

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРИТОКА ПРОДУКЦИИ В СКВАЖИНАХ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

УДК 622.279.6

А.Ю. Корякин, ООО «Газпром добыча Уренгой» (Новый Уренгой, РФ),

a.u.koryakin@gd-urengoy.gazprom.ru

Д.В. Дикамов, ООО «Газпром добыча Уренгой», d.v.dikamov@gd-urengoy.gazprom.ru

М.Г. Жариков, к. т. н., ООО «Газпром добыча Уренгой»,

m.g.zharikov@gd-urengoy.gazprom.ru

А.Н. Нестеренко, к. т. н., ООО «ТюменНИИгипрогаз» (Тюмень, РФ), Nesterenko@tngg.ru

В.П. Тюрин, ООО «ТюменНИИгипрогаз», tyurinvp@tngg.ru

Ю.П. Пеливанов, ООО «ТюменНИИгипрогаз», PelivanovJP@tngg.ru

А.С. Самойлов, к. т. н., ООО «ТюменНИИгипрогаз», samoylovas@tngg.ru

Ачимовские отложения Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (УНГКМ) являются перспективным объектом разработки для ООО «Газпром добыча Уренгой». Одной из основных особенностей этих отложений является низкая проницаемость коллекторов. Поэтому высокие технологические показатели разработки обеспечиваются при проведении работ по гидроразрыву пласта (ГРП). В настоящее время этот способ интенсификации притока продукции применен практически на всех скважинах ачимовских горизонтов эксплуатационного фонда. В статье представлены результаты совершенствования технологии ГРП, рассмотрены проблемы при внедрении этой технологии и при последующей эксплуатации скважин. Важной задачей при выполнении работ по интенсификации притока продукции являются обеспечение продолжительного эффекта от мероприятия и равномерная отработка объектов эксплуатации. Представлены обзор современных технологий ГРП для наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

Результаты внедрения показали высокую эффективность предложенных технических решений по проведению ГРП. Перспективным направлением повышения технологической эффективности выработки запасов углеводородов в условиях разработки низкопроницаемых коллекторов является бурение горизонтальных скважин с многостадийным ГРП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА, ПРОПАНТ, НИЗКОПРОНИЦАЕМЫЙ ПЛАСТ, АЧИМОВСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ, ВЫРАБОТКА ЗАПАСОВ.

На сегодняшний день выработанность запасов газа сеноманской и валанжинской залежей УНГКМ составляет около 70 и 50 %, соответственно. Для поддержания текущих объемов добычи ООО «Газпром добыча Уренгой» приступило к освоению ачимовских отложений, характерной особенностью которых является низкая проницаемость коллекторов. Суммарные балансовые запасы на лицензионных участках, принадлежащих Обществу, составля-

ют более 1,5 трлн м³ сухого газа и почти 500 млн т конденсата.

В 2008–2009 гг. были введены в эксплуатацию УКПГ-31 и УКПГ-22 на первом и втором участках ачимовских отложений. На основании опыта бурения скважин в период опытно-промышленной эксплуатации было установлено, что скважины с вертикальным вскрытием пласта характеризуются небольшой площадью дренирования залежи. В ходе их эксплуатации необходимо было обеспечивать

высокие депрессии на пласт, что приводит к увеличению потерь конденсата в пласте. Поэтому для увеличения производительности скважин применен ГРП.

Опыт реализации этой технологии в ООО «Газпром добыча Уренгой» и другими недропользователями, разрабатывающими ачимовские отложения, выявил следующие основные проблемы:

- вынос пропанта из трещины и схлопывание трещины, что приводит со временем к снижению

Koryakin A.Yu., Gazprom dobycha Urengoy LLC (New Urengoy, RF), a.u.koryakin@gd-urengoy.gazprom.ru
Dikamov D.V., Gazprom dobycha Urengoy LLC, d.v.dikamov@gd-urengoy.gazprom.ru
Zharikov M.G., Ph.D. in Engineering Science, Gazprom dobycha Urengoy LLC, m.g.zharikov@gd-urengoy.gazprom.ru
Nesterenko A.N., Ph.D. in Engineering Science, TyumenNIIgiprogaz LLC (Tyumen, RF), Nesterenko@tngg.ru
Tyurin V.P., TyumenNIIgiprogaz LLC, tyurinvp@tngg.ru
Pelivanov Yu.P., TyumenNIIgiprogaz LLC, PelivanovJP@tngg.ru
Samoilov A.S., Ph.D. in Engineering Science, TyumenNIIgiprogaz LLC, samoylovas@tngg.ru

