

permeability of oil increases, which leads to an improvement in the movement of oil and the transformation of the properties of rocks into hydrophilic rock.

УДК:622.276.43

Обучающийся: Максотов М., магистрант

Научный руководитель: Хамзина Б.Е., руководитель

Западно-Казахстанский аграрно-технологический университет имени Жангир хана,
г. Уральск

ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЧНОСТЬ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПАНТА В ТРЕЩИНЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

АННОТАЦИЯ

При разработке низкопроницаемых коллекторов все чаще применяют гидравлический разрыв пласта. В результате ГРП при правильном выборе скважин и технологии можно существенно увеличить дебиты нефти обработанных скважин. Гидравлический разрыв пласта в настоящее время является наиболее эффективным способом интенсификации добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов. В зарубежной практике этот метод получил широкое применение, причем более 65 % скважин подвергают ГРП на стадии ввода их в эксплуатацию.

Ключевой момент в процессе ГРП – создание трещины в породе при помощи закачки жидкости разрыва. Однако не менее важным является закрепление трещины расклинивающим материалом или пропантом для предотвращения ее смыкания, поскольку от качества закрепления трещины непосредственно зависит потенциальный дебит скважины.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, пропант, гелепокрытые пропанты, керамические пропанты, трещина

Введение. Пропанты - это твердые вещества, которые помещаются в трещины с огромной ответственностью за улучшение их проводимости для поддержания высоких темпов производства. Подпертая трещина считается успешной, когда она сохраняет проводимость трещины во время добычи, даже когда внешние силы, действующие на них, могут ухудшить ширину и проницаемость трещины. Продуктивность скважин в конечном счете определяется этими подпирающими трещинами. Существуют различные коммерчески доступные типы пропантов, такие как песок, керамика, керамика с полимерным покрытием, сплавы алюминия, пластмассы и ореховая скорлупа. Пропанты используются для того, чтобы выдерживать огромное давление закрытия (минимальное горизонтальное напряжение, действующее на грани трещины[1]. Несмотря на то, что ключевой функцией пропантов является поддержание трещины открытой, они служат и другим целям, таким как облегчение наблюдения за пластом, изучение характеристик трещины и обеспечение контроля потока при обеспечении трубопроводов для углеводородов.

Материалы и методы исследования. Проводимость трещины зависит от многих факторов. Высокое давление смыкания, действующее на пропанты, может привести к его дроблению, что приводит к образованию мелких частиц и увеличению извилистости трещины, и внедрить его на поверхность трещины, что приводит к уменьшению ширины трещины. Существуют и некоторые другие факторы, влияющие на проводимость упаковки, такие как прочность пропантов, форма зерна, расширенная способность укладки, движение мелких частиц и повреждения из-за геля. Ключевые факторы, определяющие потерю проводимости из-за жидкости гидроразрыва пласта, включают

концентрацию проппанта в суспензии, пористость проппанта и остаток, оставшийся в трещине при утечке жидкости.

На заделку проппанта всегда влияют внутрислоевые напряжения, механические характеристики породы и параметры, связанные с проппантом, такие как его размер, тип и концентрация. Заделка проппанта будет иметь тенденцию к росту с увеличением эффективного напряжения во время добычи, что приведет к снижению проводимости разрушения. При разрыве без проппантов в интервале эффективных напряжений 4,72-45,8 МПа наблюдалось снижение величины проницаемости трещины на 95 %-, что значительно превышает проницаемость матрицы при тех же экспериментальных условиях. При напряженном состоянии около 35 МПа наблюдалось лишь 60 %-ное снижение проницаемости трещины [2]. В слабо консолидированных песчаниках апертура трещины может уменьшаться от 10 до 60 % в результате заделки проппанта, что сказывается на добыче скважины, и литература показывает, что уменьшение апертуры фрактала на 20% может привести к ограничению-извлечения на 50-60%.

Результаты исследования. Факторы, влияющие на расход проппанта. Мир рассматривает нетрадиционные ресурсы как потенциальную замену для смягчения проблем, связанных с энергетическим кризисом. Одним из таких энергетических ресурсов является плотный газовый песчаный пласт. Прогресс в технологии горизонтального бурения и гидроразрыва пласта привел к экономической добыче из этих пластов.

Проппанты играют ключевую роль в поддержании трубопроводов, сохраняя трещины открытыми после остановки перекачки во время операций гидроразрыва пласта. Несколько процессов, таких как диагенез, встраивание проппанта и образование мелких частиц, а также их миграция, происходящие из-за высоких напряжений и температурных условий, приводят к деградации проппантов. Заделка проппанта - неизбежный механизм, вызывающий деградацию проппанта в глубоких пластовых условиях. Это приводит к огромному резкому увеличению ширины трещины, гидравлической проводимости и, наконец, добычи[3].

