

ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ**В.А. Васильев, А.Е. Верисокин**Институт нефти и газа, Северо-Кавказский федеральный университет,
Ставрополь, Россия

Затронута проблема гидроразрыва пласта (ГРП) в горизонтальных скважинах. Для большей эффективности ГРП необходимо провести гидродинамическое моделирование, целью которого является распределение притоков в скважину с горизонтальным стволом после проведения поинтервального гидроразрыва пласта. В результате получены модель гидравлического разрыва пласта в начальной части горизонтального ствола скважины, графики распределения притоков, распределения давления и формирования зоны отбора, в том числе с учетом изменения во времени.

Проанализировано проведение гидравлического разрыва пласта в горизонтальных скважинах на месторождениях Западной Сибири, приведена технология селективного создания трещин при «струйном» ГРП. Отражена проблема селективных гидроразрывов в горизонтальных и вертикальных скважинах.

Описаны технические средства для осуществления процесса и дана схема развития трещины ГРП в зависимости от фильтровой части горизонтальной скважины относительно естественного поля напряжений продуктивного пласта. В результате можно сравнить развитие трещин при объемном и струйном ГРП.

Приведена методика предварительного выбора горизонтальных скважин-кандидатов для проведения «струйных» ГРП. Проектирование проведения ГРП на объекте должно осуществляться на основе комплексного гидродинамического анализа процесса разработки с моделированием гидроразрывов в конкретных скважинах. Выбор горизонтальной скважины для проведения ГРП и оптимизация параметров трещин должны осуществляться с учетом геолого-физических свойств объекта, распределения напряжений в пласте, определяющего ориентацию трещин, системы заводнения и расстановки скважин. Определяющими факторами успешности ГРП становятся правильный выбор объекта для проведения операций, использование технологий гидроразрыва, оптимальных для данных условий, и обоснованный подбор скважин для обработки.

На основании результатов построения гидродинамических моделей сделан актуальный вывод, что дебит трещин, расположенных в удаленной части ствола, более чем в два раза меньше.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, горизонтальная скважина, моделирование, распределение притоков, трещина, кровля пласта, слабодренруемые участки, струйный ГРП, гидропескоструйная перфорация.

HYDRAULIC FRACTURING IN HORIZONTAL WELLS**V.A. Vasil'ev, A.E. Verisokin**Oil and Gas Institute, North-Caucasian Federal University
Stavropol, Russia

The problems of hydraulic fracturing in horizontal wells are raised. To be most effective hydraulic fracturing it is necessary to conduct hydrodynamic modeling, the purpose of which is the distribution inflows into the well with a horizontal wellbore after the interval standardized fracturing. As a result the model of hydraulic fracturing in the initial part of the horizontal wellbore distribution graphs inflows pressure distribution and the formation zone selection, including taking into account changes over time was obtained.

Hydraulic fracturing conducting in horizontal wells of Western Siberia fields is analyzed, the technology of selective creation of fractures at the "jet" hydraulic fracturing is given. A problem of selective fracturing in horizontal and vertical wells.

This article describes the technical means for the process and the diagram of fracture development depending on a filter of the horizontal wells relative to the natural stress field of the reservoir is given. The result can be compared to the development of fractures in a volume and jet fracturing.

The technique of horizontal wells pre-selecting as candidates for "inkjet" hydraulic fracturing is presented. Design of hydraulic fracturing in the facility should be based on a comprehensive analysis of the development process of hydrodynamic modeling with hydraulic fracturing in specific wells. Choosing a horizontal well for hydraulic fracturing and fracture parameters optimization should take into account the geological and physical properties of the object, the stress distribution in the reservoir, which determines the orientation of fractures, flooding system and placement of wells. Determinants of the success of hydraulic fracturing are the right choice for facility operations, the use of hydraulic fracturing technology, optimal for the given conditions, and a reasonable selection of wells for processing.

From the results of building simulation models is made the actual conclusion that production rate fractures located in a remote part of the wellbore, more than two times less.

Keywords: hydraulic fracturing, horizontal well, modeling, flow distribution, crack, seam roof, poorly drained areas, jet fracturing, hydro perforation.

Результаты гидродинамического моделирования ГРП в горизонтальном стволе

Анализ существующих методов прогнозирования состояния гидросистем показал, что наиболее эффективным является численное моделирование [1]. Основной целью использования модели является поиск расходов и давлений жидкости во всех элементах систем в зависимости от распределения технических и природных показателей. На рис. 1 представлена модель распределения притоков в скважину с горизонтальным стволом после проведения поинтервального гидроразрыва пласта.