Product inflow stimulation in wells which operate low-permeable reservoir of the Achimovsk deposits

The Achimovsk deposits of the Urengoy Oil and Gas Condensate Field (UOGCF) are a promising development target for Gazprom Dobycha Urengoy LLC. One of the main peculiarities of these deposits is low permeability of collectors. That is why hi-tech development results are ensured when one carries out hydrofracturing. At present this method of product inflow stimulation is used at almost all Achimovsk deposits of the operating well stock.

The article presents the results of hydrofracturing technology improvement and reviews the problems with the implementation of this technology and subsequent operation of the well. When performing product inflow stimulation, an important objective is to provide for a positive effect from the action and an even refinement of operation facilities. One presents a review of modern hydrofracturing technologies for designer and horizontal wells.

The implementation results show high efficiency of the proposed technical solutions regarding hydrofracturing. A promising direction to increase the technological efficiency of hydrocarbon reserve recovery in the context of low-permeable collector development is the drilling of horizontal wells with multi-stage hydrofracturing.

KEY WORDS: HYDROFRACTURING, PROPPANT, LOW-PERMEABLE BED, ACHIMOVSK DEPOSITS, RESERVE RECOVERY.

эффекта от ГРП, образованию в скважине пробки, полностью либо частично перекрывающей интервал перфорации, и потере пластовой энергии (рис. 1);

- избыточная высота трещины, что приводит к формированию между пластами техногенного канала, перетока пластового флюида и неравномерной отработке многопластовых объектов.

Так, на ряде скважин, одновременно вскрывающих пласты Ач₃₋₄ и Ач₅, отмечается низкая степень участия пласта Ач₅ в выработке запасов. Одной из причин этого является наличие пробки пропанта, перекрывающей полностью либо частично интервал перфорации пласта Ач₅. Необходимо также отметить, что присутствие пробки в интервале перфорации

либо вблизи его затрудняет проведение глубинных исследований скважины.

Наиболее оптимальными вариантами предотвращения выноса пропанта из трещины ГРП являются применение пропанта с полимерным покрытием или цилиндрического пропанта. Полимерное покрытие под воздействием пластовой температуры

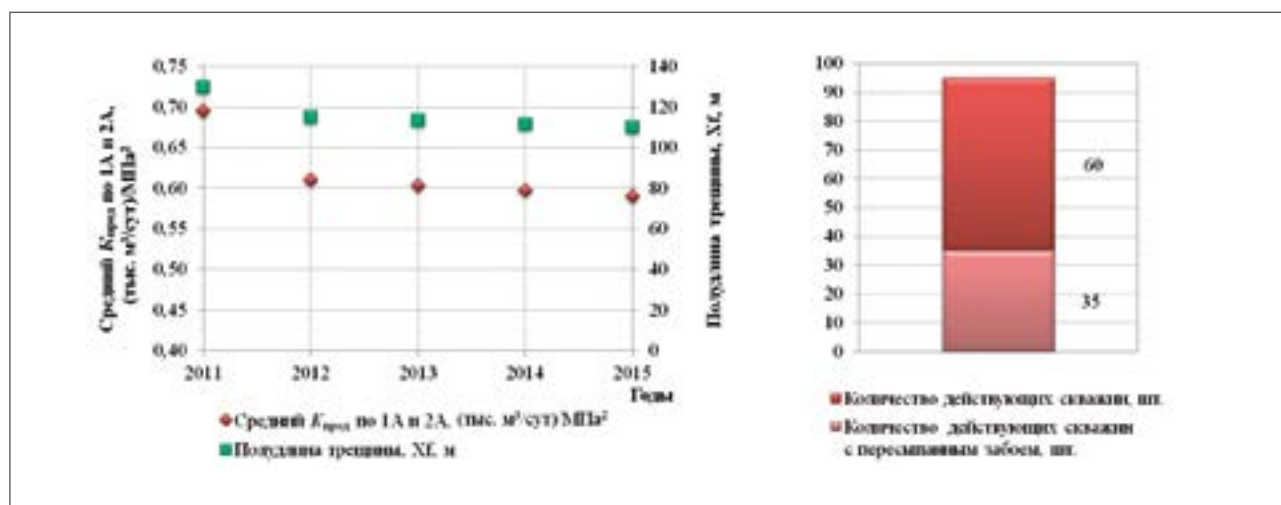


Рис. 1. Динамика изменения среднего значения коэффициента продуктивности по скважинам с ГРП и количество газоконденсатных скважин с пропантовой пробкой

