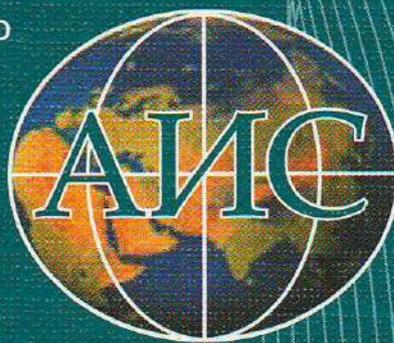


МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
И ДЕЛОВОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ
ИССЛЕДОВАНИЯМ И РАБОТАМ В СКВАЖИНАХ

ISSN 1810-5599



3

(237)



ООО НПФ «АМК ГОРИЗОНТ»
15 лет

КАРОТАЖНИК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

ТВЕРЬ 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор
Н. С. Березовский**

**Зам. гл. редактора,
научный редактор**
Ю. И. Кузнецов, д. г.-м. н., проф.

Отв. редактор С. В. Ларева

Редактор И. В. Шункова

Члены редакционной коллегии:

Ю. Н. Бармаков, д. т. н., проф.

Я. Н. Басин, д. т. н., проф. (США)

А. М. Блюменцев, д. т. н., проф.

А. Ф. Боярчук, к. г.-м. н.

Р. А. Валиуллин, д. т. н., проф.

В. А. Велижанин, к. т. н.

И. Н. Гайворонский, д. т. н., проф.

С. А. Дудаев, д. т. н.

Ф. Х. Еникеева, д. т. н.

В. Ю. Зайченко, д. г.-м. н.

В. И. Иванников, д. т. н., проф.

Л. Е. Кнеллер, д. т. н., проф.

Н. Г. Козыряцкий, к. т. н.

В. Ф. Козяр, д. т. н., проф.

А. К. Коньсов, д. т. н. (Казахстан)

М. Д. Красножон, д. геол. н.

(Украина)

А. А. Кременецкий, д. г.-м. н., проф.

О. Л. Кузнецов, д. т. н., проф.

Э. Е. Лукьянов, д. т. н.

А. В. Малинин, к. г.-м. н.

Ф. П. Митрофанов, д. г.-м. н.,
проф., академик РАН

А. А. Молчанов, д. т. н., проф.

Т. Н. Нестерова, к. т. н.

Г. А. Павленко, к. т. н.

В. А. Трофимов, д. г.-м. н., проф.

В. Г. Фоменко, д. г.-м. н., проф.

Р. Т. Хаматдинов, д. т. н., проф.

М. И. Эпов, д. т. н., проф.,

академик РАН

Г. Г. Яценко, д. г.-м. н.

Издательство "АИС"

Россия, 170041, г. Тверь,
ул. Зинаиды Коноплянниковой,
д. 17, корп. 1

Лицензия ЛР № 030838

от 29 июня 1998 г.

Свидетельство ПИ № 77-36891

от 20 июля 2009 г.

Индекс Роспечати – 82015.

ISSN 1810-5599.

Подписано в печать 3.03.2014.

Формат 60/84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,5.

Тираж 1130. Зак. № 1444.

Компьютерная верстка, макет

ООО "Издательство "Триада".

Отпечатано в ООО "Тверская
фабрика печати".

© Издательство "АИС", 2014



Научно-технический вестник

(рецензируемое издание)

Год издания двадцать третий

КАРОТАЖНИК

Выпуск 3 (237)

Посвящен 15-летию

ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"

**ТВЕРЬ
2014**

УДК 550.832

П. В. Переверзин
ООО НПФ "АМК ГОРИЗОНТ"

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБИНОМЕРА В СОСТАВЕ АМК "ГОРИЗОНТ"

Рассмотрены круг вопросов, связанных с применением аппаратуры регистрации перемещений талевого блока АРП-Н, входящего в состав аппаратурно-методического комплекса (АМК) "ГОРИЗОНТ", а также особенности конструкции датчиков и их монтажа на буровой и основные возможности программного обеспечения для привязки скважинных измерений к глубине.

Ключевые слова: геофизические исследования, каротаж на бурильных трубах, автономная скважинная аппаратура, регистратор перемещений талевого блока, датчик натяжения талевого троса, привязка скважинных измерений к глубине.

