} \cdot h \cdot \Delta p}{\mu_H \cdot \ln\left(\frac{R_k}{r_t}\right)} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 1}{6,06 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{250}{8}\right)} = 13 \text{ м}^3/\text{сут.} = 11 \text{ тонн/сут.};$$

$$\Delta P = P_{пл} - P_{заб} = 1 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем количество насосных агрегатов:

$$N = \frac{q}{q_{ар}} + 1 = \frac{15}{15,1} + 1 = 2,$$

где $q_{ар}$ – производительность насосного агрегата FS-2251.

Рассчитываем эффект от ГРП:

$$n = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\lg\left(\frac{R_k}{r_{скв}}\right)}{\lg\left(\frac{R_k}{r_t}\right)} = \frac{\lg\left(\frac{250}{0,073}\right)}{\lg\left(\frac{250}{8}\right)} = 2,4.$$

Влияние особенностей проведения ГРП на эффективность

Влияние достигнутого давления

К техническим показателям процесса гидравлического разрыва можно отнести достигнутые давления, объём продавленного в пласт закрепляющего трещину материала, используемые жидкости разрыва.

Естественно, можно предположить, что эффективность обработок в значительной степени зависит от параметров геометрии трещины.



Конечная геометрия трещины зависит от объёма закачанного закрепляющего материала (пропанта) и максимального давления, достигнутого во время закачки пропанта. В общем виде уравнение ширины трещины в двумерном описании:

$$W_0 = \frac{4 \cdot (1 - \nu^2) \cdot L \cdot (P_{\text{разр}} - P_{\text{гг}})}{E},$$

где ν – коэффициент Пуассона горных пород; $P_{\text{разр}}$ – давление разрыва; $P_{\text{гг}}$ – горизонтальная составляющая горного давления; E – модуль упругости пород, равный $1,02 \cdot 10^4$ МПа; L – длина трещины.

Анализ поведения давления во время проведения ГРП на Самотлорском месторождении свидетельствует о том, что, как правило, на момент закачки пропанта трещины больше не развиваются, а создаваемая на поверхности депрессия тратится на трение жидкости в трубах, перфорационных отверстиях и фильтрацию в пласт. Таким образом, можно говорить о том, что при прочих равных условиях максимальное давление в период закачки пропанта будет контролировать ширину раскрытия трещины у основания.

Влияние объёмов продавленного пропанта на продолжительность и величину эффекта

Исследованиями установлено, что основным параметром, влияющим на продолжительность эффекта после ГРП, является объём продавленного в пласт пропанта или, если не считать объёма вдавленных в породу песчинок, объём трещины.

По всей видимости, меньшие объёмы трещин больше подвержены засорению как пластовыми жидкостями, так и жидкостями глушения при ремонте скважин.

Влияние размеров зёрен пропанта

В процессе гидроразрыва на Самотлорском месторождении применяется искусственный песок – пропант, имеющий два типоразмера: более крупный – 16/20 и более мелкий – 20/40.

Типоразмеры определяются количеством отверстий в сите на 1 квадратный дюйм. После просеивания диаметр песчинок у типоразмера:

- 16/20 колеблется от 0,8 до 1,2 мм;
- 20/40 колеблется от 0,4 до 0,8 мм.

Количество ГРП, проведённых с типоразмерами 16/20 и 20/40, почти одинаково.

При анализе ГРП существенных различий в эффективности обработок при применении этих типоразмеров пропанта не обнаружено.

Влияние ГРП на окружающие скважины

Низкопродуктивные и недонасыщенные залежи характеризуется наличием обширных застойных зон, в которых нефть при существующей системе воздействия на пласт неподвижна. В результате проведения ГРП происходит перераспределение давления и увеличение скорости фильтрации, при этом часть нефтяной фазы, первоначально связанной в поровом пространстве, преодолевает капиллярное давление и становится подвижной, что выражается в повышении дебитов окружающих скважин.

Основную роль при этом играет достижение в процессе проведения ГРП и последующем пуске скважины в работу при значительных градиентах давления, распространяемых на большие расстояния, а главное, охватывающих большие площади пласта. Установлено, что при длительном простое скважины после ГРП, когда перераспределение давления в пласте идёт медленно, эффект влияния на окружающие скважины или не проявляется, или отрицателен. Подтверждением вовлечения в фильтрацию связанной части нефти в поровом пространстве в результате распределения волн давления служит установленный факт снижения эффективности воздействия при повторном проведении ГРП, когда исчерпаны потенциальные возможности вовлечения нефти в процессе повышения фильтрации.

Анализ промысловых данных показывает, что в ряде случаев дополнительная добыча по окружающим скважинам превышает показатели скважины, где проводился ГРП, в 2,2 и более раз.

Эффект воздействия на окружающие скважины способен существенно увеличить диапазон условий рентабельного проведения ГРП.

При выполнении операций необходимо максимально сократить сроки запуска скважин после ГРП для совмещения не только гидравлического, но и ударного воздействия на пласт.

Заключение

Из методов гидромеханического воздействия на пласт наиболее широко применяется метод гидравлического разрыва пласта.

При ГРП устраняется влияние на приток жидкости в скважину сильно загрязнённой призабойной части пласта за счёт образования глубоких трещин в пласте, что в совокупности даёт значительное повышение продуктивности скважины.



Сущность ГРП заключается в образовании высокопроницаемых трещин большой протяженности под воздействием давления нагнетаемой в скважину плохо фильтрующейся жидкости. Этот процесс состоит из следующих последовательных этапов:

- закачки в пласт жидкости разрыва для образования трещин, заполняемых крупнозернистым песком;
- нагнетания жидкости-песконосителя;
- закачки жидкости для продавливания песка в скважину.