При создании данной модели за основу был взят изотропный пласт с давлением 18 МПа, давление на забое скважины было принято 12 МПа, радиус контура питания 500 м, приток в ствол скважины происходит из трещин, расположенных в ближней части горизонтального ствола [2]. Дебит трещин, расположенных в удаленной части ствола, более чем в два раза меньше. Это объясняется потерей энергии потока жидкости на преодоление фильтрационных сопротивлений вдоль горизонтального ствола [3].

Из этого можно сделать вывод о том, что гидроразрыв пласта в горизонтальном стволе следует проводить исходя из результатов проведения промыслово-геофизических исследований по определению профиля притока вдоль ГС [4], после чего необходимо установить слабодренируемые участки, в зависимости от интенсивности притока из интервалов определить параметры трещин вдоль ГС (длина, ширина, проводимость).

По результатам анализа проведения ГРП в ГС на месторождениях Западной Сибири выявлено, что в большинстве случаев при «стандартном» ГРП (без контроля за интервалом инициации трещины) разрыв породы происходит в начальной части условно горизонтального

участка по причине высокой выработки именно этой части [5], а также из-за разницы давления вдоль ГС при нагнетании жидкости разрыва [6].

На рис. 2 показана модель гидроразрыва пласта в начальной части горизонтального ствола скважины, т.е. имитирована работа скважины после стандартного ГРП [1].

Проведен вычислительный эксперимент по прогнозированию динамики распределения поля давления, на рис. 2 показано распределение давления в изолиниях в скважине с горизонтальным стволом после проведения гидроразрыва пласта (по истечению 0,1 сут с момента запуска). Распределение давления по стволу спустя некоторое время уже имеет не полностью равномерный характер.

На рис. 3 изображено распределение давления в зоне действия горизонтальной скважины с трещиной в начале горизонтального участка спустя 5 сут в сечении на середине расстояния между скважиной и кровлей пласта. Поле давлений и контур питания имеют форму эллипса. Однако концентрация напряжений у трещины много выше, что говорит об интенсивной выработке именно этой части.

Характер распределения поля давлений в зоне действия горизонтальной скважины с трещиной в начале горизонтального участка спустя 5 сут в сечении у кровли пласта аналогичен предыдущему случаю. Это говорит о том, что наибольшая плотность линий давления наблюдается в непосредственной близости от ствола трещины, а уже на половине расстояния плотность линий давления становится близкой к плотности давления у кровли [7].

На рис. 4 представлены линии равных давлений во фронтальном разрезе пласта с горизонтальной скважиной после ГРП (трещина вертикальная в начале ствола – слева). Согласно принципу суперпозиций, на рис. 4, а прослеживается концентрация линий давления вокруг трещины и гори-

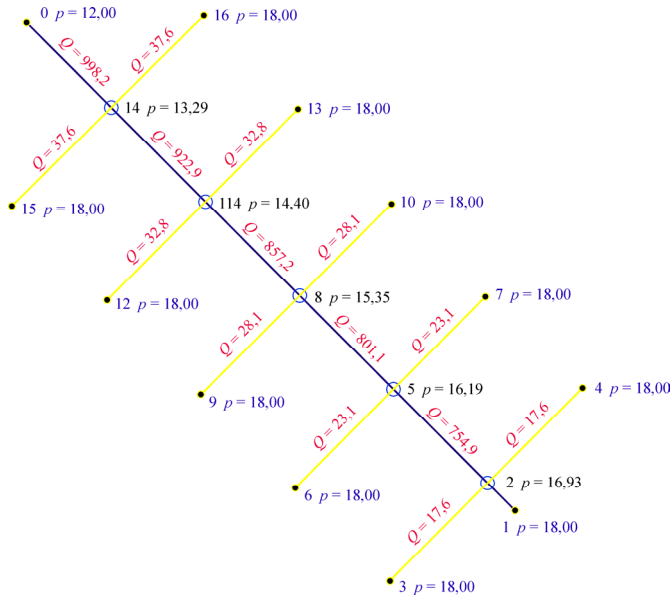


Рис. 1. Модель распределения притоков в скважину с горизонтальным стволом после проведения поинтервального гидроразрыва пласта

