

Разработка инновационной системы радиального бурения для повышения нефтеотдачи пласта



А.А. Мальцев
/ООО «Перфобур»/



И.А. Лягов
/ООО «Перфобур»/



А.В. Лягов
/ООО «Перфобур»/

Подняты проблемы, связанные с низкой проницаемостью призабойной зоны пласта. Рассматриваются различные технологии, позволяющие в той или иной степени решить эти проблемы. Представлена новая технология, позволяющая наиболее эффективно решить задачу восстановления добычи нефти, – технология радиального бурения «Перфобур». Описано оборудование системы «Перфобур», показаны принципы работы бурильной системы, ее отличия от существующих технологий и преимущества. Рассказывается о возможностях усовершенствования системы.

Ключевые слова: нефтеотдача пласта, бурение направленных скважин, забурка боковых стволов (ЗБС), гидроразрыв пласта (ГРП), гидромониторное радиальное бурение, технология радиального бурения «Перфобур», долото, винтовой забойный двигатель, гидронагружатель-демпфер-осциллятор, автономный инклинометр, гидромеханическое радиальное бурение.

Компания «Перфобур» была образована в 2015 г. группой уфимских ученых-нефтяников, многие годы занимающихся вопросом бурения направленных скважин с малым радиусом кривизны и посвятивших этой теме множество научных трудов. Сегодня основу команды «Перфобура» составляют высококвалифицированные специалисты, руководившие ранее различными подразделениями в ведущих добывающих, нефтесервисных и производственных компаниях России.

За прошедшее время компания разработала ряд уникальных технических решений, опробованных в наземных и скважинных условиях, провела многочисленные исследования, расчеты и компью-

терное моделирование процесса бурения, в результате чего на свет появилась новая многообещающая техническая система радиального бурения, получившая название «Перфобур».

К разработке уже проявили активный интерес ведущие отечественные и зарубежные нефтегазовые компании. И это неудивительно, потому что фонд старых низкодебитных скважин только в России составляет более 10 000 единиц. Значительная часть этого скважинного фонда имеет общую проблему: снижение притока жидкости к скважине за счет образования малопроницаемой призабойной зоны пласта, радиус которой на различных месторождениях составляет от 2 до 8 м. Таким обра-

зом, вокруг скважины еще может оставаться нефть, но приток ее в скважину существенно затруднен. Кажется бы, эту проблему с легкостью могут решить существующие на рынке методы: забурка боковых стволов (ЗБС), гидроразрыв пласта (ГРП) и гидромониторное радиальное бурение. Но, к сожалению, их применение возможно далеко не во всех скважинах.

Давайте рассмотрим, что же происходит в скважине (рис. 1). При бурении в призабойную зону попадает фильтрат бурового и тампонажного раствора. В дальнейшем в процессе эксплуатации скважины ее многократно глушат и прокачивают различные жидкости, не всегда совместимые по свойствам с геохимическими свой-



ствами пласта. В результате этого после многолетней работы скважины призабойная зона становится низкопроницаемой. Радиус низкопроницаемой зоны вокруг ствола скважины, как сказано выше, может составлять до 8 м. Но за пределами этой зоны по-прежнему остается нефть, приток которой к нашей скважине затруднен. Что делать?

Кратко рассмотрим самые популярные методы, применяемые сегодня добывающими компаниями для решения этой проблемы.

■ Забурка боковых стволов может использоваться в мощных пластах с допустимой литологией вышележащих пластов, позволяющей безопасно пробурить наклонный ствол от старой скважины до точки входа в пласт. При наличии неустойчивых, осыпавшихся пород, а также водо- и газонасыщенных пластов с аномально высоким или низким пластовым давлением стоимость ЗБС существенно возрастает из-за необходимости применения более эффективных технологий (буровые и тампонажные растворы, системы заканчивания). Сроки проведения работ ЗБС могут составлять несколько недель. Средняя стоимость строительства бокового ствола в России составляет 40 млн рублей.

■ Гидроразрыв пласта, несмотря на возможность раскрытия трещин в пласте длиной до сотни метров, имеет ограниченную область применения. Причиной этому служит невозможность контроля траектории раскрытия трещин. Существует огромный риск задеть соседний газоносный и водоносный горизонт, что приведет к осложнению или невозможности дальнейшей эксплуатации этого объекта в скважине. Средняя стоимость одностадийной операции ГРП среднего тоннажа составляет 7–8 млн рублей.

