

УДК 622.276.66.001.24

ОПЫТ АНАЛИЗА И ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ТРЕЩИНЫ НА ПЛАСТЕ АС12 ПРИОБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Никитин А.Н.

ООО «РН-Юганскнефтегаз», г. Нефтеюганск

Латыпов И.Д.¹, Хайдар А.М.², Борисов Г.А.³

ООО «РН-УфаНИПИнефть», г. Уфа

e-mail: ¹latypovid@ufanipi.ru, ²haidaram@ufanipi.ru, ³borisovga@ufanipi.ru

Пестриков А.В., Колесников А.А.

ОАО «НК «Роснефть», г. Москва

Аннотация. *Определение геометрии трещины ГРП является одной из самых сложных и актуальных задач. Геометрия трещин ГРП, рассчитанная специалистами подрядных организаций зачастую отличается от фактической, что сильно отражается на проектировании систем разработки и оптимизации систем поддержания пластового давления. Увеличить точность определения геометрии трещины позволила корреляционная модель механических свойств горных пород на основе данных специального набора ГИС. В работе также даны рекомендации по подбору скважин-кандидатов под исследования методом кроссдипольного акустического каротажа.*

Ключевые слова: *гидравлический разрыв пласта, акустический каротаж, плотностной каротаж, геомеханические свойства, горизонтальное напряжение, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, геометрия трещины ГРП*

Введение

Применение акустических методов исследования для определения геометрии трещины ГРП получило в настоящее время широкое распространение. За последние несколько лет на Приобском месторождении было проведено более 20 работ кроссдипольного акустического каротажа. Кроссдипольный акустический каротаж в настоящее время является наиболее достоверным способом исследования геометрии трещины ГРП.

Анализ распространения скорости поперечной волны позволяет определять анизотропию распространения скорости по направлению, а также определить, чем обусловлена наблюдаемая разница – концентрацией напряжений в прискважинной зоне или свойствами пород. Совокупность этих данных с дополнительной информацией, такой как направления максимального и минимального горизонтального стресса и значений минимальных горизонтальных напряжений в пласте и седи-

ментологический анализ неоднородности позволяет получить внутренне устойчивую модель распределения напряжений геологической среды, которая объясняет анизотропию акустических скоростей.

Целью проведенных исследований являлось оценка достигнутой геометрии трещины ГРП и определение азимута распространения трещины на Приобском месторождении, разработка методики проведения исследований и определения границ применимости данного подхода. В работе также даны рекомендации по подбору скважин-кандидатов под исследования методом кроссдипольного акустического каротажа. Результаты получены в рамках проекта Системы новых технологий ОАО «НК «Роснефть».

1. Основные критерии выбора скважин-кандидатов для исследований

Важным вопросом в исследовании геометрии трещины ГРП является получение достоверных данных кроссдипольного акустического каротажа. Несмотря на очевидные преимущества, этот метод имеет ряд существенных ограничений на выбор скважин кандидатов для проведения исследований. Основной сложностью исследований скважин на этом месторождении являются их многопластовость и наклоннонаправленность.

Разработка Приобского месторождения ведется совместно, добыча нефти происходит одновременно с пластов АС₁₀, АС₁₁, АС₁₂, и большая часть скважин месторождения являются многопластовыми. На таких скважинах измерение геометрии закрепленной трещины оказывается возможным лишь при достаточно большом расстоянии между пластами. Однако, во время проведения ГРП на разные пласты одной и той же скважины, возможен больший по сравнению с расчетным рост трещины в высоту, что помимо резкого повышения давления во время ГРП и преждевременной остановки закачки [1] может привести к пересечению трещин в ПЗП, и это, в свою очередь, делает невозможным исследование высоты трещины каждой стадии ГРП. В этом случае результаты интерпретации могут отражать лишь общую высоту разрушенной части и выделить каждый гидроразрыв отдельно не представляется возможным.