скрепляет между собой зерна пропанта, благодаря чему создается консолидированная пропантовая пачка. К числу достоинств цилиндрического пропанта, помимо предотвращения выноса из трещины ГРП, относится улучшенная проницаемость пропантной пачки. Закачка цилиндрического пропанта не усложняет процесс проведения ГРП и не требует применения дополнительной техники.

Известны сравнительные результаты тестирования сферического и цилиндрического пропанта [1]. На рис. 2 представлены результаты тестов начальной проводимости для цилиндрического пропанта в сравнении с пропантами 16/20 средней прочности (ISP), 12/18 ISP с полимерным покрытием и пропантом 12/18 высокой прочности (HSP). Как видно из рисунка, цилиндрический пропант превосходит все протестированные пропанты на всем интервале приложенных напряжений.

СООБЩЕНИЕ ТРЕЩИН ГРП И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ ФЛЮИДА ИЗ НИЖЕЛЕЖАЩЕГО ПЛАСТА В ВЫШЕЛЕЖАЩИЙ ПЛАСТ

Есть множество примеров одновременной эксплуатации двух и более пластов. Так, в скважинах, вскрывающих ачимовские залежи УНГКМ, таким примером являются пласты A_{3-4} и A_5 , являющиеся самостоятельными объектами подсчета запасов. Ввиду низких значений проницаемости коллекторов ачимовских залежей практически во всех скважинах была проведена интенсификация притока методом ГРП.

На сегодняшний день списание запасов по вышеназванным объектам основывается на определении профиля притока. По результатам проведенных операций методами механической расходомерии установлено, что из одного объекта отсутствовала отработка в скважину, несмотря на проведенное мероприятие по ГРП.

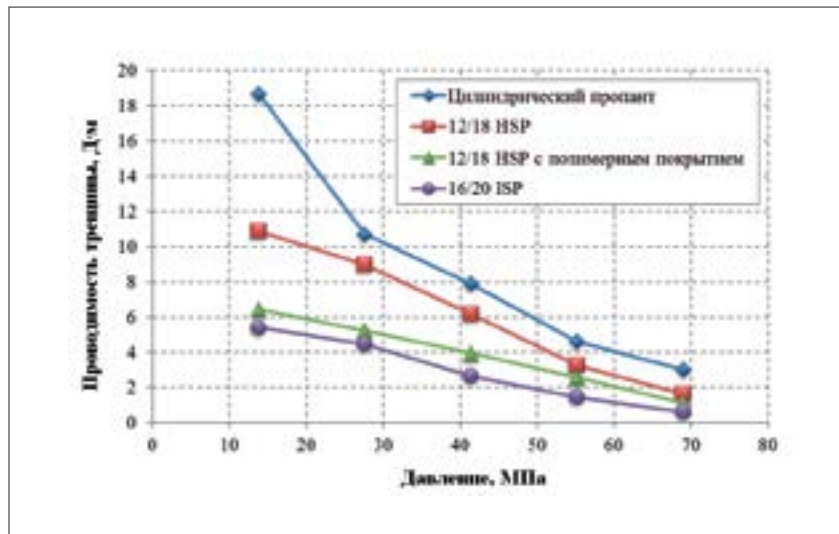


Рис. 2. Результаты долгосрочной проводимости трещины с цилиндрическим пропантом по сравнению со сферическим. Загрузка 9,8 кг/м², 121 °С, между керном песчаника Огайо с 2 % KCl (50 ч) [1]

На основе промысловых данных и результатов моделирования ГРП сформировано представление о наличии гидродинамической связи пластов A_5 и A_{3-4} по ряду ачимовских скважин. При проведении промысловых газоконденсатных исследований было установлено, что отобранный пластовый флюид обладает завышенным потенциальным содержанием газового конденсата, отличным от принятого содержания пласта, участвующего в отработке. В результате было сделано предположение о наличии межпластового перетока

по техногенному флюидопроводящему каналу. Необходимо отметить, что не задействованный в отработку пласт обладает более высоким потенциальным содержанием газового конденсата, что считается косвенным признаком межпластового перетока, ведущего к «обогащению» флюида с более низким значением потенциального содержания компонентов C_{5+} .