Влияние утечки жидкости гидроразрыва пласта. Проппант внедряется в горную породу при утечке жидкости off, и процесс заделки продолжается по мере увеличения давления закрытия, действующего на пакет проппантов. Для изучения влияния скорости утечки жидкости на процесс заделки проппанта провели ряд экспериментов с использованием тех же материалов, что и в предыдущем разделе. Были приняты во внимание две различные скорости утечки: 8,5 мл/мин и 1,7 мл/мин. В случае 8,5 мл/мин вся жидкость постоянно вытекала в течение 2 min, и соответствующий коэффициент утечки принимался равным $0,03 \text{ ft/min}^{0,5}$. В случае 1,7 мл/мин вся жидкость постоянно вытекала в течение 10 мин, и соответствующий коэффициент утечки принимался равным $0,01 \text{ фут/мин}^{0,5}$.

Влияние размера, распределения и прочности проппантов. Распределение проппанта внутри трещины будет определять поведение закрытия трещины, которое играет важную роль в проводимости трещины. Распределение проппанта должно влиять на остаточную ширину трещины и ограничивать осаждение проппанта, что приводит к его дроблению или заделке. Частичное распределение проппантов часто происходит на пересечении первичной трещины и вспомогательных трещин в результате впрыскивания проппанта слизи и малогабаритных проппантов. Проппанты могут испытывать огромные внешние напряжения, приводящие к их глубокому встраиванию в плоскости разрушения исследовали влияние размера и распределения проппанта с использованием песчаных и бокситовых проппантов. Серый песчаник Берея использовался для большей части исследований, связанных с внедрением, из-за его относительной однородности. Результаты 50%-ного монослоя показали большее встраивание в case боксита сетки 12/20 по сравнению с таковым в случае бокситов сетки 20/40 и 25/30, причем 25/30 демонстрирует наименьшее встраивание. При проведении экспериментов с 50%-ным проппантным покрытием боксит размером 25/30 меш с узким диапазоном размеров

обеспечивал наименьшее закрытие трещины даже после корректировки начальной ширины трещины, поскольку это снижало давление, необходимое для формирования значительной площади контакта проппанта. В этом случае максимальное закрытие трещины наблюдалось при 20/40 меш боксита, за которым следует 12/20 меш боксита[4].

Для полного монослоя боксит 20/40 меш показал большее закрытие трещины, чем боксит 12/20 меш при 69 МПа. Это может быть связано с большей площадью контакта, обеспечиваемой более крупными проппантами сетки 12/20, что позволило ему выдерживать давление закрытия значительно лучше, чем более мелкие проппанты сетки 20/40. Испытания на встраивание, проведенные на образцах песчаника с использованием бокситовых проппантов меш 12/20 и 20/40, выявили такую же закономерность зависимости от покрытия проппантом. Линейность скорости закрытия трещины проявлялась с увеличением давления до 27,6 МПа. При 69 МПа 35% трещины закрывается полным монослоем. По сравнению с полным состоянием монослоя при давлении закрытия 69 МПа в случае 50%-ного состояния монослоя с использованием ба-фукситовых проппантов 12/20 меш было получено на 11 % больше встраивания, а в случае 20/40 меш - на 14 % больше.

В случае песка первоначально наблюдалась большая скорость закрытия трещины, когда давление закрытия было менее 10,3 МПа. Вначале ширина трещины, подпертой песком ($=0,65$ мм), была существенно ниже ширины трещины, подпертой бокситом ($=0,99$ мм), что можно объяснить узостью гранулометрического состава песка. С целью сравнения были внесены коррективы в начальную ширину трещины, подпертой песком ($=0,99$ мм). Авторы отметили, что разрушение частиц песка в первую очередь происходило из-за начального состояния давления закрытия, а не из-за условий повышенного давления.

Влияние концентрации проппантов. На заделку проппанта в неоднородную горную среду в первую очередь влияют характеристики жидкости гидроразрыва пласта, эффективное напряжение и концентрация проппанта. наблюдали тенденцию к снижению проводимости с увеличением давления закрытия при увеличении концентрации проппантов. Модель, разработанная с использованием кода потока частиц для изучения влияния концентрации проппанта, подтверждает, что вложение уменьшается с увеличением концентрации проппанта, что доказано многими исследователями. Однако серия испытаний, проведенных при различных концентрациях, показала, что 150 %-ное покрытие является оптимальной концентрацией проппанта с наименьшим внедрением 0,48 и 0,36 мм для водонасыщенных и нефтенасыщенных условий соответственно при нормальном напряжении 35 МПа. Как и в присутствии жидкости, 100%-ная концентрация испытывает случайное движение, и процесс перераспределения может вызвать неравномерное распределение частиц [5].