Задача привязки по глубине данных, регистрируемых скважинной аппаратурой в процессе каротажа, имеет два основных аспекта: аппаратный и методический. Они хорошо изучены и успешно решаются в стандартной геофизике – при доставке приборов к интервалу исследования на кабеле. Особенностью методики исследований скважин автономными приборами, спускаемыми на бурильных трубах, является отсутствие информационного канала связи с поверхностью. Поэтому обычные способы привязки результатов скважинных измерений к глубине, применяемые при каротаже на кабеле, заключающиеся в параллельной регистрации на поверхности забойных параметров и соответствующих им глубин, в этом случае не могут быть реализованы. Кроме того, конструкция существующих наземных средств измерения глубин не позволяет их использовать при спуске скважинных приборов на бурильных трубах.

Таким образом, одной из задач, решаемых при разработке скважинной аппаратуры, спускаемой на бурильных трубах, является ее дополнение аппаратурой регистрации перемещений автономных приборов.

Так как автономные скважинные приборы жестко связаны с буровой колонной, то их перемещение вдоль ствола скважины можно отслеживать по перемещению талевого блока. Однако технология спускоподъемных работ на буровой такова, что во время вспомога-

тельных операций неизбежно возникают так называемые холостые пробеги, в результате которых при движении талевого блока без бурового инструмента скважинный прибор не перемещается. Такие холостые пробеги необходимо фиксировать по весу на талевом блоке. Кроме того, скорость движения буровой колонны может иметь неравномерный характер как при спуске/подъеме одной “свечи”, так и на всем интервале исследования в целом. Следовательно, для получения полноценной информации о движении автономного скважинного прибора необходимы, во-первых, датчик перемещения талевого блока (глубиномер), во-вторых, датчик веса на талевом блоке. Данные этих датчиков должны быть синхронизированы с информацией скважинных приборов.

В процессе эксплуатации АМК “ГОРИЗОНТ” были определены основные требования к аппаратуре регистрации перемещений автономных скважинных приборов. Во-первых, конструкция первичных преобразователей (датчиков) должна обеспечивать быстрый монтаж/демонтаж без вмешательства в конструкцию буровой установки. Причем их весовые характеристики должны находиться в пределах, обеспечивающих возможность установки одним человеком. Во-вторых, учитывая многообразие моделей буровых установок и их техническое состояние, датчики должны обладать определенной универсальностью по способу и месту установки. При этом установка аппаратуры регистрации перемещений не должна влиять на процесс работы буровой бригады.

С учетом описанных выше требований в ООО НПФ “АМК ГОРИЗОНТ” разработана и серийно выпускается аппаратура регистрации перемещений талевого блока АРП-Н (далее АРП), которая представляет собой наземный комплекс, предназначенный для использования в системах сбора геолого-технологической информации в процессе проведения геофизических исследований нефтегазовых скважин автономными приборами на бурильных трубах. Обработывая данные первичных преобразователей перемещения талевого блока и весовой нагрузки на трос буровой лебедки, аппаратура позволяет измерять перемещения автономного скважинного прибора вдоль ствола скважины. В состав АРП входят регистратор перемещений талевого блока РП-45 и датчик натяжения талевого троса ДН (табл.).

Регистратор перемещений представляет собой так называемую электронно-механическую рулетку, которая состоит из тросоукладчика

и барабана с намотанным на него тросом (рис. 1). Для вращения барабана в нем установлен электрический двигатель. Вся конструкция помещена в защитный корпус. Внутри корпуса также установлен электронный блок, который управляет работой двигателя.

Таблица

Основные технические характеристики РП-45 и ДН

Максимальное измеряемое перемещение, м	45
Максимальное время непрерывной записи, ч	84
Шаг дискретизации записи, с	1,048
Диапазон рабочих температур, °С	-40 ... +45
Разрешающая способность РП, мм, не более	0,2
Габариты РП-45, мм, не более	550 × 350 × 250
Масса РП-45, кг, не более	20
Максимальная неразрушающая нагрузка ДН, т	10
Максимальный диаметр талевого троса, мм	40
Габариты ДН, мм, не более	240 × 110 × 270
Масса ДН, кг, не более	15