Дополнительным признаком, косвенно свидетельствующим о наличии техногенного канала, являются результаты симуляции ГРП с учетом геомеханических

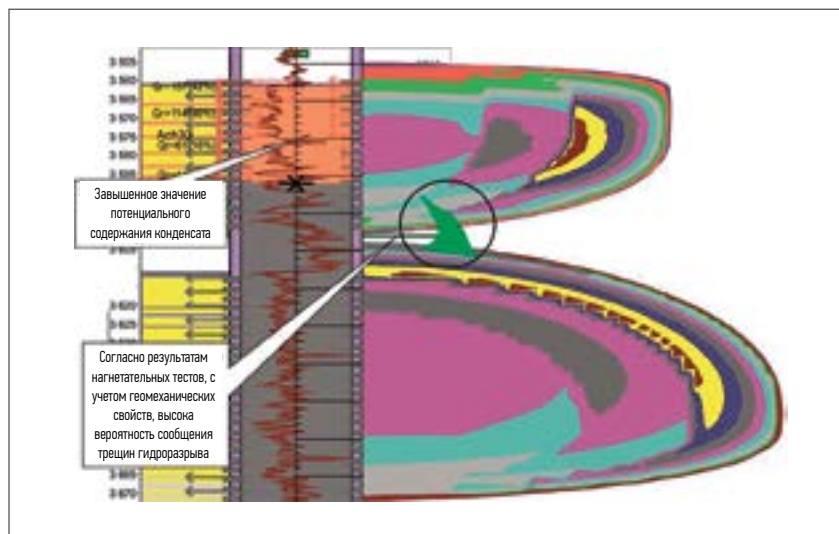


Рис. 3. Признаки техногенного флюидопроводящего канала между подсчетными объектами

Сравнение технологий изоляции интервалов

Технология	Преимущества	Недостатки
Ограниченное число перфорационных отверстий	<ul style="list-style-type: none"> • Легка в использовании • Могут быть проперфорированы определенные зоны интервала • Легко применима в глубоких скважинах 	<ul style="list-style-type: none"> • Не применима в далеко расположенных друг от друга зонах • Эффективность значительно зависит от создаваемого давления • Требуется тщательного планирования • Ограниченное число перфорационных отверстий может ограничить добычу
Уплотняющие шарики	<ul style="list-style-type: none"> • Легка в использовании • Экономична 	<ul style="list-style-type: none"> • Значительно зависит от эффективности герметизации шариками перфорационных отверстий • Нет способа убедиться, какой интервал обрабатывается первым • Эффективное размещение шариков и рабочей жидкости может быть неоптимальным для размещения пропанта
Перегородки	<ul style="list-style-type: none"> • Эффективна • Применима для различных пластовых условий (давление, глубина и т. д.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Должна быть спланирована до спуска обсадных колонн, кроме случая спуска на кабеле • Более дорогостоящая, чем некоторые другие технологии • Зависит от эффективности установки пробки в ниппель
Песчаная пробка	<ul style="list-style-type: none"> • Легка в использовании • Эффективна • Экономична 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется маркировка вершины пробки и опрессовки • Требуется промывки для удаления пропанта • Только нижний интервал может быть опрессован индивидуально
Извлекаемый пакер и пробка-мост	<ul style="list-style-type: none"> • Очень эффективна • Применима в различных пластовых условиях 	<ul style="list-style-type: none"> • Требуется вышка для подъема НКТ • Зависит от повторных установок и съема пакера и пробки-моста • Необходимые операции могут быть дорогостоящими (время и т. д.)
Разбурываемые пробки	<ul style="list-style-type: none"> • Очень эффективна • Применима как для вертикальных зон высокой мощности, так и для многочисленных секций горизонтальных скважин 	<ul style="list-style-type: none"> • Пробки должны быть разбурены • Необходима герметичность (над и под пробкой) • Более дорогостоящая, чем некоторые другие технологии

свойств пород и особенностей технологий ГРП (большеобъемный ГРП массой более 250 т пропанта). В частности, по результатам нагнетательных тестов наблюдался рост трещины в высоту, что в конечном счете приводит к созданию гидродинамической связи между подсчетными объектами.