Экспериментальные результаты согласуются с данными численного моделирования и подтверждают, что неоднородные условия повышают тяжесть дифференциального осаждения, вызывая неравномерность распределения несущих нагрузку частиц проппанта. К этой тенденции можно отнести более быстрое развитие встраивания на начальном этапе. Низкая концентрация проппанта приводит к большему сжатию частиц в условиях нагружения. Несмотря на неоднородность, максимальное сжатие проппанта-госк 227,7 кН наблюдается в условиях нагружения при 150 %-ном покрытии проппантом. Это свидетельствует о равномерной передаче и распределении нагрузки по всей конструкции, образованной наличием дополнительного многослойного проппанта, который полностью покрывает монослойный слой. При 200 %-ном покрытии проппантом наблюдается максимальное сжатие расклинивающей породы 286,7 кН, которое оказывается максимальным среди всех.. Однако в этом случае происходит двухслойное расположение проппантов, и передача нагрузки происходит от одной частицы к другой и в конечном итоге к зернам породы. 100%-ное покрытие проппантом в этом случае напоминает улучшение неравномерности распределения проппанта. Эта тенденция также приводит к

уменьшению количества проппантов, сопротивляющихся нагрузке, и увеличению максимальной силы. Хотя 150%-ное покрытие рекомендуется по экономически эффективной причине для достижения наименьшей заделки, 200%-ное покрытие проппантом полезно для повышения проводимости из-за наличия зазоров между слоями проппантов. В этом случае очевидна потеря дополнительных проппантов [6].

Провели эксперименты на песчанике и коллектора с использованием-бокситов сетками 12/20 и 20-40 с различными проппантными покрытиями. При использовании сетки 12/20 на Брее они обнаружили большие вариации на начальной стадии эмбедмента, которые составляют 15-30-% закрытия трещины, и это, возможно, связано с точечной нагрузкой и небольшим количеством крупного проппанта в партии. Линейность скорости закрытия трещины проявлялась с увеличением давления выше 27,6 МПа. При 69 МПа 35 % трещины закрывалось полным монослоем, в то время как 60 %-ное закрытие наблюдалось при уменьшении покрытия до 25 %.

Влияние сдвига горных пород и связанного с ним движения. При гидроразрыве пласта возникает несколько факторов, которые усугубляют деградацию проппантов.

Одним из таких факторов является сдвиг горных пород, который может быть связан с реактивацией разломов, сопровождающей процесс гидроразрыва пласта. В массиве горных пород неизбежно возникает напряжение сдвига, которое также сопровождается сдвиговым скольжением. Это может усилить процесс заделки расклинивающего агента. Поэтому важно учитывать влияние напряжения сдвига и сдвигового скольжения на заделку проппанта. Более того, относительная деформация породы может быть дополнительно усилена добавлением проппантов. В пакете проппанта напряжение фокусируется вдоль цепей, а сила передается вдоль точки контакта между зернами. Сила, действующая не может быть перпендикулярна поверхности породы. Часть его может быть направлена в сторону ствола скважины. Это может спровоцировать движение горных пород и проппанта. Далее было доказано, что закрытие подпираемых трещин сопровождается сдвиговым движением и смещением стыков горных пород.

Заключение. Проведение гидроразрыва эффективное и дорогостоящее мероприятие моментально повышающее производительность скважины. Но, как видим на его результаты влияют множество факторов. Некоторые факторы, влияющие на заделку проппанта, включают жидкость гидроразрыва пласта, размер, прочность и распределение проппантов, концентрацию проппантов, сдвиг породы и связанное с этим движение, давление смыкания и температуру, а также концентрацию жидкости песконосителя. Каждый фактор имеет