■ Различные технологии перфорации (кумулятивная, прокалывающая, пескоструйная и др.) не рассматриваются как полноценные технологии восстановления эксплуатации скважин с загрязненной призабойной зоной, потому что максимальная зона проникновения кумулятивного заряда не превышает 1–1,5 м, в то время как загрязненная зона пласта может составлять до 8 м. Кроме того, при использовании кумулятивных снарядов вокруг перфорационного канала от воздействия высокотемпературного заряда образуется уплотненная, слабопроницаемая зона.

■ Технология гидромониторного радиального бурения, заключающаяся в размыве горной породы струей высокого давления и проходке каналов длиной до 100 м с помощью гибкого шланга и гидромониторной насадки, также не является эффективным способом восстановления добычи нефти. Во-первых, технология не работает в глубоко залегающих терригенных коллекторах. Во-вторых, существует множество технологических ограничений ее применения – состояние обсадной колонны, цементного камня, обводненность и давление в пласте, соответствие этих

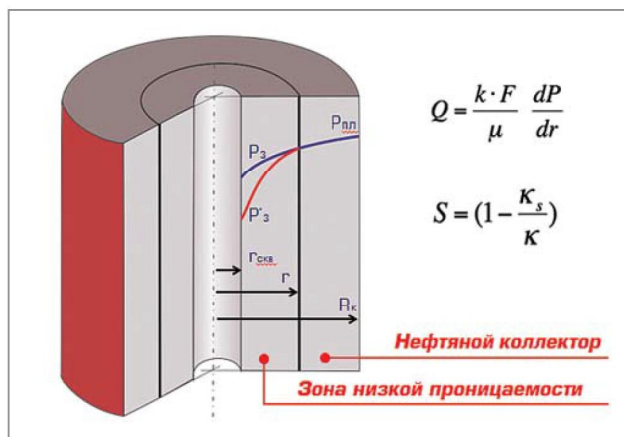


Рис. 1. Схема призабойной зоны скважины

показателей зенитному углу в точке забурки канала, глубина, литологическое строение пласта. В-третьих, управление траекторией бурения каналов и их фактический контроль невозможны. Это самый главный ограничивающий фактор данной технологии. За счет реактивной силы истекающей жидкости компоновка движется по пути наименьшего сопротивления. То есть при прохождении слоисто залегающих пород разной прочности компоновка будет отклоняться в сторону более слабой породы, которую легче размыть. Таким образом, уже через несколько метров после выхода из обсадной колонны траектория бурения отклонится от прямолинейной. Где окажется забой канала по окончании гидромониторного бурения? Уйдет вверх через кровлю пласта и газовую шапку? Или вниз, под водонефтяной контакт в подошву? Этого никто не сможет предугадать.

Технология радиального бурения «Перфобур» разработана специально для решения вышеописанной проблемы. Наша система отдаленно напоминает компоновку для бурения горизонтальных скважин и забурки боковых стволов. В ней есть долото истирающего типа, винтовой забойный двигатель, инклинометр. Но в то же время имеются существенные отличия:

■ Для работы используется небольшой подъемник КРС типа А-50 или УПА-60, что увеличивает доступность и мобильность сервиса, а также снижает стоимость работ.

■ С одной отметки по глубине система «Перфобур» бурит до 4 радиальных каналов в разные стороны.

■ Благодаря малому радиусу кривизны – от 3,5 м – возможно использование системы в пластах малой мощности. При наличии осложняющих факторов в вышележащих пластах (аномально высокое или низкое пластовое давление, неустойчивые породы, близко расположенные газовые пласты и т.д.) бурение радиального канала можно начать в продуктивном пласте или в непосредственной близости от него, избегая контакта с нежелательными интервалами.