Таким образом, комплексирование промысловых данных – газоконденсатных исследований (ГКИ), гидродинамических исследований (ГДИ), газодинамического источника колебаний (ГИСК) – позволило вычленить основные признаки межпластового перетока (рис. 3).

Так, в большинстве скважин 1А участка, исходя из результатов ГИС, отработка пласта $A_{ч5}$ отсутствует. Следовательно, результаты ГКИ должны согласовываться с принятым для пласта $A_{ч3-4}$ потенци-

альным содержанием конденсата в пластовом газе. Однако исходя из полученных данных ГКИ скв. 1А201 и 1А203 установлено отклонение от текущего представления о распределении PC_{5+} по глубине. Вместе с тем, по данным ГДИ, выполненным на скв. 1А201, 1А203 и 1А233, диагностируется участие в добыче пласта $A_{ч5}$, что также подтверждает предположение о сообщаемости трещин в пласте.

Технико-технологические особенности проведения интенсификации притока в совокупности с качеством цементирования заколонного пространства в эксплуатационных скважинах и последующим кумулятивным воздействием на стенки труб и цементного кольца при прострелочно-взрывных работах (ПВР) создают условия, в которых такие эффекты, как формирование

гидродинамических каналов, не обратимы.

Существуют технологии, с помощью которых проведение ГРП на многопластовые объекты разработки достаточно эффективно с позиции избирательного воздействия. Преимущества и недостатки таких технологий представлены в таблице.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВТОРНОГО ГРП В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИНАХ

В настоящее время на нефтяных месторождениях Западной Сибири вопрос проведения повторного ГРП решен положительно, причем следует отметить, что опыт выполнения данной операции настолько обширен, что одним из способов прогнозирования эффективности являются статистические базы [2].

При разработке месторождений с применением повторно-го ГРП необходимо тщательно выбирать скважины-кандидаты для проведения данной операции. Выбор должен осуществляться на основании анализа геолого-геофизических характеристик пласта, параметров первичного ГРП и созданной трещины, эффективности и неэффективности первого ГРП, динамики работы скважин после первого ГРП. Корректное решение данного вопроса в связи с необходимостью многофакторного анализа возможно только с применением компьютерных технологий [3].

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРП ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПРОБЛЕМ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРИТОКА

На рынке нефтегазовых услуг России основными сервисными компаниями по выполнению интенсификации притока являются Schlumberger, Halliburton, Trican Well Service Ltd.; Weatherford; ООО «КВС Интернешнл»; ООО «Империл Фрак Сервис», EBC; «ПетроАльянс Сервисез Кампани Лимитед»; ООО «КАТКОнефть»; АО «МеКаМиннефть»; ООО «КАТОБЬ-НЕФТЬ» и др.

Одной из немногих отечественных организаций, обеспечивающих проведение гидроразрыва пласта без повсеместного привлечения зарубежных сервисных компаний, их материалов и технологий, является ОАО «Сургут-нефтегаз» [4, 5].

На текущий момент недропользователи испытывают и внедряют передовые технологии проведения ГРП, которые условно делятся на несколько категорий по решаемым задачам:

- 1) ГРП для маломощных коллекторов и в случае близкого залегания водонасыщенных интервалов;
- 2) ГРП для условий быстрого затухания эффекта интенсификации при применении классических технологий;

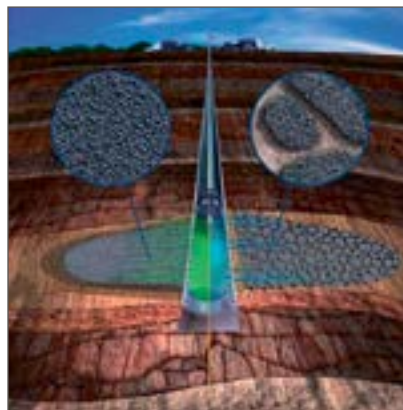


Рис. 4. Различия между стандартным ГРП (слева) и технологией HiWAY (справа)

3) для условий неуправляемого ГРП в горизонтальных скважинах [8].