Одним из моментов, снижающих достоверность исследований, является наклон ствола скважины в продуктивной зоне пласта. При отсутствии исследова-

ний гироскопа интерпретация азимута распространения трещины происходит с учетом данных инклинометрии, Азимут распространения трещины ГРП определяется в первую очередь относительно ориентации скважины. Известно, что данные азимута скважины по инклинометрии малодостоверны на вертикальных участках ствола. Поэтому при отсутствии исследований гироскопа для корректного определения азимута распространения трещины угол наклона скважины должен составлять не менее 3 градусов. С другой стороны высокий угол наклона скважины не позволяет достоверно определить высоту трещины в случае роста ее в высоту. Для наглядности достаточно сказать, что в предельном случае – горизонтальной скважине, измерение высоты трещины невозможно, а в строго вертикальной скважине прибор «покажет» границы закрепленной трещины с максимальной точностью, естественно, если трещина развивается в вертикальной плоскости. Задачи исследования азимута распространения трещины ГРП и ее высоты без использования гироскопа ограничивают друг друга: для определения азимута мы нуждаемся в наклоне скважины, для определения высоты – в ее вертикальности.

Из несложных геометрических соображений с учетом глубины метода можно рассчитать **максимальную регистрируемую высоту**:

$$Ht_{\text{макс}} = \frac{2r \cos \beta}{\sin \alpha \sin \beta}, \quad (1)$$

где r – глубина исследования прибора; β – угол наклона ствола скважины в интервале исследования; α – угол между азимутом ствола скважины и азимутом распространения трещины.

Сопоставляя результаты определения высоты, основанной на измерении поляризационных акустических каротажей, и расчет **максимальной регистрируемой высоты** можно определить достоверность данных. Для быстрой оценки достоверности определения высоты трещины можно пользоваться палеткой (рис. 1), построенной по формуле для максимальной регистрируемой высоты.

Наряду с вышеперечисленными ограничениями возможно получение недостоверных и некорректных данных из-за технического состояния скважины, к которым, например, относятся пересыпка забоя после проведения ГРП, что делает невозможным спуск прибора, отсутствие сцепления между пластом и колонной. Эти факторы делают невозможным корректную запись кроссдипольного акустического каротажа.

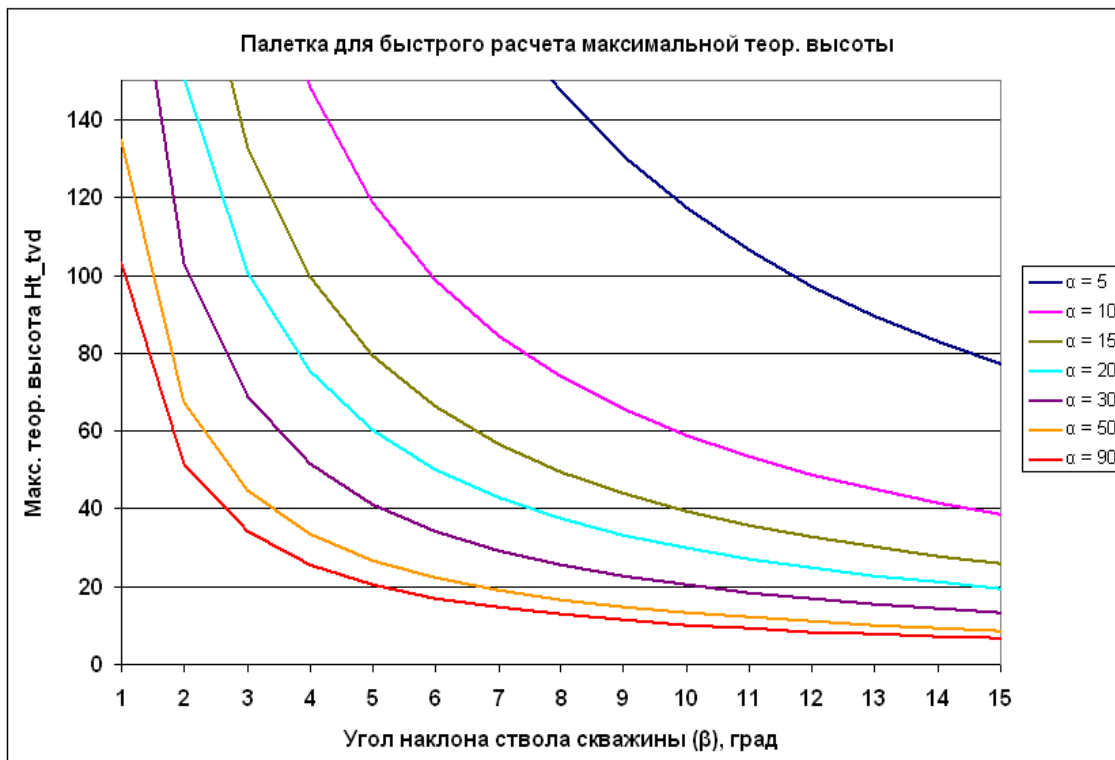


Рис. 1. Палетка для расчета максимальной регистрируемой высоты.
Рассчитана для глубины исследования прибора 0,9 м.