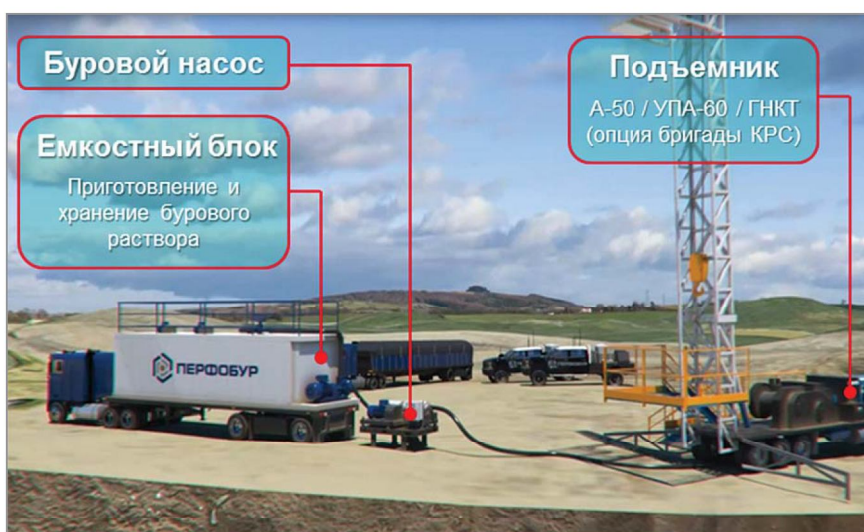


Рис. 2. Наземный модуль оборудования системы «Перфобур»



Рис. 3. Профильный перекрыватель



Рис. 4. Буровой и фрезерующий модули

Основное преимущество нашей системы – ее управляемость и предсказуемость траектории.

Оборудование системы «Перфобур» состоит из наземного, фрезерующего и бурового модулей.

Наземный модуль (рис. 2) состоит из:

- триплексный буровой насос с электроприводом. Подача насоса 2–5 л/сек;
- блок приготовления и хранения бурового раствора. Блок оборудован центробежным насосом, перемешивателями и гидворонкой.

Фрезерующий и буровой модуль спускаются на предварительно установленный в скважине якорь. Поскольку в старых скважинах наблюдается снижение прочности обсадной колонны (механический износ, влияние агрессивных сред), мы решили не использовать гидромеханические якоря, а применили профильный перекрыватель – гофрированную металлическую трубу (рис. 3), которая при активации расширяется и надежно фиксируется на стенках обсадной колонны. Для возможности ориентируемой забурки радиальных каналов во время установки якоря его азимут записывается ориентатором и используется для последующего подсчета траектории.

Буровой и фрезерующий модули (рис. 4) представляют собой метал-

лические секции, собираемые последовательно на устье скважины и спускаемые до стыковки с якорем на проектной глубине. Внутри данных секций находится буровое оборудование – фреза (долото), секции винтового забойного двигателя, центраторы, инклинометр, гибкие металлические трубы, промывочный переводник, гидронагружатель.

Сбоку бурового и фрезерующего модуля располагается окно с клином-отклонителем, на который опирается компоновка при выходе в открытый ствол. Начальное отклонение компоновки, которое задает клин-отклонитель, составляет 7 градусов. После выхода в пласт траектория бурения канала представляет собой дугу окружности с радиусом кривизны от 3,5 до 12 м (от 10 градусов на 1 м).

В системе (рис. 5) используются фрезы и долота истирающего типа с диаметром 58–63 мм, изготовленные российскими предприятиями по индивидуальному заказу и конструкторской документации нашей компании.

Породоразрушающий инструмент приводится в движение винтовым забойным двигателем Д-43, изготовленным в одно- или двухсекционном исполнении в зависимости от требуемого радиуса кривизны канала. Для фрезерования обсадных колонн может использоваться двигатель Д-43 или более мощный Д-55. Данные двигатели собраны из серийной продукции отечественных заводов: стандартные секции были укорочены и дополнены шпindelной и шарнирной секциями собственной конструкции.

На корпусе забойного двигателя установлены один или несколько центраторов. Они предназначены для обеспечения прямолинейного движения бурильной компоновки в пласте и предотвращения самопроизвольного отклонения от курса по азимуту. Центраторы имеют строго определенные места установки, вычисленные научной



командой «Перфобура» в результате многочисленных экспериментов и математического моделирования. В данных точках изгибающий момент, действующий на компоновку, минимален или полностью отсутствует. Таким образом, когда бурильная компоновка опирается на заданные точки, она имеет возможность двигаться только вперед.

Для того чтобы исключить самопроизвольное отклонение траектории компоновки, мы предусмотрели еще один уникальный узел системы – гидронагрузатель-демпфер-осциллятор. Он расположен в нескольких метрах над бурильной компоновкой и предназначен для обеспечения плавной и стабильной нагрузки на долото, исключая рывки компоновки и стремление к развороту.

