



РАДИОВОЛНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ 4D МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПХГ

ИСТРАТОВ Вячеслав Александрович

Генеральный директор НПО «Радионда»

При разработке нефтяных месторождений способом заводнения необходимо в обязательном порядке контролировать процесс замещения одного флюида (нефти или газа) другим (водой). Система скважин, предназначенных для закачки и добычи, создается на основе расчета свойств и мощности коллекторов. Однако из-за неоднородности геологической среды и приблизенной оценки свойств рабочих пластов между расчетными и фактическими показателями разработки возникают значительные расхождения, что приводит к преждевременному заводнению залежи. Поэтому для эффективного контроля технологических процессов в межскважинном пространстве необходимо применять методы геофизических исследований.

Современная аппаратура, используемая для проведения 3D сейсморазведки, не обладает достаточной разрешающей способностью на больших глубинах, необходимой для определения упругих свойств коллекторов. В свою очередь стандартный комплекс каротажа позволяет определить характеристики пород только в непосредственной близости от скважины. Очевидный технологический разрыв между обеими указанными системами исследования могут заполнить геофизические методы изучения межскважинного пространства: сейсмоакустические и электромагнитные.

Сейсмоакустические и электромагнитные ГИС относятся к числу самых эффективных способов исследования межскважинного пространства. Электромагнитные методы можно условно разделить на две основные группы: низкочастотные (индуктивные –

DeepLook EM) и высокочастотные (радиоволновые – РВГИ) (рис. 1).

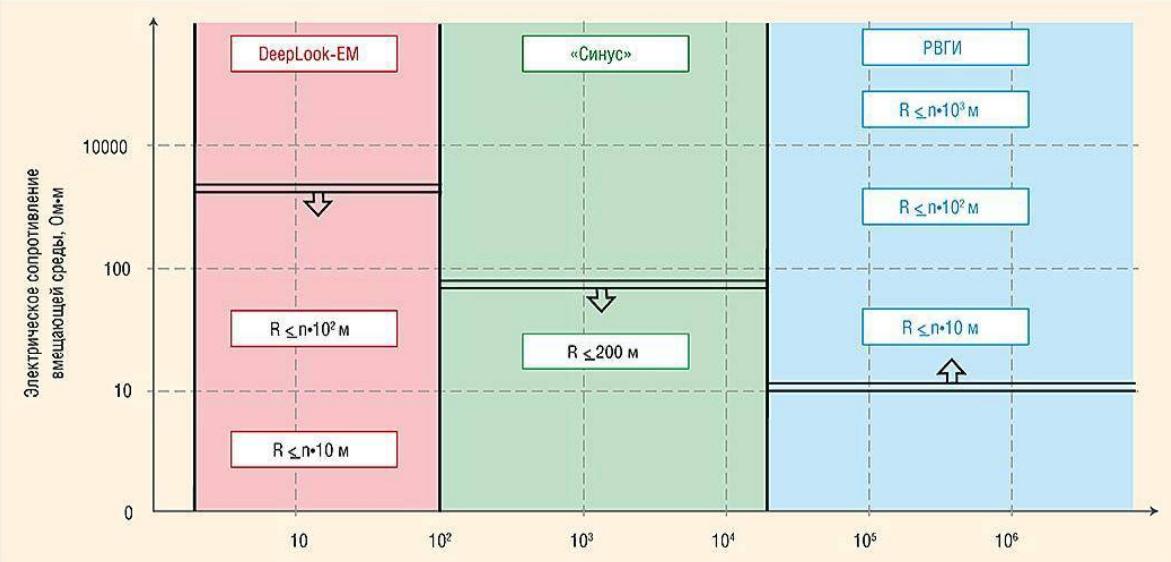
Высокочастотные методы применяются в открытых стволах или скважинах с неметаллической, например, стеклопластиковой, обсадкой. Наиболее перспективным для изучения межскважинного пространства может считаться метод радиоволновой геонитроскопии (РВГИ), использующий широкий диапазон радиочастот (0,03–31 МГц) и обладающий наиболее высокими разрешающей способностью и чувствительностью к изменению электрических характеристик среды.

Данный метод основан на зависимости поглощения гармонического сигнала от электрического сопротивления пород, расположенных на трассе распространения волны от излучателя к приемнику. Удельное сопротивление (ρ) и особенно диэлектрическая проницаемость (ϵ) – наиболее информативные физические характеристики пород, применяемые для оценки характера насыщения коллекторов (нефть – вода) (таблица).

На практике использование метода осуществляется по веерной схеме: производится установка излучателя, а по другой скважине строится профиль измерения на всем рабочем участке (рис. 2). В результате получается томографическая схема, которая затем поступает на обработку.

Обработка данных просвечивания в одном сечении (2D) выполняется по усовершенствованным томографическим алгоритмам (SIRT), с помощью которых восстанавливаются эффективные значения электриче-

Рис. 1. Позиция РВГИ в ряду электромагнитных методов скважинной геофизики



ского сопротивления для каждой элементарной ячейки пространства (рис. 3). Форма и размеры элементарной ячейки определяются из фактических значений частоты, сопротивления пород и расстояния. При необходимости данные предварительно приводятся к условиям изотропной среды.

При наличии нескольких сечений данные РВГИ обрабатываются по алгоритму волнового восстановления, и строится 3D геоэлектрическая карта исследованного блока (рис. 4).

Аппаратура РВГИ-07 с резонансным излучателем и высокочувствительным приемом позволяет проводить исследования на расстоянии до 1000 м в широком диапазоне сопротивлений. Измерения можно выполнять в том числе в добывающих скважинах, работающих под давлением, без остановки добычи (рис. 5).

Основным фактором, сдерживающим применение высокочастотных электромагнитных методов, остается использование металлической обсадки. Однако с появлением стеклопластиковых обсадных труб (СПОТ) возможности их использования существенно возросли. Сейчас СПОТ широко применяются на месторождениях Республики Татарстан, а также ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (рис. 6). Практика установки хвостовиков и интервалов СПОТ (до 80 м) на месторождениях, разрабатываемых ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», показала, что это увеличивает стоимость строительства скважины не более, чем на 1%, но при этом повышается надежность ее работы и обеспечивается возможность изучения межскважинного пространства с использованием РВГИ.

Многолетние экспериментальные исследования, проводимые нашей компанией на ряде нефтяных

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: Вячеслав Александрович, уточните, пожалуйста, глубину спуска приборов.