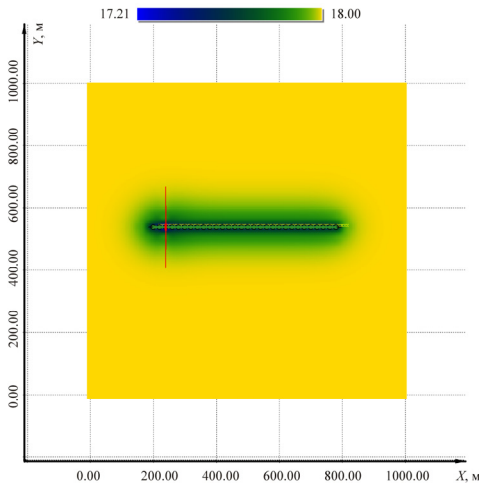


Рис. 2. Модель гидроразрыва пласта в начальной части горизонтального ствола скважины

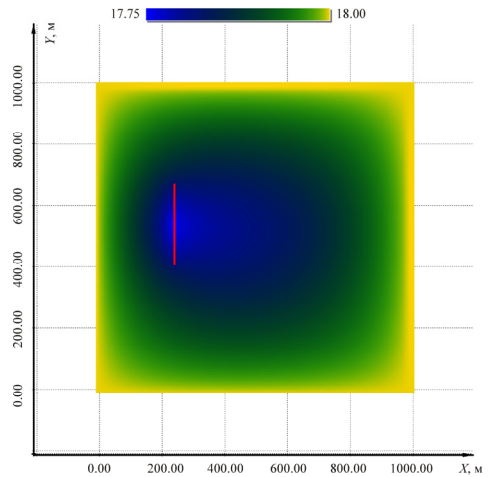


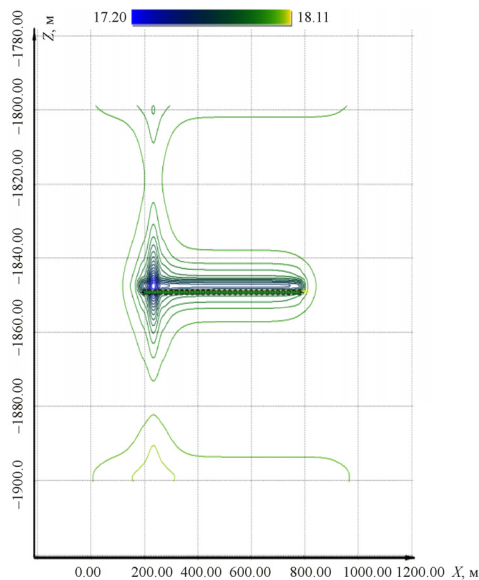
Рис. 3. Распределение давления и формирование зоны отбора после 5 сут «эксплуатации» скважины с трещиной ГРП

зонтального ствола, также видно, что поле давлений отражается от вертикальных границ пласта (кровли и подошвы).

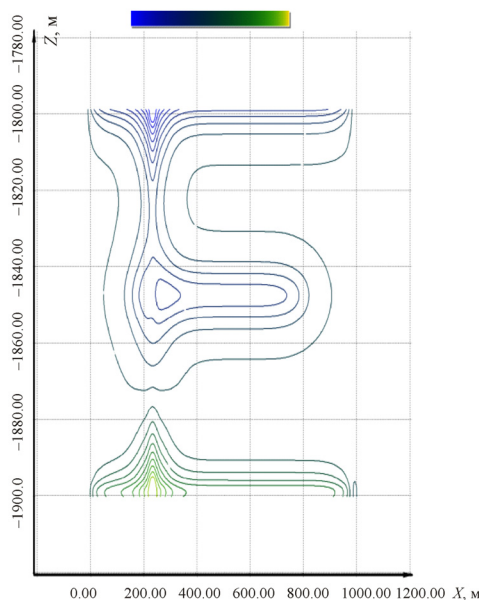
На расстоянии 150 м от ствола скважины (смещение вдоль контура питания) характер концентрации линий давления вокруг трещины и горизонтального ствола

скважины прослеживается так же по принципу суперпозиций (рис. 4, б).

По представленному результату моделирования трещины ГРП в начале ГС (имитация стандартного ГРП) выявлена неравномерность выработки запасов при данном типе операции [8].



