

## **ДОСТАВКА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ УЧАСТОК С ПОМОЩЬЮ СКВАЖИННОГО ТРАКТОРА**

С. Н. Нагаева, Л. М. Джабраилов

В современных условиях быстрого развития новых технологий, позволяющих получить и проанализировать детальную информацию о пластах и особенностях стволов скважин, у направления «Геофизические исследования скважин» появляется всё больше возможностей. Сущность любого метода геофизических исследований скважин состоит в измерении вдоль ствола скважины некоторой величины, характеризующей одно или совокупность физических свойств горных пород. Геофизика использует все известные человечеству физические поля (электрическое, электромагнитное, ядерных излучений, гравитационное, механических напряжений, тепловое), достижения фундаментальных наук (физики, химии, математики), электроники, микропроцессорной техники, а также компьютерные и геоинформационные технологии [1].

По мнению профессора Хмелевского В. К., эффективность геофизических работ определяется, прежде всего:

- чувствительностью метода;
- качеством техники спуска прибора, доставки его на забой;
- её помехозащищенностью;
- способом проведения работ, куда входит выбор системы наблюдений, расстоянием между пунктами наблюдений (шаг съемки при профильных) и между профилями (при площадных наблюдениях) [5].

При постепенно усложняющихся конструкциях скважин – появление наклонных, горизонтальных, s-образных или «извилистых» стволов – в арсенале многих геофизических компаний сокращается инструментарий для проведения работ безопасным образом [2]. Необходимое качество и полнота запланированного объема геофизических исследований скважин в большой степени зависят от технического состояния скважины, оборудования и технологий спуска приборов в скважину. В настоящее время геофизические исследования проводят в скважинах, максимальные глубины которых в ряде случаев превышают 7–8 км. Для значительного числа скважин характерны высокие температуры и давления, агрессивная среда (отложения солей, сероводородо-содержащие пласты), аномально высокие пластовые давления, большие перепады температуры окружающей среды, значительная удаленность места проведения работ от базы [2]. На территории Западной Сибири большое количество скважин имеют горизонтальное окончание.

Для выполнения исследований в скважинах с горизонтальным окончанием, особенностью которых является проталкивание приборов для проведения работ, применяется ряд технологий, таких как колтубинг (гибкая труба), доставка скважинным трактором, применение жесткого геофизического кабеля. На рисунке 1 показана схема мобильной колтубинговой установки для проведения технологических операций с использованием гибкой трубы.

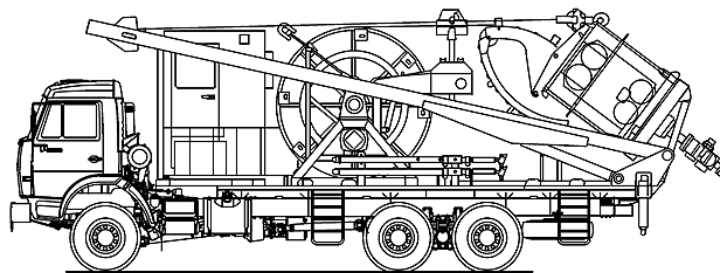


Рисунок 1 – Колтубинговая установка М1002

По нашему мнению, из перечисленных технологий именно применение скважинного трактора для доставки геофизического оборудования в горизонтальный ствол позволяет результативно расходовать энергию, являясь таким образом наиболее энергоэффективной.

В последнее время сервисные геофизические компании закупают как отечественные, так и зарубежные приборы и аппаратуру с целью исследования горизонтальных участков.

Рассмотрим возможности скважинного трактора фирмы Sondex (Англия) с гидравлическим приводом. Данный трактор обеспечивает оптимальное решение для размещения оборудования в любом месте горизонтальной скважины и является наиболее закупаемым отечественными геофизическими компаниями.

Скважинный трактор Sondex транспортирует скважинные инструменты в горизонтальных или сильно наклонных участках обсаженных нефтяных скважин. Он позволяет выполнять каротаж за пределами глубины свободного падения без использования гибкой НКТ или других механических систем размещения. Транспортируемые инструменты обозначаются как расположенное перед трактором оборудование. В транспортируемую сборку приборов могут входить промыслово-каротажные приборы, приборы контроля обсадных колонн, пробки и пакеры, перфораторы и другое механическое и электронное оборудование. Скважинный трактор использует стандартный одножильный кабель 7/32 дюйма и толще, а также многожильные кабели.