Вячеслав Истратов: Глубина определяется толщиной рабочего горизонта, плюс-минус два метра для размещения антенн. Также этот параметр зависит от межскважинного пространства, например, при расстоянии 600 м спускать устанавливать приборы можно на глубине 70-80 метров. Главное, чтобы обсадка скважин была стеклопластиковой.

Вопрос: Можно ли использовать радиоволновые методы и индукционный каротаж на старых месторождениях, где обсадные колонны преимущественно металлические?

В.И.: Некоторые можно. Но вот самые чувствительные радиоволновые методы, о которых я говорил, при металлической обсадке работать не будут. Единственный выход – создать сеть наблюдательных скважин с пластиковой обсадкой.

Таблица				
Геотехнические параметры РВГИ				
Сопротивление пород ρ , Ом·м	Расстояние R_{\max} , м	Диаметр зоны Френеля d_f , м	Размер объекта D_{\min} , м	Точность локализации δ , м
1000	700	300	90	30
100	250	100	30	10
10	70	40	12	4

месторождений Западного Урала, показали, что радиоволновой метод исследований скважин в односкважинном (ДИ-МЧ – многочастотная диэлектрическая интроскопия) (рис. 7) и межскважинном (РВГИ) вариантах, а также совместная интерпретация данных, полученных в каждом из случаев, позволяют решать задачи выделения, оконтуривания, а также 4D мониторинга развития зон заводнения нефтяных месторождений. Для дальнейшего развития этих методов необходимо создание полигонов на месторождениях с равномерной сеткой наблюдательных скважин для экспериментальных измерений в скважинах со специальной стеклопластиковой обсадкой (СПОТ).

Рассмотрим несколько примеров практического использования радиоволновых методов. На рис. 8

Рис. 2. Схема измерений при межскважинном просвечивании

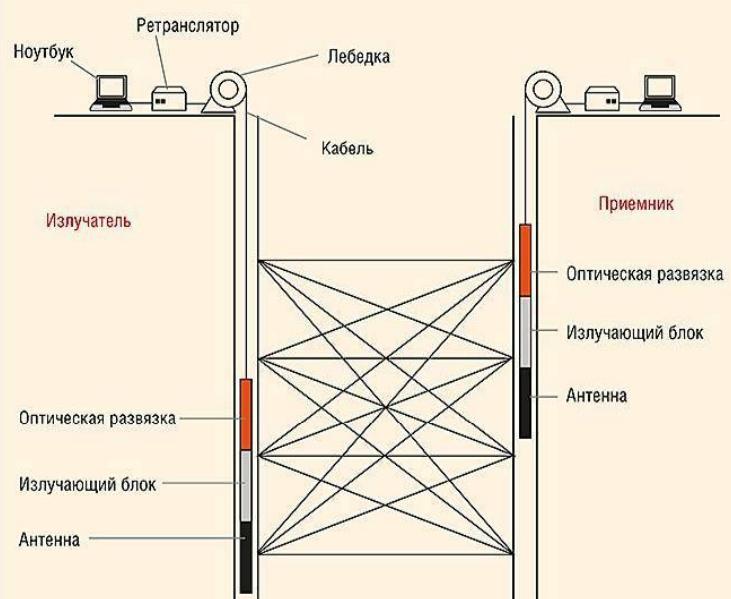
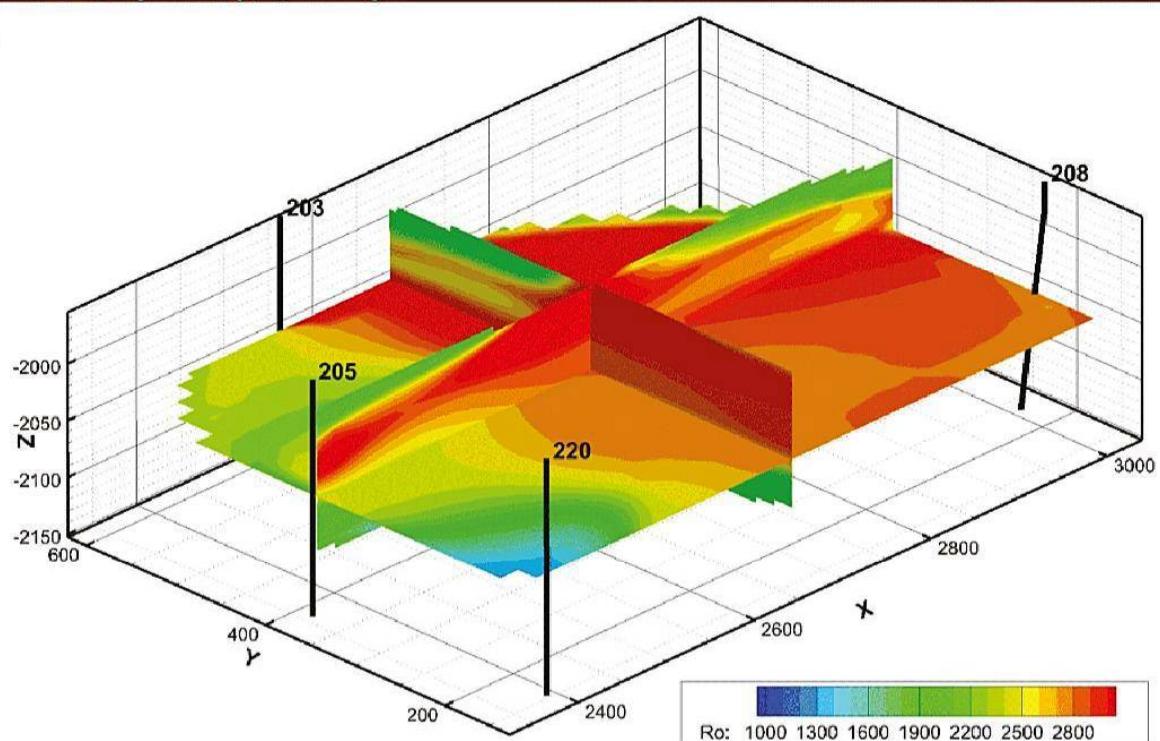


Рис. 3. 3D карта месторождения нефти



четко видны области с пониженными сопротивлениями. Пласти в межскважинном пространстве неоднородны по своему строению, что следует учитывать при их заводнении.