а



б

Рис. 4. Линии равных давлений и формирование зоны отбора после 5 сут «эксплуатации» скважины с трещиной ГРП

Технология проведения струйного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах

Проблема селективных ГРП в горизонтальных и вертикальных скважинах успешно решается при объединении технологий гидропескоструйной перфорации и ГРП («струйный» ГРП). Технология селективного создания трещин при «струйном» ГРП состоит в предварительной резке колонны, образовании серии каверн путем проведения гидропескоструйной перфорации (ГПП) и разрыве пласта из них. При выполнении ГПП энергия давления смеси жидкости и песка в колонне НКТ трансформируется в кинетическую энергию скоростной струи [9].

В образованной полости скорость струи снижается, статическое давление в полости возрастает, и при определенных параметрах струи и давления в кольцевом пространстве происходит инициация образования трещины [10]. Иницируемые из серии отверстий перфоратора трещины формируют общую трещину, поэтому путем соответствующего размещения перфорационных отверстий обеспечивается возможность точного позиционирования интервала начала развития трещины (рис. 5).

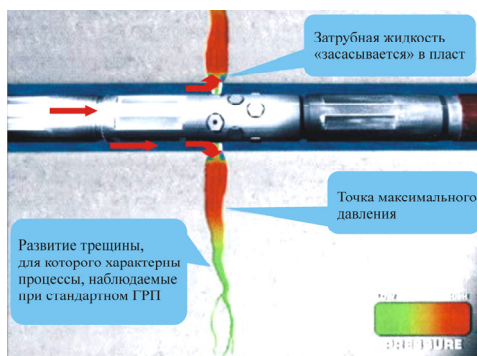


Рис. 5. Схема проведения ГПП + ГРП в скважине

Давление в полостях каверн при «струйном» ГРП максимально, жидкость из них распространяется в образующейся трещине, давление снижается из-за тре-

ния о стенки трещины. В результате давление в трещине, в зоне ее контакта с перфорационными отверстиями, устанавливается выше бокового горного давления и часть жидкости из трещины поступает обратно в колонну скважины, повышая в ней давление. С другой стороны, в зоне окон «струйного» нагнетания жидкости, создается разрежение (эффект эжекции) и часть жидкости из затрубья вовлекается в полость (см. рис. 5).

Таким образом, между отверстиями перфорации и окнами эжекции в колонне образуется циркуляционный поток жидкости. При давлении в затрубье выше бокового горного, когда ширина трещины у ствола скважины в зоне перфорации достаточно большая, этот поток способен выносить частицы нагнетаемого проппанта из трещины в колонну, приводя к их осаждению и образованию пробок. При низком давлении в затрубье трещина в зоне интервала перфорации сжимается и проппант намывается в ней, заполняя все свободное пространство, что способствует формированию высокопроводящей трещины [11].

Основной особенностью проведения «струйного» ГРП в горизонтальной скважине является возможность образования вертикальной трещины вдоль или поперек ствола (рис. 6). Для инициации трещины поперек ствола используется перфоратор с размещением насадок по его радиусу, диаметр их отверстий определяется проектным расходом жидкости при проведении гидроразрыва. При необходимости образования трещины вдоль ствола насадки перфоратора располагаются в одной плоскости с фазировкой 180° , в скважине плоскость размещения насадок должна быть ориентирована вертикально.

В вертикальной скважине при расположении насадок в плоскости, параллельной оси НКТ, попарно ориентированными в разные стороны в ходе ГРП инициируется вертикальная трещина в противоположных сторонах обсадной

колонны. В горизонтальной скважине при размещении насадок по радиусу перфоратора образуется трещина, перпендикулярная стволу, а при размещении насадок по длине перфоратора – в плоскости оси ствола (рис. 6). Это обеспечивает высокую вероятность начальной ориентации плоскости трещины в плоскости расстановки сопел перфоратора, т.е. создает условия для реализации направленного ГРП [12].