Большая часть современных технологий ГРП имеет ряд несомненных преимуществ: помимо увеличения продуктивности скважин достигаются хорошая селективность и зональная изоляция интервалов стимулирования, минимизируется риск преждевременной остановки работы ГРП (СТОПа) и увеличивается проводимость сформированных трещин. Однако в ряде случаев применение той или иной технологии ГРП ограничивается по технологическим причинам. Таким образом, выбор технологии ГРП должен быть проанализирован с точки зрения оптимального использования в предполагаемых технико-технологических условиях разработки.

Современные технологии могут быть полезны для маломощных низкопроницаемых коллекторов, поскольку они позволяют минимизировать негативные последствия роста трещины в высоту, что является наиболее частым явлением в скважинах, эксплуатирующих ачимовские отложения УНГКМ.

Необходимо отметить технологии ГРП с ограничением высоты трещины путем создания механических барьеров – посредством закачки перед основным ГРП смеси фракций геометрически

подобранных частиц от мелкого до крупного размера (технологии J-Frac, ProMix, Settle-Frac и др.).

На повышение проводимости трещины направлена технология HiWAY (Schlumberger). Такие результаты достигаются путем создания открытых каналов внутри трещины (рис. 4).

В целом можно отметить, что существующие технологии по улучшению качества ГРП в условиях низкопроницаемых коллекторов позволяют в должной степени решать задачи, которые ставит перед собой недропользователь, для улучшения эффекта операций по интенсификации притока. Опытные работы по ряду представленных технологий показывают положительные результаты при правильном выборе скважин-кандидатов и полном выполнении технико-технологических операций.

Говоря об условиях и полученном опыте ГРП в ачимовских скважинах УНГКМ, исходя из выявленных проблем, можно сделать вывод, что целесообразно применение технологий, позволяющих ограничить рост трещины в высоту и обеспечивающих наиболее высокие показатели по длине высокопроводящего канала.

В результате проведения вычислительных экспериментов с применением цифровой гидродинамической модели ачимовских залежей, а также с учетом анализа опыта, полученного на Самбургском лицензионном участке (АО «Арктикгаз»), определено, что одним из перспективных направлений повышения технологической эффективности выработки запасов углеводородов в данных горно-геологических условиях является внедрение горизонтальных скважин с многостадийным ГРП.

В целях подтверждения обоснования максимальной продуктивности субгоризонтальных скважин с многостадийным ГРП фактическими материалами предусмотрено выделение по-

лигонов опытно-промышленных работ со строительством скважин данной конструкции в зонах с различными фильтрационно-емкостными свойствами, сосредоточенных в пределах эксплуатационных участков 1А, 2А, 4А, 3А и 5А Уренгойского лицензионного участка. На рис. 5 приведена типовая схема заканчивания горизонтальных скважин с комплектом подземного оборудования для выполнения процедуры многостадийного ГРП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день возможность промышленного освоения низкопроницаемых ачимовских отложений УНГКМ в основном обеспечена внедрением технологии ГРП. На большинстве скважин, пробуренных на ачимовские горизонты, применяется технология ГРП с закачкой более 300 т пропанта, что способствует развитию в пласте высокопроводящей трещины полудлиной в среднем 200 м.

По результатам анализа разработки ачимовских залежей УНГКМ установлено, что после проведения ГРП обеспечивается трехкратный рост продуктивности скважин. В среднем объем дополнительной добычи на каждую стимулированную гидроразрывом пласта скважину составляет