Автономный инклинометр, располагающийся над забойным двигателем, осуществляет запись фактической траектории во время бурения. Мы оснастили систему автономным инклинометром, поскольку траектория бурения «Перфобура», в отличие от «большого» бурения и ЗБС, носит предсказуемый характер и не нуждается в постоянной корректировке. Проведенные испытания показали, что отклонение фактической траектории от расчетной составляет не более 5 %, а это с учетом максимальной глубины бурения в 50 м вполне допустимо и безопасно.

Что касается безопасности бурения – несмотря на то, что наша бурильная компоновка может работать только в режиме слайдирования, она надежно защищена от возможных прихватов. Над винтовым забойным двигателем расположен эжекторный промывочный переводник, перепускающий избыточный поток бурового раствора в затрубное пространство в виде восходящей струи. В стационарном режиме эта струя помогает удалять частицы выбуренной породы из канала. При возникновении дифференциального прихвата необходимо увеличить подачу бурового насоса. При этом сила восходящей струикратно возрастает и промывочный переводник начинает работать в режиме струйного насоса, «высасывая» жидкость с забоя и снижая забойное давление. Дополнительным средством для предотвращения дифференциального прихвата служит гидронагрузатель. При увеличении подачи жидкости он начинает работать в режиме осциллятора – «встряхивая» бурильную компоновку периодическими резонансными колебаниями.

Защита от повреждения коллектора вокруг пробуренного канала осуществляется высококачественным безглинистым биополимерным раствором, образующим на стенках канала тонкую непроницаемую фильтрационную корку, самопроизвольно разрушающуюся спустя несколько недель. При необходимости может быть использован углеводородный буровой раствор, имеющий коэффициент восстановления проницаемости, близкий к 1.

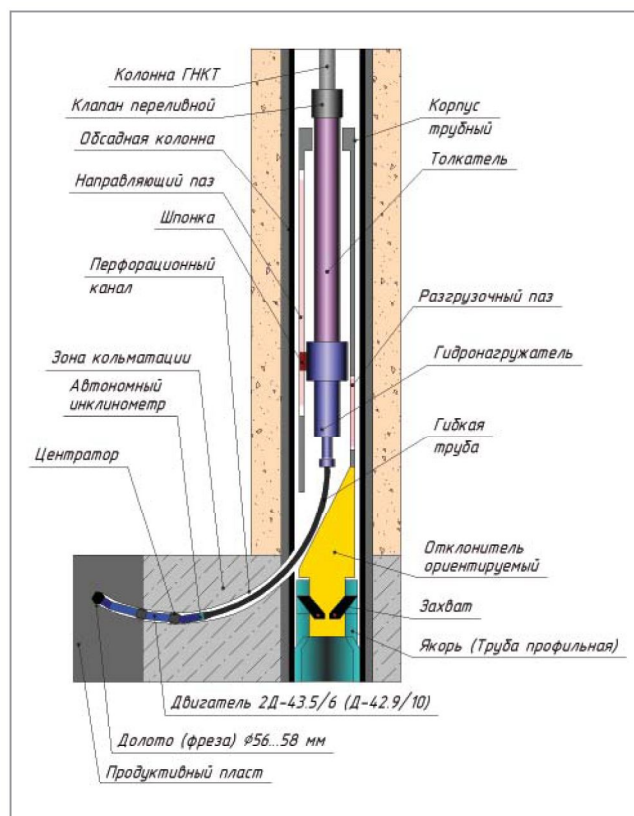


Рис. 5. Схема скважинной компоновки системы «Перфобур»

Повторный вход в пробуренные каналы для проведения дополнительных ГТМ (кислотные обработки, мини-ГРП и др.) возможен благодаря специально разработанной конструкции клина-отклонителя. При необходимости входа в канал это оборудование может быть спущено в скважину персоналом заказчика самостоятельно.

Текущая версия системы «Перфобур» (рис. 6) имеет следующие характеристики:

- радиус кривизны буримых каналов: от 3,5 до 12 м;
- диаметр радиальных каналов: 58–60 мм;
- длина радиальных каналов: оптимальная – 10–20 м, максимальная – до 50 м;
- масса скважинного оборудования в сборе: 800 кг;
- подача бурового насоса: 2–5,5 л/с;
- рабочее давление: 8–16 МПа.