Перед тем как приступить к обслуживанию скважины с помощью трактора, необходимо тщательно изучить характер ствола буровой скважины до требуемой глубины. Для этого необходимо знание траектории и завершения скважины. Планирование работы включает в себя оценку нагрузки на трактор, необходимой для достижения требуемой глубины, а также натяжения кабеля для подъема инструментов из скважины. Эти значения затем необходимо сравнить с номинальными характеристиками оборудования. Для типичных наклонных и горизонтальных траекторий скважины расчет этих значений может представлять определенную сложность. Эту задачу можно выполнить в программном обеспечении моделирования скважины (WEST) [3].

Чтобы выполнить моделирование, необходимо знать коэффициенты трения кабеля и инструментов о трубу. Инструментальная система WEST поддерживает расчет этих коэффициентов на основе данных натяжения кабеля, записанных ранее при аналогичных условиях в скважине. Кроме этого, можно использовать значения по умолчанию, установленные на основе опыта использования трактора. Значения коэффициентов трения можно подстроить во время выполнения работы, согласуя прогнозируемые значения с измеряемыми в режиме реального времени значениями натяжения кабеля. Это позволяет использовать полученные в верхней части скважины показания натяжения кабеля для более точного прогнозирования натяжения кабеля на большей глубине. Кроме того, инструментальная система WEST позволяет импортировать значения натяжения кабеля и нагрузки на трактор и отображать их рядом с прогнозируемыми значениями в режиме реального времени. Инструментальная система WEST поддерживает расчет нагрузки на трактор.

Нагрузка на трактор представляет собой сумму сопротивления буксируемого трактором кабеля и сопротивления сборки приборов (включая трактор) за вычетом содействия гравитационных сил. Кабель постоянно оказывает сопротивление движению трактора по горизонтальной скважине. Сила сопротивления пропорциональна длине буксируемого кабеля и весу погонного метра кабеля. Компания рекомендует использовать одножильный каротажный кабель, вес которого меньше, чем у семижильного кабеля. Сопротивление сборки приборов увеличивается при увеличении наклона скважины и остается относительно постоянным в горизонтальной секции в том случае, если в обсадной трубе отсутствуют загрязнения, увеличивающие сопротивление сборки приборов. По мере увеличения горизонтальной секции скважины требуемое натяжение кабеля для подъема инструментов увеличивается, и, следовательно, возможное натяжение на кабельной головке для разрыва слабой точки (заделки) уменьшается. Инструментальная система WEST учитывает это явление и дает инструкции по

выбору кабеля и слабых точек (заделок) [3]. На рисунке 2 изображены линии расчетных (ровная линия) и измененных (зигзагообразная линия) данных.

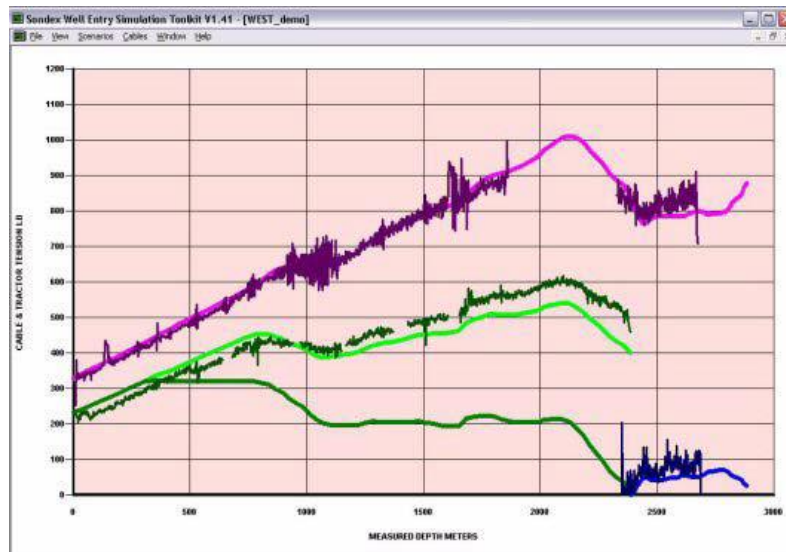


Рисунок 2 – Инструментальная система WEST: измеренные и расчетные данные

Инструментальная система WEST выводит следующие данные (рис. 2):