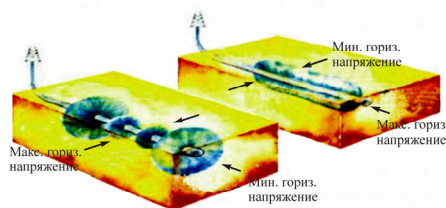


Рис. 6. Схема развития трещины ГРП в зависимости от фильтрационной части горизонтальной скважины относительно естественного поля напряжений продуктивного пласта (перпендикулярно оси ствола и по оси ствола)

Методика предварительного выбора горизонтальных скважин-кандидатов для проведения «струйных» ГРП

Применение ГРП как элемента системы разработки, т.е. создание гидродинамической системы скважин с трещинами гидроразрыва, дает увеличение темпа отбора извлекаемых запасов, повышение коэффициента извлечения нефти. Это происходит за счет вовлечения в активную разработку слабодренлируемых зон и пропластков и увеличения охвата заводнением, а также позволяет вводить в разработку залежи с потенциальной производительностью скважин в 2–3 раза ниже уровня рентабельной добычи и, следовательно, переводить часть балансовых запасов в промышленные [13].

Анализ результатов внедрения ГРП в скважинах с горизонтальным окончанием показывает, что этот метод обычно применяют в изолированно выбираемых добывающих скважинах. Проектирование проведения ГРП на объекте должно

осуществляться на основе комплексного гидродинамического анализа процесса разработки с моделированием гидроразрывов в конкретных скважинах. При принятии решения о проведении ГРП в скважине с горизонтальным стволом крайне редко рассматривается эффективность этого мероприятия с учетом всей пластовой системы и расстановки добывающих и нагнетательных скважин. Возможно, с этим связаны негативные последствия применения ГРП в ГС, отмечаемые в некоторых случаях [5, 6].

Выбор ГС для проведения ГРП и оптимизация параметров трещин, обеспечивающих баланс между фильтрационными характеристиками пласта и трещины, должны осуществляться с учетом геолого-физических свойств объекта, распределения напряжений в пласте, определяющего ориентацию трещин, системы заводнения и расстановки скважин [14]. Определяющими факторами успешности ГРП становятся: правильный выбор объекта для проведения операций, использование технологий гидроразрыва, оптимальных для данных условий, и обоснованный подбор скважин для обработки.

При проведении ГРП необходимо предусмотреть комплекс промысловых исследований на первоочередных скважинах для определения местоположения, направления и проницаемости трещин, что позволит внести корректировку в технологию ГРП с учетом особенностей каждого конкретного объекта.

Общепринятый подход к оценке эффективности гидроразрыва в вертикальной скважине, который состоит в анализе динамики добычи нефти только обработанных скважин, при этом за базовые принимают дебиты до ГРП, а дополнительная добыча рассчитывается как разница между фактической и базовой добычей по данной скважине, не может быть использован при определении успешности ГРП для скважины с горизонтальным окончанием [1]. Эффект от проведения ГРП неодинаково проявляется

в работе отдельных скважин, поэтому необходимо рассматривать не только прирост дебита каждой скважины вследствие гидроразрыва, но и влияние взаимного расположения скважин, конкретного распределения неоднородности пласта, энергетических возможностей объекта и др. Поэтому ГРП должен осуществляться с учетом вышеперечисленных факторов в скважинах с горизонтальным окончанием.

При промышленной реализации ГРП предварительно необходимо составление проектного документа, в котором была бы обоснована технология ГРП, увязанная с системой залежи в целом. Необходим систематический авторский надзор за внедрением ГРП, что позволит принимать оперативные меры для повышения его эффективности [9].

Практика применения ГРП и научно-исследовательские работы показывают, что эффект от проведения ГРП неодинаково проявляется в работе отдельных скважин, поэтому необходимо рассматривать не только прирост дебита каждой скважины вследствие гидроразрыва, но и влияние интерференции скважин, неоднородности пласта, энергетических возможностей объекта и др. Выбор скважин для обработок и оценка эффективности ГРП должен осуществляться не бессистемно, а на основе детального изучения гидродинамики процесса разработки участка пласта или месторождения в целом [5]. При проектировании разработки месторождений в низкопроницаемых коллекторах необходимо рассматривать вариант с применением ГРП. «Регламент составления проектных технологических документов на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений» предусматривает создание и использование цифровой физически-содержательной геолого-технологической модели объекта, позволяющей учитывать механизм проектируемых процессов разработки. Это наиболее актуально в настоящее время при проведении поин-

тервальных гидроразрывов пласта в горизонтальных скважинах, способных наиболее интенсивно вовлечь в процесс дренирования значительные объемы пласта. В связи с этим рекомендуется применение методики, наиболее полно учитывающей факторы влияния на эффективность ГРП – такие, как геология объекта воздействия, сложившаяся система разработки.