На разностной карте, представленной на рис. 9, наглядно показано развитие процесса разработки в пространстве и времени. В частности, видно, что с включением насосов в добывающих скважинах

Рис. 4. Область и детальность исследований РВГИ

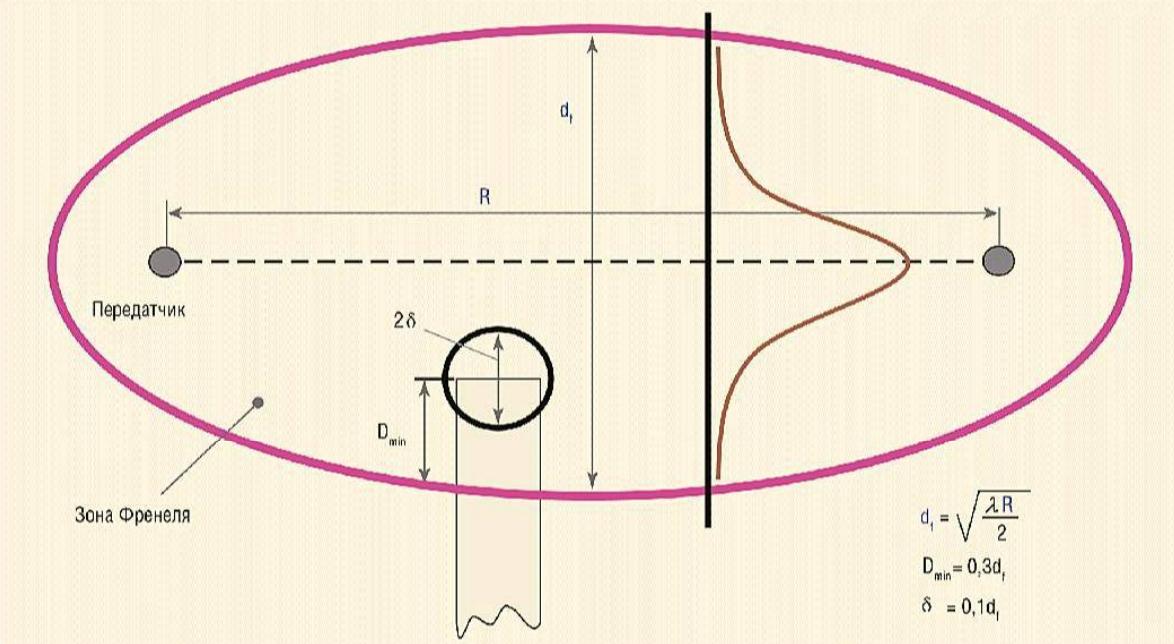


Рис. 5. Одновременный итерационный метод восстановления

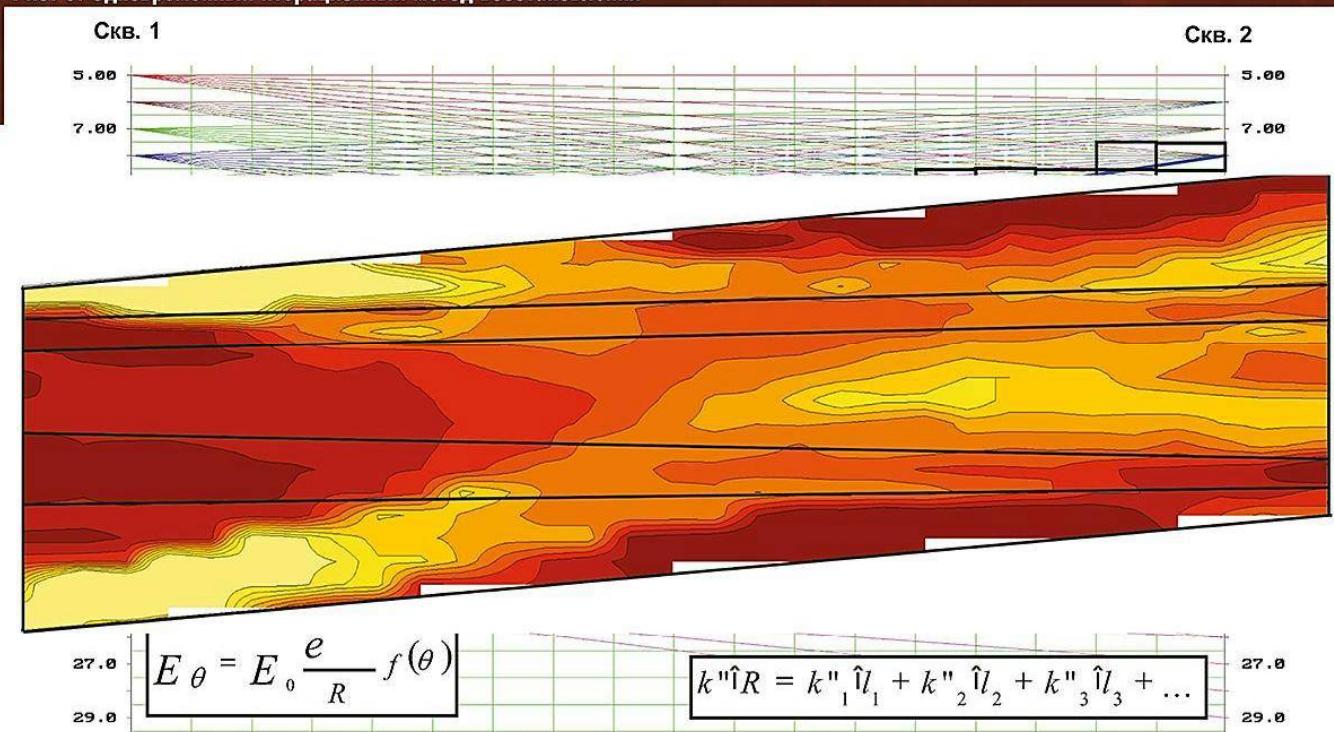


Рис. 6. Полигоны экспериментальных скважин СПОТ на двух месторождениях ОАО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