2. Построение геомеханических свойств породы в разрезе пласта АС₁₂ Приобского месторождения ООО "РН-Юганскнефтегаз"

Комплексная адаптация для построения геомеханической модели была проведена при анализе ГРП, проведенного на скважине №5466 Приобского месторождения ООО "РН-Юганскнефтегаз". Выбор именно этой скважины не случаен, т.к. помимо требуемых специальных ГИС после операции ГРП проводились исследования для определения геометрии трещины, что позволило окончательно откалибровать модель горизонтальных напряжений по высоте созданной трещины ГРП.

Перед проведением операции ГРП на данной скважине проводились плотностной и поляризационный акустический каротажи. Также надо отметить, пласт АС₁₂ Приобского месторождения охвачен достаточно большим объемом исследований механических свойств керна, и, следовательно, по данному объекту разработки определена корреляционная зависимость между динамическими и статическими механическими свойствами пород (Модуль Юнга, коэф. Пуассона). Благодаря

этому, вертикальное напряжение и профиль статических геомеханических параметров разреза были рассчитаны с достаточной точностью.

Процесс проектирования дизайна ГРП и анализа производства скважино-операции достаточно подробно описан в работе [2, 3, 4]. При анализе ГРП на рассматриваемой скважине параметрами адаптации также являлись только коэффициенты порозластичности и утечек.

Опуская этапы анализа данных ГРП и, переходя к полученным результатам надо отметить, что для совпадения расчетной кривой и КПД основного ГРП был скорректирован профиль коэффициентов порозластичности (что повлекло изменение профиля горизонтальных напряжений) и увеличены коэффициенты утечек. При этом значения модулей Юнга и коэффициентов Пуассона, полученные по данным ГИС и исследованиям керна не менялись.

Кроме того, на анализируемой скважине после операции ГРП был проведен повторный поляризационный акустический каротаж, который позволил определить высоту трещины ГРП.

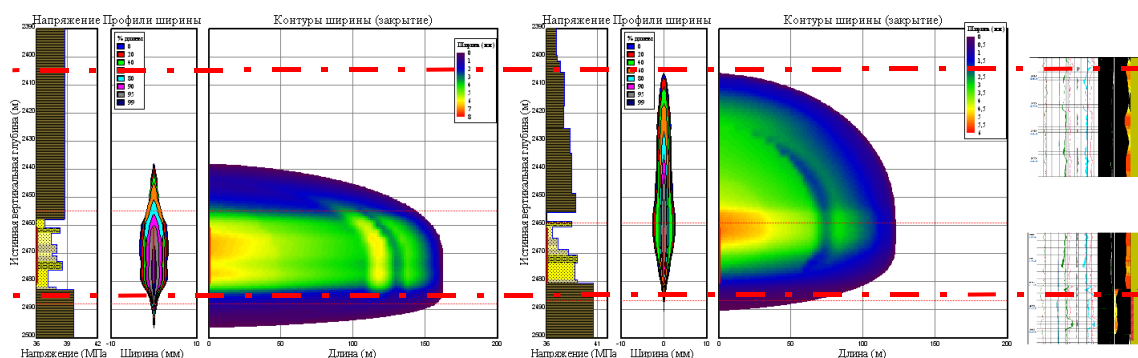


Рис. 2. Геометрия трещины по данным подрядчика (слева), анализу ГРП с учетом данных ГИС (в центре), по данным исследований высоты трещины (справа)

Как видно из рис. 2, глубины и высота трещины, полученной по модели, построенной с учетом данных ГИС с достаточной точностью (погрешность менее 10 %) совпадает с независимыми исследованиями определения высоты трещины.