Добавление проппанта во время операции гидроразрыва пласта всегда может снизить сопротивление сдвигу горной массы. Группа испытаний была проведена для определения влияния добавления проппанта на сопротивление сдвигу горных пород. Полученные результаты показали резкое падение таких параметров, как жесткость на сдвиг и пиковая прочность на сдвиг при введении проппантов. Гладкая порода демонстрировала большее снижение пиковой прочности на сдвиг (32,50 %) по сравнению с грубой породой (27,52 %). Увеличение заделки проппанта наблюдалось с увеличением напряжения сдвига в обеих породах. При более низком напряжении сдвига это увеличение заделки было ниже. Однако при непрерывном увеличении напряжения сдвига наблюдалось более высокое заделывание. Установлено, что заделка находится под контролем до критического предела для гладкой породы (1 МПа) и грубой породы (1,5 МПа). За пределами этого предела поведение встраивания, по-видимому, изменилось. Для гладкой породы скорость заделки составила 0,49 мм/МПа, а для грубой породы - 0,61 мм/МПа. Более высокая скорость заделки в грубых породах может быть объяснена серьезностью дилатации. Полученные результаты прямо указывают на то, что оба образца демонстрировали высокие скорости заделки при достижении сдвигом определенного уровня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шекхават, Д.С., Патхак, К., 2016. Производительность проппанта с породой-коллектором при переменном давлении закрытия: результаты экспериментов с новой разработанной экспериментальной установкой. Sci. Eng. 147, 34-46-. <https://doi.org/10.1016/j.бензин.2016.05.003>.
2. Уивер Дж., Паркер М., ван Батенбург Д., Нгуен П., 2007. Диагенез, связанный с переломом, может повлиять на проводимость. SPE J. 12, 272-281-. <https://doi.org/10.2118/98236-PA>.
3. Abass, H.H., Al-Mulhem, A.A., Alqam, M.H., Khan, M.R., 2006. Кислотный гидроразрыв пласта или проппантный гидроразрыв пласта в карбонатном пласте Ежегодная техническая конференция и выставка SPE. Общество инженеров-нефтяников, Сан-Антонио, Техас, стр. 2520-2528-. <https://doi.org/10.2118/102590-MS>.
4. Montgomery, C., 2013. Жидкости гидроразрыва пласта. Международная конференция ISRM по эффективному и устойчивому гидроразрыву пласта 2013. Международное общество механики горных пород, Брисбен, Австралия, стр. 3-24-. <https://doi.org/10.5772/56192>.
5. Meese, C.A., Mullen, M.E., Barree, R.D., 1994. Морская техника гидроразрыва пласта. Техн. 46, 226-229-. <https://doi.org/10.2118/28159-PA>.
- Майкл, Ф.М., Кришнан, М.Р., Ли, У., Аль-Шарае, Э.Х., 2020. Обзор полимерно-нанонаполнительных композитов при разработке песчаных проппантов с покрытием для гидроразрыва пласта. Gas Sci. Eng. 83, 103553. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103553>.
6. Таннич, Дж.Д., 1975. Удаление жидкости из газовых скважин с гидравлическим разрывом пласта. Технол. 27, 1309-1317-. <https://doi.org/10.2118/5113-PA>.

ТҮЙІН

Өткізгіштігі төмен коллекторларды игеруде гидравликалық жару барған сайын қолданылуда. Гидравликалық жару нәтижесінде ұңғымаларды және технологияны дұрыс таңдағанда өңделген ұңғымалардың мұнай өндіру қарқынын айтарлықтай арттыруға болады. Гидравликалық жару қазіргі уақытта тығыз қабаттардан мұнай өндіруді ынталандырудың ең тиімді әдісі болып табылады. Шетелдік тәжірибеде бұл әдіс кеңінен қолданылады және ұңғымалардың 65% -дан астамы оларды іске қосу кезеңінде гидравликалық жаруға ұшырайды.

Гидравликалық жару процесінің шешуші сәті жарғыш сұйықтықты айдау арқылы тау жыныстарында жарықшақтардың пайда болуы болып табылады. Дегенмен, оның жабылуын болдырмау үшін сынықты проппантпен немесе проппантпен бекіту бірдей маңызды, өйткені ұңғыманың элеуетті дебитінің жылдамдығы сынуды бекіту сапасына тікелей байланысты.

RESUME

Hydraulic fracturing is increasingly used in the development of low-permeability reservoirs. As a result of hydraulic fracturing, with the right choice of wells and technology, it is possible to significantly increase the oil flow rates of treated wells. Hydraulic fracturing is currently the most effective way to intensify oil production from low-permeability reservoirs. In foreign practice, this method has been widely used, and more than 65% of wells are subjected to hydraulic fracturing at the stage of their commissioning.

The key point in the fracturing process is the creation of a crack in the rock by pumping the rupture fluid. However, it is equally important to fix the crack with a wedging material or propane to prevent it from closing, since the potential flow rate of the well directly depends on the quality of fixing the crack.