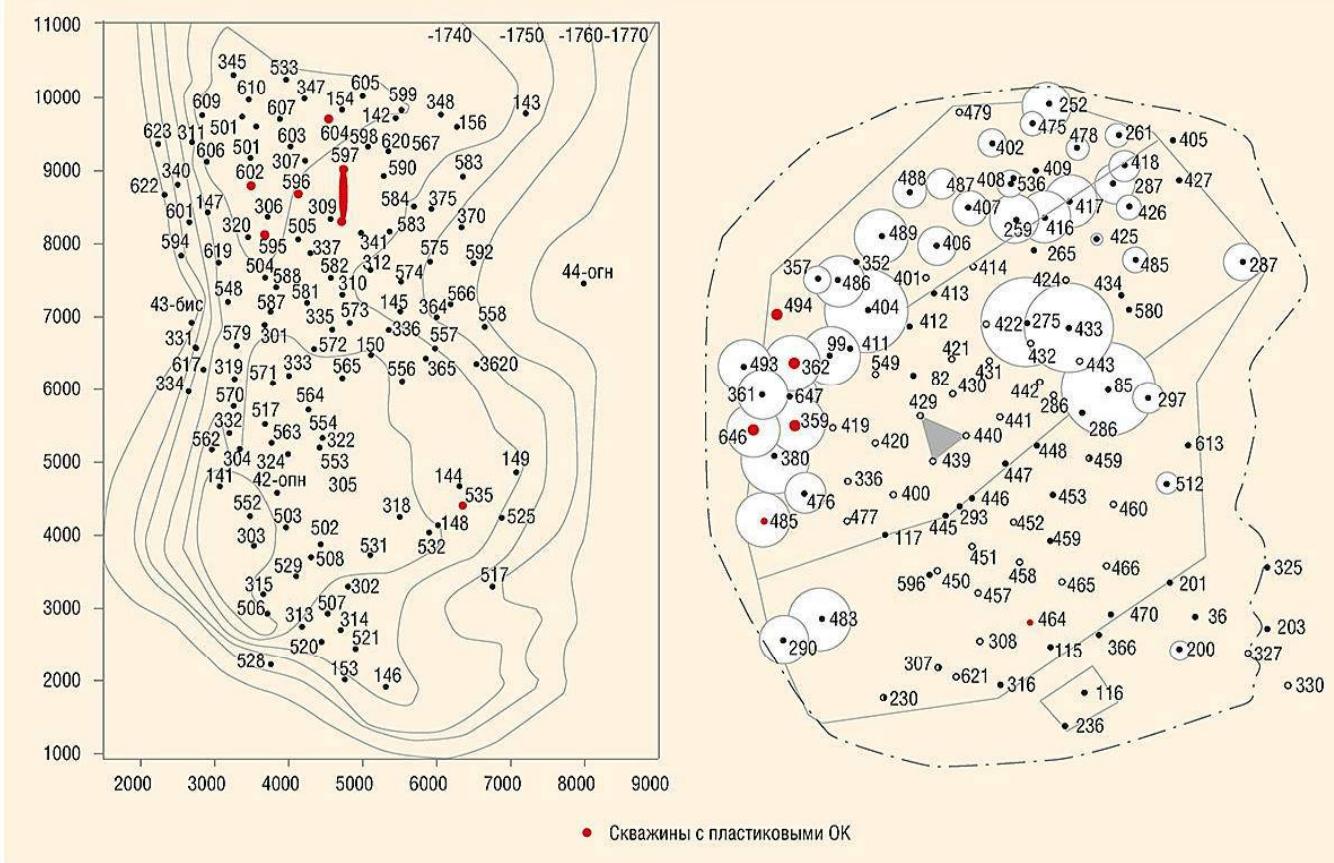


Рис. 7. Многочастотный диэлектрический интроскоп «ДИ-МЧ»

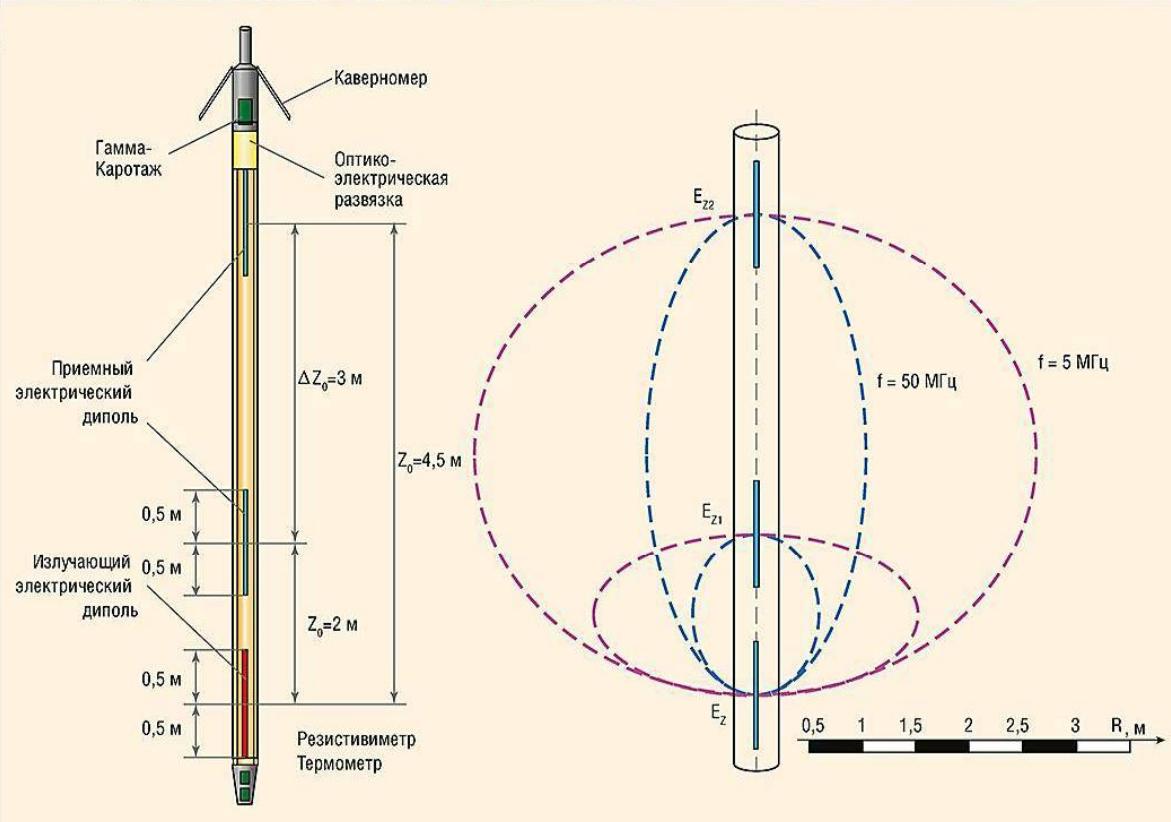


Рис. 8. 3D карта РВГИ. Месторождение нефти (Западный Урал)