На рис. 3 приведено сравнение одномерных геомеханических моделей использованных авторами и подрядчиком, выполнявшим ГРП на данной скважине.

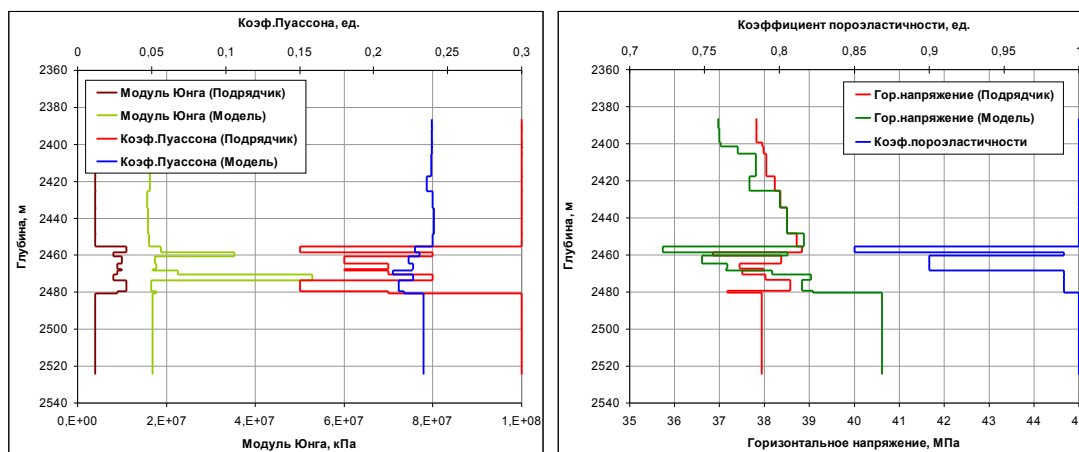


Рис. 3. Сравнение профилей геомеханических свойств, используемых подрядчиком и полученных в результате адаптации модели с учетом ГИС

Как было отмечено в [2], истинность того или иного профиля геомеханических свойств, полученного в результате адаптации кривых давления закачки может быть подтверждена или опровергнута результатами проведения независимых исследований для определения геометрии трещины. На скважине №5466 Приобского месторождения ООО "РН-Юганскнефтегаз" подобные исследования были проведены. Что подтвердило степень достоверности проведенных расчетов.

3. Влияние плотных пород на оценку высоты трещины ГРП.

К особенностям проведения кроссдипольного акустического каротажа можно отнести характерное поведение кривых записи каротажа в плотных породах (рис. 4). Как видно из рисунка, трещина полностью расположена между плотными породами. В данном случае дать однозначную интерпретацию сложно, поскольку средняя загрузка проппанта на метр высоты трещины (4,7 т/м) отличается от средних значений соседних скважин по пласту АС₁₂ (1,1 т/м). Этот факт наиболее вероятно говорит о росте трещины в высоту в зоне дальней от ствола, что обуславливается пространственной неоднородностью плотных пород, либо о высокой удерживающей способности плотных пород и эффективном размещении проппанта, что мало вероятно.

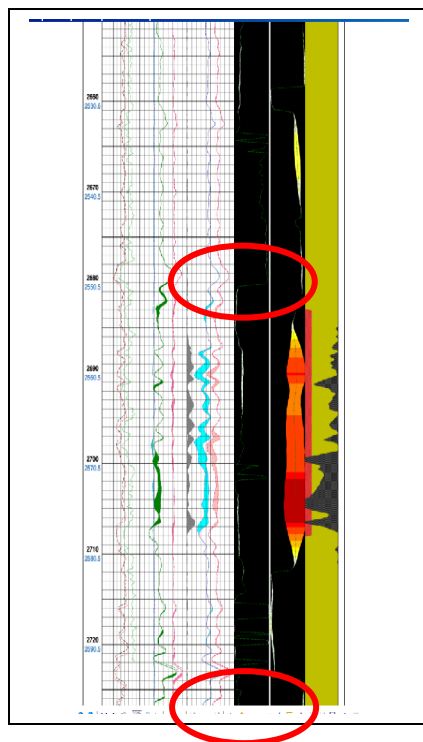


Рис. 4. Выделение плотных пород. Скважина 6518.
Пласт АС₁₂ Приобского месторождения.