- графики траектории ствола скважины;
- графики нагрузки на трактор и нагрузки на кабельную головку;
- графики натяжения кабеля при спуске и подъеме сборки приборов;
- растяжение кабеля;
- конечная скорость сборки приборов;
- прогнозируемая глубина свободного падения;
- доступное натяжение на кабельной головке в случае приложения максимально допустимого усилия на поверхности;
- ограничения кривизны и интенсивности набора угла скважины;
- эффекты фонтанного подъемника скважины;
- наложение фактических данных и данных моделирования.

На рисунке 3 показана схема скважинного трактора фирмы Sondex.

Доставку геофизического прибора или сервисного оборудования в горизонтальную скважину с помощью данного устройства осуществляют следующим образом: скважинный трактор соединяют муфтой 9 с геофизическим прибором и геофизическим кабелем (на рисунке не показан), или с сервисным оборудованием и геофизическим кабелем (на рисунке не показан) и спускают в скважину.

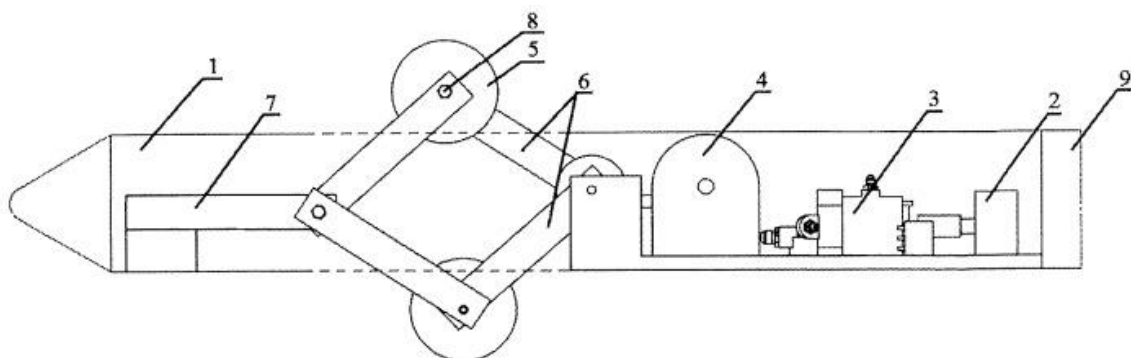


Рисунок 3 – Схема скважинного трактора

- 1 – корпус; 2 – электромотор; 3 – насос; 4 – гидромотор; 5 – колёса; 6 – расклинивающие опоры; 7 – активатор опор; 8 – оси; 9 – муфта

При достижении трактором горизонтального участка скважины включают электродвигатель 2, который приводит в движение активатор расклинивающих опор 7. Расклинивающие опоры 6 раздвигаются, и колеса 5 упираются в стенки скважины. При достижении необходимой силы прижатия активатор расклинивающих опор 7 прекращает раздвигать расклинивающие опоры. Крутящий момент с электродвигателя 2 передается на насос 3, приводящий в действие гидромотор 4. С гидромотора 4 через цепную передачу (на рисунке не показана) приводятся в движение колеса 5. Связь с трактором осуществляется посредством одножильного кабеля. Непрерывная связь с поверхностью обеспечивает полную управляемость трактора. Трактор удобен в эксплуатации, достаточно прост в транспортировке и может обслуживать скважины различного диаметра [4].

Компания предлагает также эксплуатацию «сдвоенного трактора». Применение «сдвоенного трактора» позволяет повысить способность скважинного трактора преодолевать препятствия в скважине. Верхний трактор в сборке работает в нормальном режиме. Если он сталкивается с препятствием, которое не в состоянии преодолеть, питание подается на нижний трактор, который проталкивает сборку через препятствие. Это решение эффективно только для случаев, когда единственной проблемой является преодоление определенного препятствия. Нижний трактор проталкивается через препятствие в область, где он может эффективно тянуть за собой сборку.