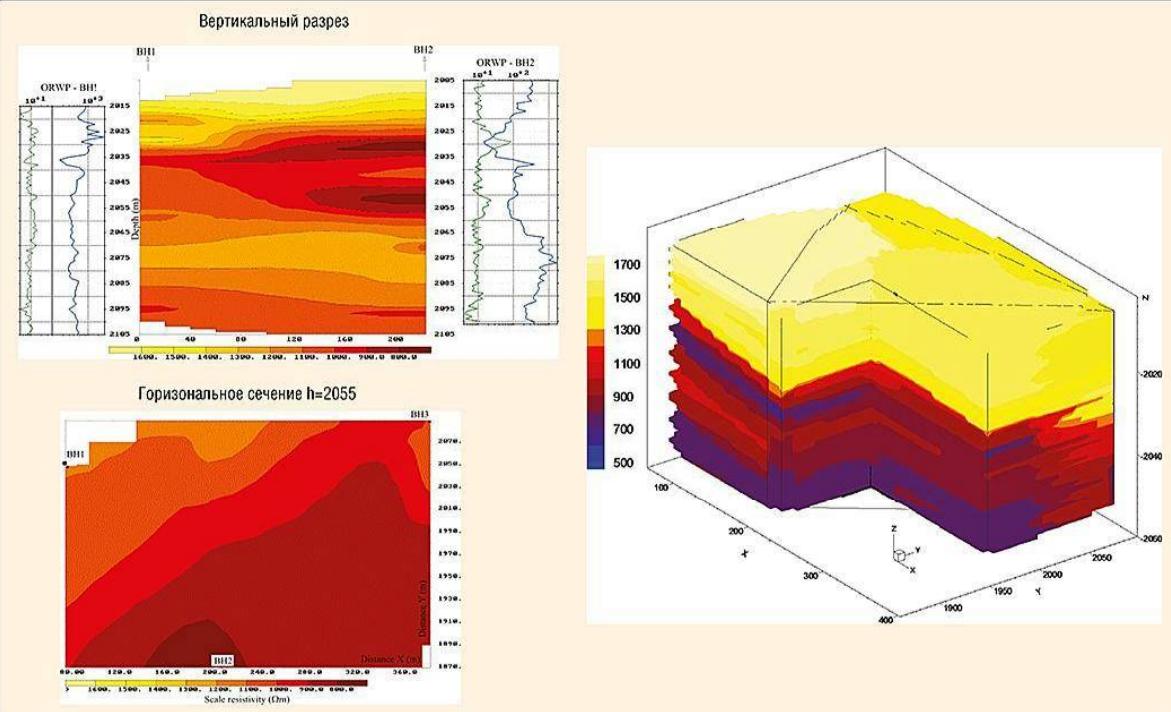
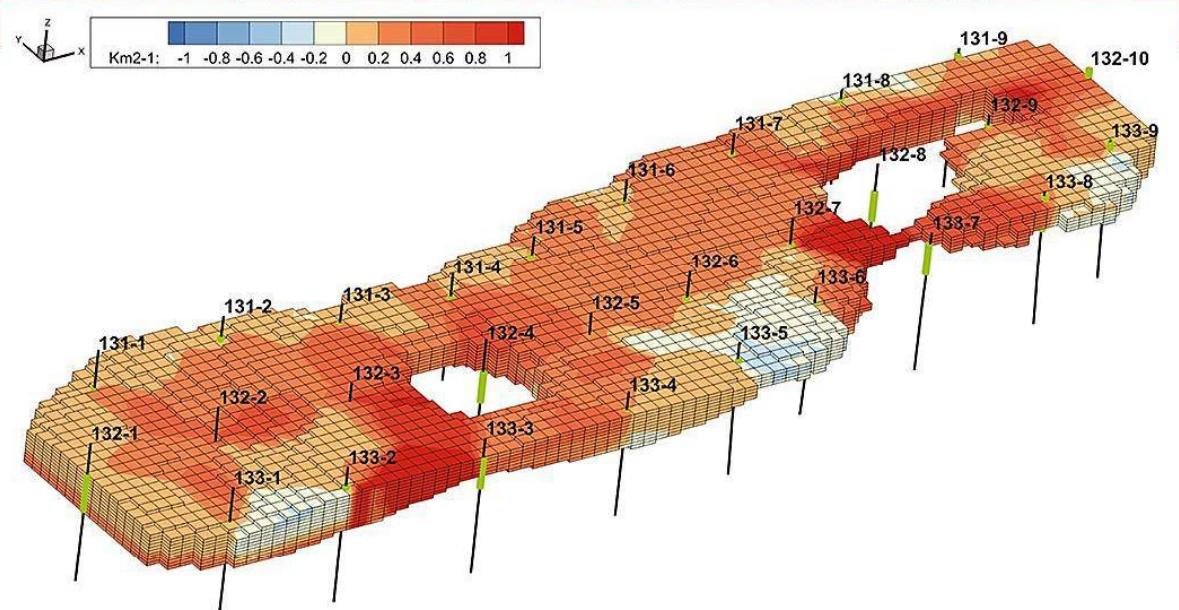
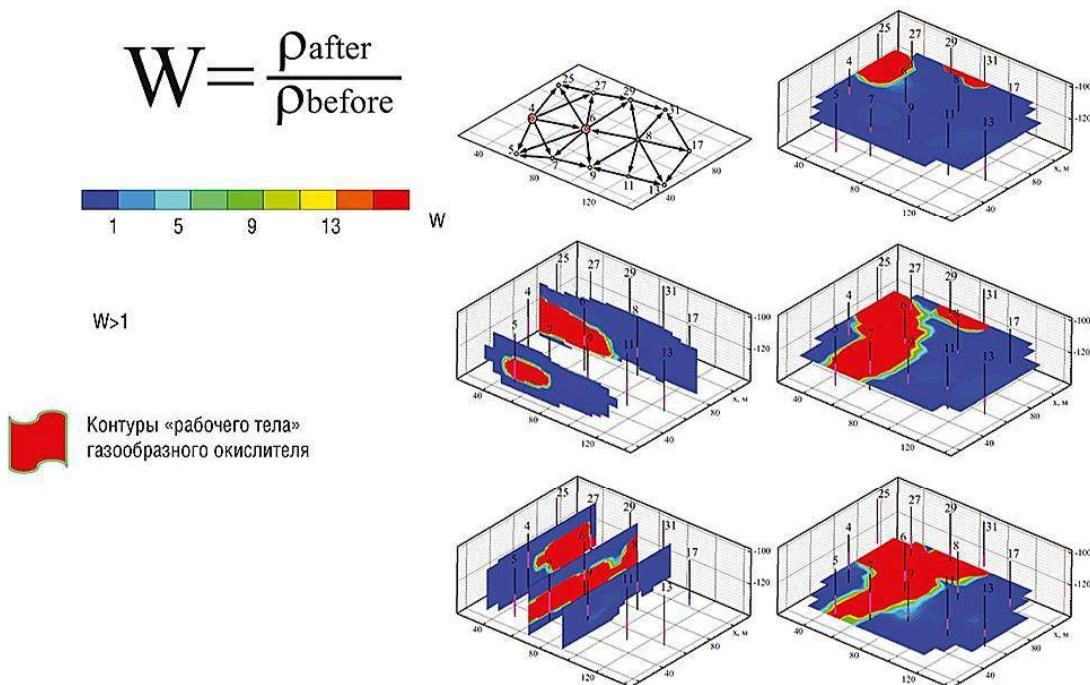