Выводы

1. При отсутствии исследований гироскопа для достоверного определения азимута трещины ГРП при помощи кроссдипольного акустического каротажа угол наклона ствола скважины должен составлять более 3 градусов. Для определения высоты трещины необходимо также учитывать угол наклона скважины: одновременное достоверное определение высоты и азимута трещины ГРП возможно при угле ствола скважины 3-4 градуса и сонаправленности азимута скважины, ориентировочному азимуту развития трещины ГРП.

2. Достоверные результаты интерпретации кроссдипольного акустического каротажа для определения геометрии трещины в многопластовой скважине возможны при исключении перекрытия трещин между собой. Также важными являются факторы технического состояния скважины: текущий забой после ГРП, сцепление цемента с колонной.

3. Ретроспективный анализ геометрии трещины показал, что при применении методики восстановления геомеханических свойств можно увеличить точность в определении геометрии трещины до 80 % по высоте, до 3 раз по длине и ширине.

Литература

1. Хайдар А.М., Борисов Г.А., Горин А.Н., Латыпов И.Д. Анализ и классификация причин преждевременных остановок закачки при проведении гидравлического разрыва пластов // Нефтяное хозяйство. 2008. №11. С. 38-41.

2. Борисов Г.А., Латыпов И.Д., Хайдар А.М., Кузин И.Г., Степанов М.А.. Применение плотностного и поляризационного акустического каротажа для оптимизации гидравлического разрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2009. № 9. С. 98-101.

3. Афанасьев И.С., Никитин А.Н., Латыпов И.Д., Хайдар А.М., Борисов Г.А. Прогноз геометрии трещины гидроразрыва пласта. // Нефтяное хозяйство. 2009. №11. С. 62-66.

4. 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 // SPE Paper 121888 presented at the 2009 SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 4–6 August 2009.

THE EXPERIENCE OF FRACTURE GEOMETRY ANALYSIS AND INVESTIGATION ON AC12 LAYER OF PRIOBSKOYE FIELD

A.N. Nikitin

“RN-Uganskneftegas” LLC, Nefteyugansk, Russia

I.D. Latypov¹, A.M. Haidar², G.A. Borisov³

“RN-UfaNIPIneft” LLC, Ufa, Russia

e-mail: ¹latypovid@ufanipi.ru, ²haidaram@ufanipi.ru, ³borisovga@ufanipi.ru

A.V. Pestrikov, A.A. Kolesnikov

OJSC “Rosneft” Oil Company, Moscow, Russia

Abstract. *Hydraulic fracture geometry investigation is one of the most actual problems. The geometry of hydraulic fracture calculated by service companies often differs from actual one, that significantly affects the design of field development system and optimization of reservoir pressure maintenance system. Correlation model of the geomechanical properties of rocks on basis of special set of loggings, which application can increase the accuracy of the fracture geometry prediction, is considered. Recommendations of well candidate selection for acoustic logging are given.*

Keywords: *hydraulic fracturing, acoustic logging, density logging, geomechanical properties, horizontal stress, Young modulus, Poisson coefficient, hydraulic fracture geometry*

References

1. Khaidar A.M., Borisov G.A., Gorin A.N., Latypov I.D. Analiz i klassifikatsiya prichin prezhdevremennykh ostanovok zakachki pri provedenii gidravlicheskogo razryva plastov (Analysis and classification of the causes of premature stop pumping when the hydraulic fracturing). Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry, 2008, Issue 11, pp. 38-41.
2. Borisov G.A., Latypov I.D., Khaidar A.M., Kuzin I.G., Stepanov M.A.. Primenenie plotnostnogo i polarizatsionnogo akusticheskogo karotazha dlya optimizatsii gidravlicheskogo razryva plasta (Application of density and acoustic logging to optimize hydraulic fracturing). Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry, 2009, Issue 9, pp. 98-101.
3. Afanas'ev I.S., Nikitin A.N., Latypov I.D., Khaidar A.M., Borisov G.A. Prognoz geometrii treshchiny gidrorazryva plasta (Forecast fracture geometry of the hydraulic fracturing). Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry, 2009, Issue 11, pp. 62-66.

4. 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 // SPE Paper 121888 presented at the 2009 SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition held in Jakarta, Indonesia, 4–6 August 2009.