Данная аппаратура активно применяется геофизиками треста «Сургутнефтегеофизика» и ПФ «Севергазгеофизика». В основном скважинный трактор Sondex удовлетворил всем критериям качества и лёгкости использования и существенно повысил безопасность работ за счет уменьшения времени проведения операций. Количество привлекаемого персонала сократилось, поскольку не потребовалось применение традиционных установок капитального ремонта скважин и колтюбинговых установок.

Кроме скважинного трактора фирмы Sondex, геофизические компании применяют скважинные тракторы таких известных разработчиков, как Welltec, Schlumberger (Франция), Smar Tract (США), которые также отличаются высоким качеством и энергоэффективностью. На данный момент все перечисленные компании предоставляют свои услуги во всех регионах Российской Федерации.

Однако далеко не все отечественные геофизические компании имеют возможность приобрести дорогостоящее оборудование зарубежных фирм, так как его импорт во много сказывается на бюджете, запасные части стоят необоснованно дорого, и, несомненно, такие приобретения замедляют развитие отечественных технологий. Известно, что экономическое положение стран-экспортеров сырьевых товаров постепенно ухудшается, если они не прибегают к политике импортозамещения. Кроме того, стране (в том числе и России), сталкивающейся с дефицитом валюты и резким удорожанием импортной продукции, крайне необходимо проведение данной политики.

В 2014 г. компания ООО НПП «Керн» (портфельная компания УК «Сберинвест») приступила к разработке отечественного трактора. В разработке нового трактора «Керн» с гидравлическим приводом используются принципы авиационной гидравлики, позволяющие резко сократить массу и габариты, повысить рабочие характеристики, надежность, ресурс, обеспечить дублирование систем управления и складывания в транспортное, безопасное состояние в случае аварийных нештатных ситуаций. К недостаткам можно отнести наличие между гидравлическим мотором и колёсами цепного привода, на котором возникают потери мощности, также усложнение конструкции прибора за счёт использования дополнительного электродвигателя для активатора расклинивающих опор. Также в системе скважинного трактора отсутствуют элементы, позволяющие складывать опоры в случае отказа электромотора с целью извлечения прибора из скважины.

В таблице 1 показаны конкурентные преимущества отечественных и зарубежных производителей скважинного трактора для доставки геофизической аппаратуры в горизонтальный участок.

**Конкурентные преимущества отечественных и зарубежных производителей**

Разработчики	«Керн»	SmarTract	Schlumberger	Welltec	Sondex
Отзывы геофизиков	на стадии оценки	отсутствуют	отсутствуют	+	+
Возможность приобретения Российскими компаниями	±	+	отсутствует	отсутствует	+
Безаварийное извлечение	+	+	данных нет	+	+
Система привода	гидравлическая	электро-механическая	гидравлическая	гидравлическая	электро-механическая
Доработки по требованиям геофизических компаний	+	нет возможности	нет возможности	нет возможности	нет возможности

В заключение можно отметить, что энергоэффективность всегда находилась на стыке инженерных разработок и экономики, и такая геофизическая аппаратура, как скважинный трактор совершила настоящую революцию в области скважинных операций. Распространение этой технологии по всему миру является отчетливым показателем того, что она действительно является не только энергоэффективной, но и повышает безопасность при проведении скважинных операций. Разработки российских компаний в этой области позволяют не только снизить стоимость оборудования для отечественных заказчиков, но и обеспечить заказчикам информационную безопасность.

**Литература**

1. Богданович, Н. Н. Геофизические исследования скважин [Текст] : справочник мастера по промысловой геофизике / Н. Н. Богданович. – Москва : Инфра-инженерия, 2009.
2. Корженевский, А. Г. Новые технологии, средства для геофизических исследований горизонтальных скважин [Текст] / А. Г. Корнежевский, А. А. Корнежевский // Сборник материалов семинара. – М., 1998.
3. Руководство по эксплуатации и обслуживанию скважинного трактора MDT001, 2009.
4. Шилов, А. А. Исследования действующих горизонтальных скважин с использованием забойного трактора [Текст] / А. А. Шилов, Г. З. Валеев, В. М. Коровин [и др.] // Бурение и нефть. – 2012. – № 10.
5. Хмелевский, В. К. Геофизика [Текст] : учебник / В. К. Хмелевский. 3-е изд. – Москва : КДУ, 2012.