Рис. 9. 4D карта коэффициента мониторинга. Относительные изменения концентрации за 120 дней

идет процесс откачки продукции с избыточной концентрацией жидкости из законтурных областей. То есть технологию 4D картирования РВГИ можно и нужно использовать до конца процесса разработки, в том числе для экологического контроля рекультивации блока.

Наконец, на рис. 10 представлен эффект в сопротивлении – обратный и очень сильный. Красным цветом отмечен контур «рабочего тела газообразного окислителя». «Растекание» газа определяется в основном литологией, при этом никакой изометричности вокруг скважин нет. ♦

Рис. 10. Результаты применения технологии 4D мониторинга РВГИ



СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЕ ТРУБЫ – ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЛЯ СИСТЕМ ППД И УТИЛИЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН

МАЛЬЦЕВ Георгий Владимирович

Руководитель службы корпоративных продаж, Московский офис ООО НПП «Завод стеклопластиковых труб»

Веденные США и странами ЕС санкции в отношении России представляют для российской нефтегазовой отрасли гораздо большую опасность, нежели низкие цены на нефть. Проведенные экспертами агентства Fitch стресс-тесты показывают, что российские компании могут выдержать цены на нефть на уровне \$55 за баррель в течение нескольких лет, однако дефицит внешнего финансирования может привести к снижению объема инвестиций, необходимых для поддержания уровня нефтедобычи. В связи с этим многие нефтяные компании взяли курс на расширение использования импортозамещающих технологий, позволяющих оптимизировать затраты на эксплуатацию месторождений и повысить эффективность добычи. Одной из таких технологий стали стеклопластиковые трубы (СПТ), которые могут использоваться как в добывающих скважинах, так и в скважинах системы ППД – нагнетательных и утилизационных. За счет высоких технических и эксплуатационных характеристик СПТ позволяют повысить наработку скважин и обеспечить существенное снижение операционных расходов.

Композитные материалы и изделия из них обладают уникальными прочностными свойствами, небольшим (по сравнению со сталью) весом и другими характеристиками, позволяющими использовать их в различных отраслях промышленности, включая нефтегазовую. С введением западных санкций спрос на эффективные технологии и материалы для разработки как новых, так и старых месторождений заметно увеличился. В том числе вырос интерес нефтяников к тру-

бам из стеклопластика (СПТ), которые могут использоваться на скважинах коррозионного фонда, характеризующихся высокой обводненностью продукции. Из всех применяемых сегодня коррозионностойких сталей только сталь с содержанием 13% хрома реально обеспечивает надежную защиту от коррозии. Однако такие НКТ, как правило, закупаются за рубежом и отличаются очень высокой стоимостью, примерно в четыре раза превышающей стоимость обычных стальных труб (рис. 1). Кроме того, при низких температурах хромированные стали становятся хрупкими, что значительно осложняет проведение спускоподъемных операций (СПО) в зимний период.

Стеклопластиковые НКТ стоят кратно дешевле, а при их производстве используются нанотехнологии, обеспечивающие высокие прочностные характеристики изделий (рис. 2). Сегодня выпуск СПТ наложен не только за рубежом, но и в России, например, в ООО НПП «Завод стеклопластиковых труб». Развитие дан-

Рис. 2. Стеклопластиковые насосно-компрессорные трубы



Рис. 3. Объемы внедрения СП НКТ производства ООО «ЗСТ»