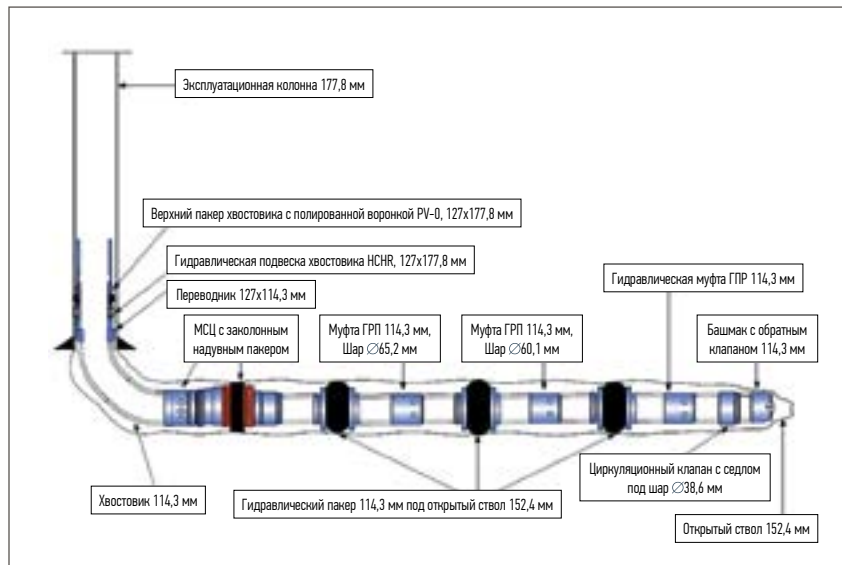


Рис. 5. Схема заканчивания субгоризонтальных скважин с многостадийным ГРП

около 100 млн м³ газа в первый год эксплуатации.

В связи с определяющим значением технологии ГРП ряд недропользователей, осуществляющих разработку ачимовских залежей в данном районе, работает над оптимизацией и совершенствованием данного метода интенсификации притока, а также над системой контроля за разработкой в целях мониторинга длительности эффекта от ГРП.

Дальнейшая разработка ачимовских залежей связана со строительством большого количества

новых скважин, в которых планируется проведение ГРП. В связи с этим выработаны следующие практические решения:

- сформированы рекомендации по предупреждению обратного выноса пропанта по мере снижения пластового давления;
- даны рекомендации по увеличению степени дренирования низкопроницаемого пласта Ач₅;
- выполнено обоснование перспективных технологий проведения ГРП на субгоризонтальных и наклонно-направленных скважинах. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Каюмов Р., Ключин А., Конченко А. и др. ГРП с каналами внутри трещины и цилиндрическим пропантом // Oil & Gas Journal Russia. 2014. № 3. С. 46–51.
2. Сабитов Р.Р. Обоснование и разработка метода оценки эффективности повторных гидравлических разрывов пласта: дис. ... канд. тех. наук. Тюмень, 2012. 134 с.
3. Мандрик И.Э., Гузеев В.В., Сыртланов В.Р. и др. Нейроинформационные подходы к прогнозированию эффективности гидравлического разрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2009. № 6. С. 44–48.
4. Кочетков Л.М., Журба В.Н., Малышев Г.А. и др. Применение «струйного» ГРП на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» // Бурение и нефть. 2009. № 1. С. 110–112.
5. Лесь И.В. О проведении «струйного» гидроразрыва пласта // Бурение и нефть. 2010. № 2. С. 32–36.
6. Растрогин А.Е., Тимчук А.С., Самойлов А.С. и др. Исследование расчетных методов определения дебита горизонтальной скважины с гидроразрывом пласта // Нефтепромысловое дело. 2015. № 1. С. 15–19.

REFERENCES

1. Kayumov R., Klyubin A., Konchenko A., et al. Hydrofracturing with Channels inside a Crack and a Cylindrical Proppant. Oil & Gas Journal Russia, 2014, No. 3, P. 46–51. (In Russian)
2. Sabitov R.R. Substantiation and Development of the Recurrent Hydrofracturing Efficiency Assessment Method: Ph.D. Thesis in Engineering Science. Tyumen, 2012, 134 pp. (In Russian)
3. Mandrik I.E., Guzeev V.V., Syrtlanov V.R., et al. Neuro and Information Approaches to the Forecasting of Hydrofracturing Efficiency. Neftyanoe khozyaistvo = Oil Business, 2009, No. 6, P. 44–48. (In Russian)
4. Kochetkov L.M., Zhurba V.N., Malyshev G.A., et al. Use of Jet Hydrofracturing at the Fields of Surgutneftegaz OJSC. Burenie i neft' = Drilling and Oil, 2009, No. 1, P. 110–112. (In Russian)
5. Les' I.V. On Carrying out Jet Hydrofracturing. Burenie i neft' = Drilling and Oil, 2010, No. 2, P. 32–36. (In Russian)
6. Rastrogin A.E., Timchuk A.S., Samoylov A.S., et al. Research of Computational Methods to Establish the Debit of a Horizontal Well with Hydrofracturing. Neftpromyslovoe delo = Oilfield Engineering, 2015, No. 1, P. 15–19. (In Russian)