При работе в крепких, хорошо цементированных терригенных породах специальные решения по обсадке каналов не требуются. Устойчивость каналов обратно пропорциональна их диаметру. А правильная округлая форма канала придает дополнительную устойчивость к разрушению по сравнению со звездообразной формой радиальных каналов, пробуренных гидромониторным способом. Если обсадка радиального канала все же необходима, можно использовать набивку ранее пробуренного

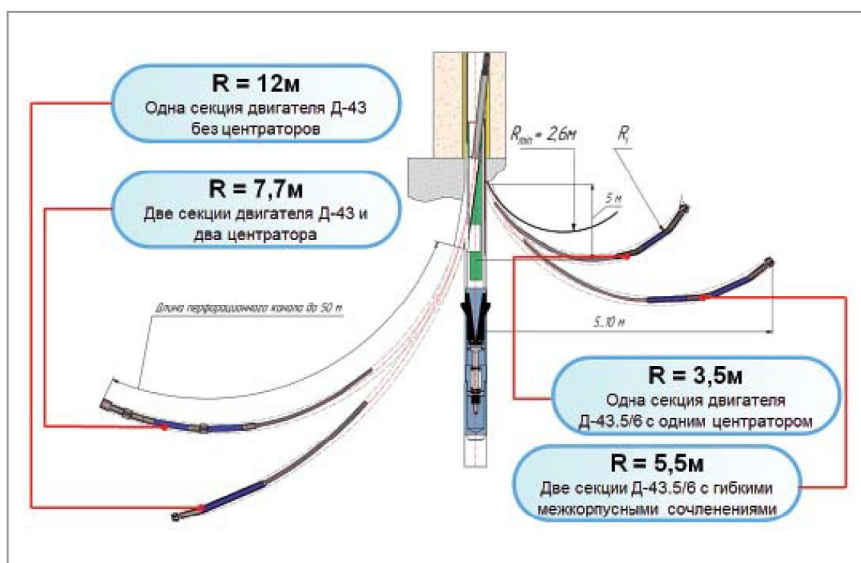


Рис. 5. Текущая версия системы «Перфобур»



Рис. 7. Производственно-испытательный комплекс компании «Перфобур»

канала пропантом либо спустить в канал хвостовик диаметром 50–54 мм. Команда изучает возможность применения химических методов укрепления стенок радиальных каналов.

Для разработки и испытания наших систем компания «Перфобур» имеет собственный производственно-испытательный комплекс в г. Уфе (рис. 7). Для имитации пластовых условий мы производим бурение бетонных блоков, прочность которых соответствует условиям пласта. В ходе многочисленных испытаний, проведенных за последние месяцы, были подобраны оптимальные конфигурации оборудования, позволяющие безотказно и с высокой скоростью бурить радиальные каналы по различным траекториям. Отклонение от заданной (расчетной) траектории бурения



Рис. 8. Отклонение от заданной траектории бурения

составляет менее 5 % (рис. 8), что делает возможным применение системы «Перфобур» в скважинах без инклинометрической системы.

Мы постоянно совершенствуем наше оборудование. Для более быстрого и качественного фрезерования обсадной колонны в I квартале 2017 г. команда «Перфобура» приступит к стендовым

испытаниям винтового двигателя Д-55, имеющего в три раза больший крутящий момент, чем применяемый сейчас двигатель Д-43. Совместно с конструкторскими отделами ведущих российских заводов – изготовителей фрез и долот ведется отработка решения по скоростному фрезерованию обсадных колонн. Поставлена задача разработать универсальный породоразрушающий инструмент, способный фрезеровать обсадную колонну и бурить радиальный канал без выполнения промежуточной спускоподъемной операции для смены фрезы на долото. Разрабатывается решение по серийному бурению, когда за один спуск будут проводиться последовательное фрезерование и забурка нескольких отверстий путем поочередного поворота технической системы в скважине на 90 градусов.

Перспективным направлением для расширения продуктовой линейки «Перфобура» является применение буровой системы для обхода упавшего в скважину добывающего оборудования. Эта ситуация возникает, когда установка ЭЦН, упавшая в зону перфорации, делает невозможной дальнейшую эксплуатацию объекта и требуется бурение четырех нисходящих каналов в голове упавшего устройства с дальнейшим горизонтальным входом в продуктивный пласт. Еще одним из перспективных направлений является применение системы гидромеханического радиального бурения для дегазации угольных пластов. Система идеально подходит для бурения сети каналов из основной скважины, при этом существенно увеличивается эффективность дегазации и снижается аварийность и взрывоопасность в горнодобывающей отрасли.

В 2017 г. компания «Перфобур» проведет скважинные испытания совместно с российскими и зарубежными нефтедобывающими предприятиями, после чего приступит к коммерческому внедрению системы.