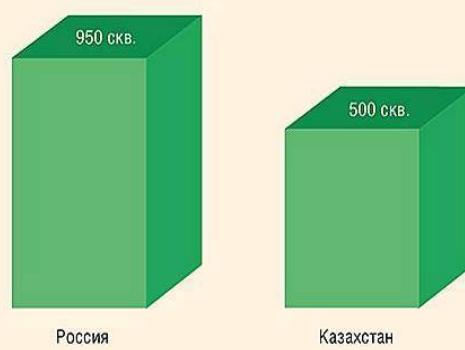


Рис. 1. Сравнение стоимости различных типов НКТ

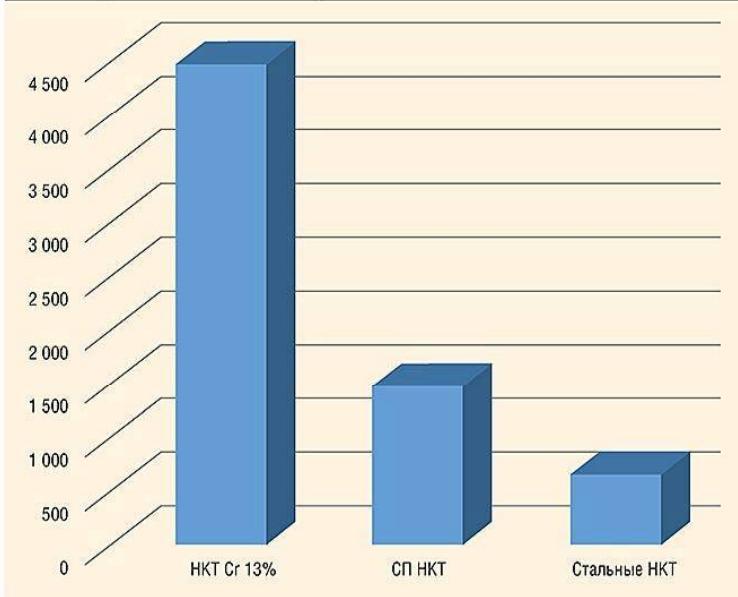
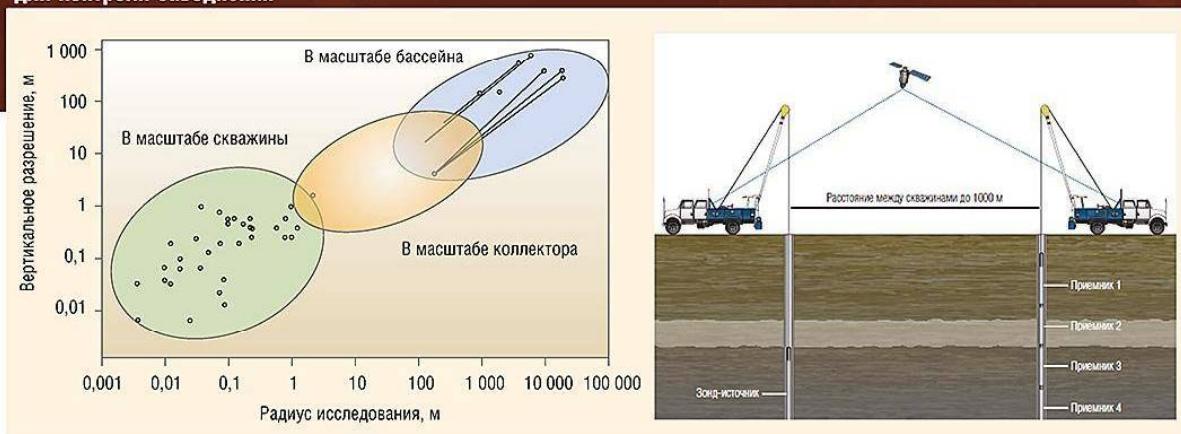


Рис. 4. Применение стеклопластиковой обсадной трубы для обеспечения межскважинной геонитроскопии для контроля заводнения



ного направления производства поддерживается в рамках реализации Государственной программы по инновационному развитию российской экономики.

В настоящее время трубы из стеклопластика активно внедряются на месторождениях ОАО «Татнефть», ОАО «Удмуртнефть», ОАО «Варьеганнефтегаз», ОАО «Самаранефтегаз», ОАО «ЛУКОЙЛ», а также ГНК «КазМунайГаз». Отметим, что в связи с принятием стандарта ISO14692 по использованию стеклопластиковых труб в Казахстане применение СП НКТ в этой стране происходит намного интенсивнее, чем в России (рис. 3).

ПРЕИМУЩЕСТВА НКТ, ОБСАДНЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ТРУБ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

К основным преимуществам стеклопластиковых труб (НКТ, линейных, обсадных) можно отнести высокую коррозионную стойкость, низкое гидравлическое сопротивление, длительный срок службы, высокий запас прочности по давлению (позволяющий проводить ГРП), низкую скорость накопления АСПО, широкий диапазон температур (до 150 °C). Также СПТ отличаются высокой ремонтопригодностью, низкой стоимостью монтажа, простотой и удобством сборки при любых погодных условиях. Помимо этого, они почти в четыре

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

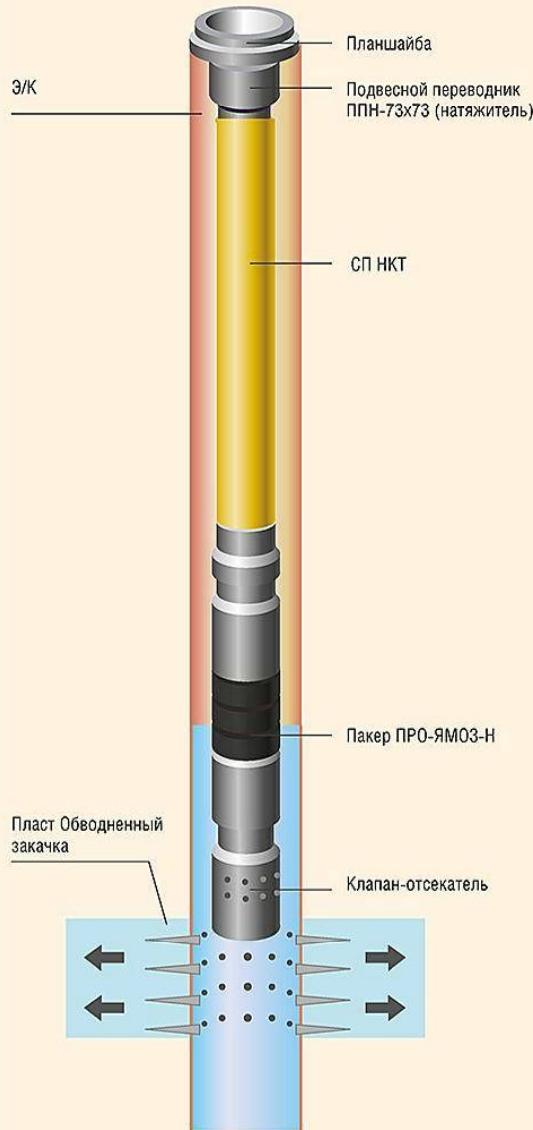
Вопрос: Георгий Владимирович, можно ли использовать стеклопластиковые трубы в наклонных и горизонтальных скважинах?

Георгий Мальцев: Можно. Но при этом следует учитывать одну особенность – истираемость стеклопластиковой трубы в целом выше, чем у стальной. Поэтому при использовании СПТ в наклонных и горизонтальных скважинах рекомендуется производить спуск трубы с установленными на ней центраторами.

Вопрос: Второй вопрос касается линейных труб. Как известно, при остановке и последующем пуске КНС (особенно на высоконапорных трубопроводах) возникает вибрация, которая передается на трубу. Стальная – с горем пополам, но выдержит – а как в этом случае поведет себя стеклопластиковая труба?

Г.М.: Стеклопластиковая труба тоже будет вибрировать. Ее необходимо фиксировать. Других способов решения данной проблемы нет.

Рис. 5. Компоновка для ППД с использованием СП НКТ



ПОДДЕРЖАНИЕ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Рис. 6. Спуск СП НКТ в скважину



Рис. 7. Восстановление резьбового соединения СП НКТ



раза легче стали, обладают уникальными электроизолирующими свойствами и высокой радиопрозрачностью, что позволяет использовать их при строительстве разведочных скважин и проведении геофизических, сейсмических и других видов исследований.