Комплекс работ по «струйному» ГРП в скважинах с горизонтальным окончанием производится в следующем порядке:

1) выбор скважин для проведения «струйных» ГРП и обоснование типа трещин ГРП для горизонтальных скважин (параллельные или перпендикулярные стволу);

2) обоснование интервалов ствола, из которых необходимо создание трещин ГРП;

3) определение геометрических параметров создаваемых трещин и оценка степени их влияния на продуктивность прослоев, в пределах которых они созданы;

4) проектирование технологии проведения «струйного» ГРП, разработка плана работ;

5) выполнение операций в соответствии с утвержденным планом.

Комплексный подход к проектированию ГРП требует рассмотрения этой технологии не только как средства обработки призабойной зоны скважин, но и как элемента системы разработки. Разработанная методика позволяет учесть эту особенность и охватывает основные этапы проведения «струйного» ГРП:

1. Предварительный выбор объектов-кандидатов для проведения «струйных» ГРП в скважинах – осуществляется с учетом геолого-физических свойств на основе следующих критериев:

– выработанность извлекаемых запасов не должна превышать 30 %;

– учет неоднородности пласта по простиранию и расчлененность по толщине, обеспечивающие высокую эффективность гидроразрыва за счет приобщения

к разработке зон и пропластков, не дренируемых ранее;

– запас пластовой энергии и эффективная нефтенасыщенная толщина пласта, достаточные для значительного и продолжительного увеличения дебитов скважин после гидроразрыва и, следовательно, обеспечивающие окупаемость затрат на проведение ГРП;

– нефтенасыщенная толщина пласта должна быть не менее 3 м;

– отношение текущего пластового давления к начальному при проведении ГРП должно быть не менее 0,9;

– при проведении опытных работ толщина перекрывающих и подстилающих глинистых прослоев для проведения селективного разрыва интервала пласта должна быть не менее 3 м;

– фактические режимы работы скважин должны быть значительно ниже ожидаемых;

2. Обоснование интервалов ствола, из которых необходимо создание трещин ГРП.

Основным назначением «струйных» ГРП в горизонтальных и наклонно-направленных скважинах является интенсификация дренирования отдельных слабо работающих интервалов пласта и исключение при проведении ГРП вскрытия трещиной водо- и газонасыщенных слоев. Выявление этих интервалов в работающих скважинах осуществляется на основе исследования профилей притока, анализа потенциального и фактического дебитов скважины, динамики обводнения ее продукции; в скважинах после бурения – на основе интерпретации данных геофизических исследований [11]:

– проведение термогидродинамических исследований скважин по многодатчиковой технологии стационарной термометрии с использованием струйного насоса (данная технология описана в работах);

– интерпретация результатов термометрии и обработка индикаторных диа-

грамм и кривых восстановления давления проводятся согласно опубликованным работам;

– определение высокопроницаемых и низкопроницаемых прослоев;

– оценка притока из выделенных прослоев по стволу скважины: наиболее перспективными являются пропластки с наиболее низкой проницаемостью и слабым притоком, которые после создания гидроразрыва обеспечат приток и выработку, аналогичную работающим интервалам.

3. Определение геометрических параметров создаваемых трещин и оценка степени их влияния на продуктивность прослоев, в пределах которых они созданы, осуществляется в следующей последовательности:

– определение направлений локальных напряжений;

– по результатам определения максимального и минимального главного напряжений – определение ориентации трещин в ГС;

– с учетом расположения нагнетательных и добывающих скважин на участке предварительно определяется перераспределение фильтрационных потоков при создании трещин в горизонтальном стволе в направлении, параллельном минимальному главному напряжению;

– расчет по аналитическим зависимостям вариантов прогнозного дебита горизонтальной скважины с различным количеством и длинами трещин гидроразрыва;

– создание (если нет) и расчет наиболее оптимальных вариантов, полученных по результатам аналитических расчетов на постоянно действующей геологическо-технологической модели планируемого участка пласта;

– анализ результатов, выбор наиболее оптимального варианта поинтервального ГРП с технологической, технической и экономической сторон.