Момент разрыва пласта отмечается резким увеличением расхода жидкости разрыва.

В зависимости от объемов закачки рабочей жидкости и закрепляющего трещину песка можно получить тот или иной прирост добычи нефти. Эффективность ГРП также зависит от области дренирования скважины, проницаемости пласта, мощности продуктивной части и геометрических параметров трещины.

Литература

1. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин : учебное пособие для студентов вузов / А.И. Булатов [и др.]. – Краснодар : ООО «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
2. Булатов А.И. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин : в 4 томах / А.И. Булатов, О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012–2015. – Т. 1–4.
3. Булатов А.И. Практикум по дисциплине «Заканчивание нефтяных и газовых скважин» : в 4 томах : учебное пособие / А.И. Булатов, О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2013–2014. – Т. 1–4.
4. Булатов А.И. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов, О.В. Савенок, Р.С. Яремийчук. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – 576 с.
5. Ильина Г.Ф. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири / Г.Ф. Ильина, Л.К. Алтунина. – Томск : Издательство ТПУ, 2006. – 166 с.
6. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. – М. : Недра, 1999. – 212 с.
7. Савенок О.В. Нефтегазовая инженерия при освоении скважин / О.В. Савенок, Ю.Д. Качмар, Р.С. Яремийчук. – М. : Инфра-Инженерия, 2019. – 548 с.
8. Куликов Э.В. Особенности применения ГРП на Приразломном месторождении / Э.В. Куликов, П.Д. Залоев, Н.М. Лешкович // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 127–132.
9. Малышев Г.А. Состояние и перспективы развития технологии ГРП / Г.А. Малышев, В.П. Соняч, С.А. Сулейма // Нефтяное хозяйство. – 2002. – №. 8. – С. 88–93.
10. Павельева О.Н. Анализ проведения ГРП на переходящем фонде скважин на Приобском месторождении / О.Н. Павельева, А.О. Басов, Ю.Н. Павельева // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 198–200.
11. Павельева О.Н. Технологический анализ эффективности применения ГС с ГРП в сравнении с ННС на Приобском месторождении / О.Н. Павельева, А.О. Басов, Ю.Н. Павельева // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 2. – С. 201–203.
12. Петрушин Е.О. Гидродинамические исследования при освоении скважин с помощью свабирования // Технические и технологические системы: Материалы восьмой международной научной конференции «ТТС-16» (24–26 ноября 2016 года) / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян; ФГБОУ ВО «КубГТУ», КВВАУЛ им. А.К. Серова; под общ. ред. Б.Х. Гайтова. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2016. – С. 266–275.

References

1. Ecology at construction of the oil and gas wells: textbook for students of higher educational institutions / A.I. Bulatov [et al.]. – Krasnodar : «Enlightenment-South» LLC, 2011. – 603 p.
2. Bulatov A.I. Underground overhaul of oil and gas wells : in 4 volumes / A.I. Bulatov, O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012–2015. – Vol. 1–4.
3. Bulatov A.I. Workshop on «Finishing Oil and Gas Wells» discipline / A.I. Bulatov, O.V. Savenok. In 4 volumes : a training manual / A.I. Bulatov, O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South, 2013–2014. – Vol. 1–4.
4. Bulatov A.I. Scientific bases and practice of oil and gas wells development / A.I. Bulatov, O.V. Savenok, R.S. Yaremychuk. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – 576 p.
5. Ilyina G.F. Methods and technologies of oil recovery enhancement for the Western Siberia reservoirs / G.F. Ilyina, L.K. Altunina. – Tomsk : TPU Publishing House, 2006. – 166 p.
6. Kanevskaya R.D. Mathematical Modeling of Oil and Gas Fields Development with Application of Hydraulic Fracturing. – M. : Nedra, 1999. – 212 p.
7. Savenok O.V. Oil and Gas Engineering in Well Development / O.V. Savenok, Yu.D. Kachmar, R.S. Yaremychuk. – M. : Infra-engineering, 2019. – 548 p.
8. Kulikov E.V. Features of the hydraulic fracturing application at Prirazlomnoe deposit / E.V. Kulikov, P.D. Zaloev, N.M. Leshkovich // Bulatovskie readings. – 2017. – V. 2. – P. 127–132.
9. Malyshev G.A. Condition and prospects of the hydraulic fracturing technology development / G.A. Malyshev, V.P. Sonyach, S.A. Suleima // Petroleum economy. – 2002. – №. 8. – P. 88–93.
10. Pavelieva O.N. Analysis of hydraulic fracturing at the transition well stock at Priobskoye oilfield / O.N. Pavelieva, A.O. Basov, Yu.N. Pavelieva // Bulatovsky readings. – 2017. – V. 2. – P. 198–200.
11. Pavelieva O.N. Technological analysis of HS application efficiency with hydraulic fracturing in comparison with NNS at Priobskoye oilfield / O.N. Pavelieva, A.O. Basov, Yu.N. Pavelieva // Bulatovskie readings. – 2017. – V. 2. – P. 201–203.
12. Petrushin E.O. Hydrodynamic research at the development of the wells by means of swabbing // Technical and technological systems: Proceedings of the eighth international scientific conference «TTS-16» (November 24–26, 2016) / E.O. Petrushin, A.S. Harutyunian; FSBOU VPO «KubGTU», A.K. Serov KVVAUL; under general ed. of B.H. Gaitov. – Krasnodar : Publishing House – South, 2016. – P. 266–275.