На рис. 4 показан пример применения стеклопластиковой обсадной трубы для обеспечения межскважинной геонитропсии для контроля заводнения. Как известно, большинство методов исследования нефтегазовых месторождений обладают предельными характеристиками по разрешающей способности: с их помощью изучают либо призабойную зону скважины с высокой разрешающей способностью, либо пространство всего бассейна, но с низкой разрешающей способностью. Межскважинная геонитропсия дает возможность определить свойства пласта-коллектора в межскважинной области и построить необходимые диаграммы и изображения.

СП НКТ производства ООО НПП «ЗСТ» также обладают высокими техническими характеристиками (табл. 1) и широко применяются на месторождениях российских нефтяных компаний как в добывающих скважинах, так и в скважинах системы ППД.

Так, в 2010 году на трех скважинах нагнетательного фонда одной из нефтедобывающих компаний ЮФО подвески НКТ были полностью укомплектованы нашими стеклопластиковыми НКТ. Две скважины продолжают работать: в первом случае текущая наработка уже превысила 1400 сут, во втором – 1700 суток. На третьей скважине в сентябре 2014 года произведен планово-предупредительный ремонт – НКТ были извлечены в полном объеме с наработкой 1720 суток.

На рис. 5 представлена стандартная компоновка для ППД с использованием

СП НКТ. В конструкцию включен пакер (ООО НПФ «Пакер»), который устанавливается не разгрузкой веса колонны, а, наоборот, натяжением, что обеспечи-

Таблица 1

Технические характеристики стеклопластиковых насосно-компрессорных труб

Параметры	Значение
Номинальное давление, МПа	От 6,9 до 27,0
Условный внутренний диаметр, мм	50; 63; 80; 100; 150; 200
Длина подвески, м	До 4000
Коэффициент запаса прочности (до разгерметизации)	Не менее 2,9
Температура транспортируемой среды, °С	До 150
Коэффициент шероховатости внутренней поверхности	1524×10^{-6}

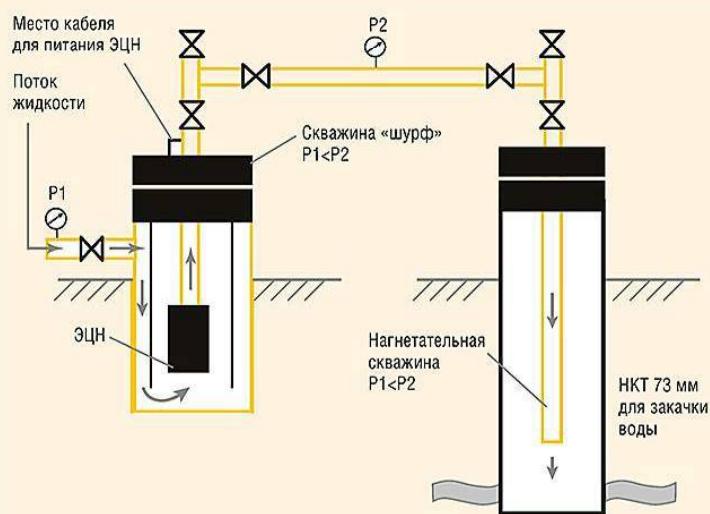
Таблица 2

Сравнение расходов на приобретение и эксплуатацию стальных и стеклопластиковых НКТ

Расчетные показатели	Стальные НКТ	СП НКТ
Общие затраты, руб.	2 084 000	3 784 520
Длительность цикла, сут	396	1 106
Затраты на цикл, руб.	1 950 000	1 643 260
Затраты на сутки цикла, руб.	4 924	1 486

лизована возможность поставки сборно-разборных СП трубопроводов для технологического прикрытия на период ликвидации аварии.

Основные направления развития производства и сервиса стеклопластиковых труб «ЗСТ» включают комплексное применение СПТ в системах ППД, а также разработку и реализацию совместно с нефтедобывающими и сервисными компаниями системы технического обслуживания и проката СП НКТ на осложненном коррозией фонде. ♦

Рис. 8. СПТ в системе индивидуальной закачки «УЭЦН в шурфе»

вает надежную работу в сочетании с СП НКТ. Также мы планируем усовершенствовать компоновку, дополнительно укомплектовав ее системами защиты от поглощения бурового раствора. Разработки в этом направлении уже ведутся.

При спуске установки для захвата трубы элеватором вместо стандартного монтажного патрубка применяется специальный патрубок, который обеспечивает уменьшение вертикальной нагрузки на резьбовую часть НКТ при монтаже подвески и уменьшает вероятность перекоса трубы при завинчивании. За счет разгрузки резьбовой части НКТ достигается гарантированное увеличение количества возможных СПО до 12.

Для свинчивания СП НКТ применяются специальные динамометрические ключи с ограничителем усилия. Кабель крепится к телу СП НКТ клямсами, также как к обычным стальным НКТ (рис. 6).

Несмотря на более высокую по сравнению со стальной стоимостью стеклопластиковой трубы, экономическая эффективность ее применения в системе ППД существенно выше за счет длительного безаварийного срока эксплуатации (табл. 2). Согласно расчетам, сутки работы СП НКТ обходятся примерно в три раза дешевле, а окупаемость наступает уже через 1,5 года.

С начала массовых закупок СП НКТ в 2007 году в России накопилось порядка 50 км труб, отбракованных по резьбе, что связано с практической невозможностью провести ремонт СП НКТ зарубежного производства по предлагаемым ими методикам. В отличие от зарубежных поставщиков «Завод стеклопластиковых труб» обеспечивает выполнение ремонта своих труб с полным восстановлением характеристик оборудования. Трубы доставляются в сервисный центр «ЗСТ», где производится перенарезание резьбы с последующей проверкой на устойчивость к растяжению и нагрузкам по давлению (рис. 7).

ПРИМЕНЕНИЕ ОБСАДНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ

Помимо СП НКТ, мы также предлагаем своим заказчикам обсадные и линейные стеклопластиковые трубы, которые могут использоваться на шурфовых насосных станциях для осуществления индивидуальной закачки рабочего агента с высоким давлением (рис. 8). Данное техническое решение было успешно испытано на месторождении одной из нефтедобывающих компаний Волго-Уральского региона.

Также СПТ могут применяться на водоводах высокого давления. Для этого мы дополнительно предоставляем услуги по проектированию, производству, шеф-монтажу и строительству трубопровода «под ключ», гарантийному и постгарантийному обслуживанию и ремонту оборудования. Кроме того, нами реа-