Технологии для планирования или определения ориентации трещин могут быть

классифицированы на активные технологии (используют проведение наклономера или скважинные сейсмические инструменты), технологии каротажа (используют забойные телевизоры) и пассивные технологии определения направления трещин (используют анализ ориентированного отобранного керна). Активные технологии прослеживают геофизические свойства трещины на большие расстояния. Таким образом, активные технологии обычно имеют большой радиус исследования, который может быть в пределах от 3 до 455 м от скважины. Технологии, использующие каротаж или предварительный отбор керна, характеризуются радиусом исследования, ограниченным скважиной или областью, прилегающей к скважине. Большинство технологий прогноза основано на концепции, что максимальные главные горизонтальные напряжения определяют ориентацию вертикальных трещин. Ориентация может быть определена исследованием анизотропии упругих или механических свойств керна. Технологии использования каротажа могут быть как пассивными, при использовании таких каротажных данных, как данные удлинения ствола скважины, так и активными, как, например, при использовании телевизионного наблюдения гидравлической трещины в необсаженном стволе скважины [6].

Только детальный гидродинамический анализ и математическое моделирование участка пласта или объекта в целом позволяет проанализировать влияние распределения неоднородности пласта и интерференции скважин, определить параметры и оптимальное размещение трещин гидроразрывов в горизонтальном стволе на объекте. Наиболее высокая эффективность ГРП может быть достигнута при проектировании его применения как элемента системы разработки с учетом системы размещения скважин и оценки их взаимовлияния [11].

В связи с этим рекомендуется использовать настоящую методику:

– для обоснования выбора скважин с горизонтальным окончанием для проведения гидроразрыва пласта;

– обоснования рекомендуемых параметров трещин (размеров и проводимости);

– прогнозирования технологических показателей разработки с применением ГРП;

– осуществления комплексной оценки эффективности ГРП для объекта разработки в целом.

Данная методика может служить инструментом для выбора скважин для проведения гидроразрыва пласта как на стадии предварительного анализа [15], так и на стадии детального геолого-гидродинамического моделирования.

Список литературы

1. Сучков Б.М. Горизонтальные скважины. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. – 438 с.
2. Бердин Т.Г. Проектирование разработки нефтегазовых месторождений системами горизонтальных скважин. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 196 с.
3. Вскрытие продуктивных пластов горизонтальными скважинами / Н.Ф. Кагарманов, М.Р. Давлетбаев, В.Х. Самигуллин, Р.С. Шайнуров, Р.Х. Юмашев, Р.М. Гилязов. Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 1996. – С. 63.
4. Особенности добычи нефти и газа из горизонтальных скважин: учеб. пособие / Г.П. Зозуля, А.В. Кустышев, И.С. Матиешин, М.Г. Гейхман, Н.В. Инюшин; под ред. Г.П. Зозули. – М.: Академия, 2009. – 176 с.
5. ГРП в горизонтальных скважинах с открытым стволом на месторождениях Западной Сибири / А.В. Бровчук, И.Р. Дияшев, А.В. Липлянин, Д. Грант, Д. Усольцев, К.К. Бутула // Oil and Gas Technical Conference and Exhibition held: тр. междунар. конф., Москва, 3–6 октября 2006. – М., 2006.
6. Hydraulic Fracture Geometry Investigation for Successful Optimization of Fracture Modeling and Overall Development of Jurassic Formation in Western Siberia / A. Nikitin, A. Yudin, I. Latypov, A. Haidar, G. Borisov // Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition, 4–6 August 2009, Jakarta, Indonesia. SPE 121888-MS. – Jakarta, 2009.
7. Thermally induced fractures: a field proven analytical model / J. Detienne, M. Creusot, N. Kessler, B. Sahuquet, J-L. Bergerot // SPE Reservoir Evaluation and Engineering. – 1998. – Febr. – P. 30–35.
8. Evaluation of Refracure Reorientation in Both Laboratory and Field Scales / H. Liu, Z. Lan, G. Zhang [et al.] // SPE 112445. – Louisiana, USA.
9. Сучков Б.М. Интенсификация работы скважин. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – 612 с.
10. Васильев В.А., Гунькина Т.А. Единый подход к расчету зоны дренирования скважинами различной конфигурации // Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 4.
11. Cinco-Ley H., Samaniego-V.F. Transient A / Pressure Analysis for Fractured Wells // JPT. – 1981. – Sept. – P. 1749–1766.
12. McGuire W.J., Sikora V.T. The Effect of Vertical Fractures on Well Productivity // JPT. – 1960. – Oct. – P. 72–74.
13. Акульшин А.И. Эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. – М.: Недра, 1989.
14. Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1990.
15. Li P. Theoretical Study on Reorientation Mechanism of Hydraulic Fractures // SPE 105724.

References

1. Suchkov B.M. Horizontal'nye skvazhiny [Horizontal wells]. Izhevsk, 2006. 438 p.
2. Berdin T.G. Proektirovanie razrabotki neftegazovykh mestorozhdenij sistemami gorizontaľnykh skvazhin [Designing oil and gas development systems of horizontal wells]. Moscow: Nedra-Biznescentr, 2001. 196 p.
3. Kagarmanov N.F., Davletbaev M.R., Samigullin V.X., Shajnurov R.S., Yumashev R.X., Gilyazov P.M. Vskrytie produktivnykh plastov gorizontaľnymi skvazhinami [Opening of productive layers with horizontal wells]. *Mezhvuzovskij tematiceskij sbornik nauchnykh trudov Ufimskogo gosudarstvennogo nefjano go tehnicheskogo universiteta*, 1996, p. 63.

4. Zozulya G.P., Kustyshev A.V., Matieshin I.S., Gejxman M.G., Inyushin N.V. Osobennosti dobychi nefi i gaza iz gorizonta'nyx skvazhin: ucheb. posobie [Features of oil and gas production from horizontal wells]. Moscow: Akademiya, 2009. 176 p.
5. Brovchuk A.V., Diyashev I.R., Liplyanin A.V., Grant D., Usol'cev D., Butula K.K. GRP v gorizonta'nyx skvazhinax s otkrytym stolom na mestorozhdeniyax Zapadnoj Sibiri [Hydraulic fracturing in horizontal wells with open hole in the fields of Western Siberia]. *Oil and Gas Technical Conference and Exhibition held*. Moscow, 2006.
6. Nikitin A., Yudin A., Latypov I., Haidar A., Borisov G. Hydraulic Fracture Geometry Investigation for Successful Optimization of Fracture Modeling and Overall Development of Jurassic Formation in Western Siberia. *Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition. SPE 121888-MS*. Jakarta, 2009.
7. Detienne J., Creusot M., Kessler N., Sahuquet B., Bergerot J-L. Thermally induced fractures: a field proven analytical model. *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*, 1998, Febr., pp. 30–35.
8. Liu H., Lan Z., Zhang G. Evaluation of Refracture Reorientation in Both Laboratory and Field Scales. *SPE 112445*. Louisiana, USA.
9. Suchkov B.M. Intensifikaciya raboty skvazhin [Intensification of well operation]. Izhevsk, 2007. 612 p.
10. Vasil'ev V.A., Gun'kina T.A. Edinyj podxod k raschetu zony drenirovaniya skvazhinami razlichnoj konfiguracii [A unified approach to the calculation of drainage area wells of different configurations]. *Neftepromyslovoe delo*, 2013, no. 4, p. 5.
11. Cinco-Ley H., Samaniego-V.F. Transient A / Pressure Analysis for Fractured Wells. *JPT*, 1981, pp. 1749–1766.
12. McGuire W.J., Sikora V.T. The Effect of Vertical Fractures on Well Productivity. *JPT*, 1960, pp. 72–74.
13. Akul'shin A.I. E'kspluataciya neftyanix i gazovyx mestorozhdenij [Exploitation of oil and gas fields]. Moscow: Nedra, 1989.
14. Bojko V.S. Razrabotka i e'kspluataciya neftyanix mestorozhdenij [Development and exploitation of oil fields]. Moscow: Nedra, 1990.
15. Li P. Theoretical Study on Reorientation Mechanism of Hydraulic Fractures. *SPE 105724*.

Сведения об авторах

Васильев Владимир Андреевич (Ставрополь, Россия) – кандидат технических наук, и.о. заведующего кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета (355000, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 16/1).

Верисокин Александр Евгеньевич (Ставрополь, Россия) – студент Института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета (355000, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 16/1; e-mail: verisokin.aleksandr@mail.ru).

About the authors

Vasil'ev Vladimir Andreevich (Stavropol, Russia) – candidate of technical science, acting head of the development and exploitation of oil and gas fields department, Oil and Gas Institute, North-Caucasian Federal University (355000, Stavropol, Kulakov ave., 16/1).

Verisokin Aleksandr Evgen'evich (Stavropol, Russia) – student, Oil and Gas Institute, North-Caucasian Federal University (355000, Stavropol, Kulakov ave., 16/1; e-mail: verisokin.aleksandr@mail.ru).

Получено 28.02.2013