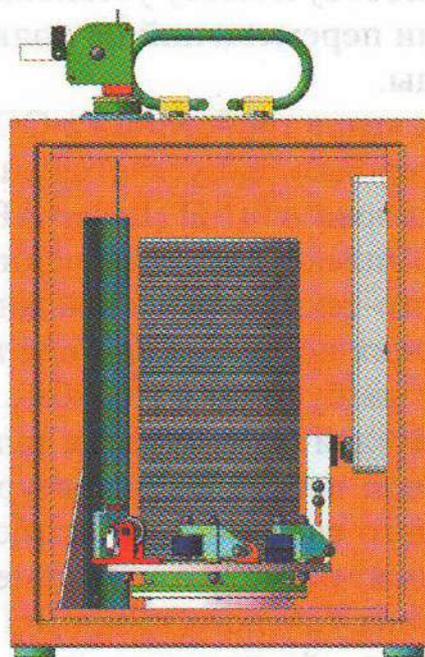


Рис. 1. Конструкция РП-45

Через цифровой канал связи RS-485 к регистратору подключается датчик натяжения. Связь РП-45 с персональным компьютером реализована через устройство сопряжения (УСО) из состава АМК "ГОРИЗОНТ" по цифровому каналу связи RS-485.

Принцип действия РП-45 заключается в следующем. Измерительный трос регистратора перемещений крепится на талевом блоке. При движении талевого блока вверх трос разматывается и вращает барабан, при движении вниз двигатель вращает барабан и сматывает трос. Встроенный энкодер преобразует вращение барабана в цифровую последовательность импульсов, которая регистрируется в электронном блоке. Показания ДН также фиксируются в электронном блоке регистратора. Фиксируемые регистратором перемещения параметры автоматически передаются во встроенную память и затем через УСО в персональный компьютер.

Датчик натяжения представляет собой датчик деформации в виде пластинчатого упругого элемента (рис. 2), который крепится на неподвижный ("мертвый") конец талевого троса буровой лебедки. При установке упругий элемент опирается на трос внешними опорными площадками. При натяжении деформированного талевого троса возникает боковая сила, изгибающая упругий элемент. Сила натяжения талевого троса (соответственно и величина деформации упругого элемента) зависит от веса на талевом блоке. Измерение величины деформации опорной площадки осуществляется методом, основанном на тензоэффекте. Стоит отметить, что для отслеживания холостых пробегов достаточно информации об относительном изменении веса на талевом блоке.

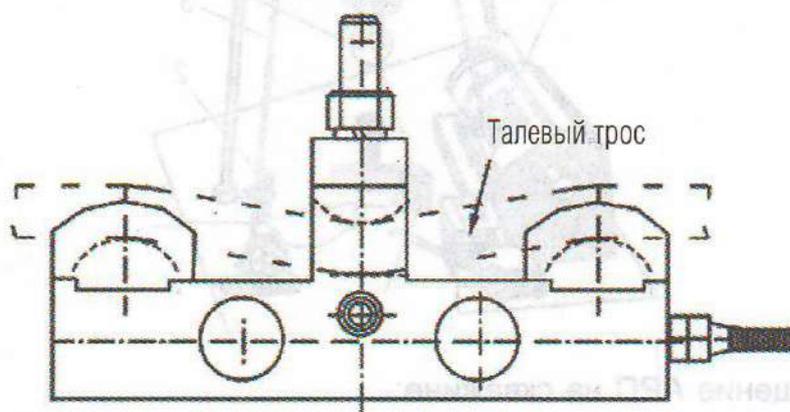


Рис. 2. Конструкция датчика натяжения талевого троса буровой лебедки

Для управления режимами работы, синхронизации со скважинной аппаратурой и отображения регистрируемых параметров на экране персонального компьютера используется “Программа регистрации”, которая работает в операционной среде Windows. В состав схемы управления РП-45 входит таймер, аналогичный таймеру в скважинном приборе. В момент установки времени задержки старта записи скважинного прибора в “Программе регистрации” происходит синхронизация таймеров. Таким образом, достигается синхронизация данных наземных датчиков АРП и информации, регистрируемой скважинной аппаратурой.

Для преобразования данных, полученных в процессе проведения каротажа, и автоматического расчета глубины скважины используется программа “Горизонт”, которая также работает в операционной среде Windows.

На рис. 3 представлена типовая схема установки датчиков АРП на буровой. Преимуществом конструкции РП-45 относительно других механических методов является отсутствие необходимости монтажа на буровой.

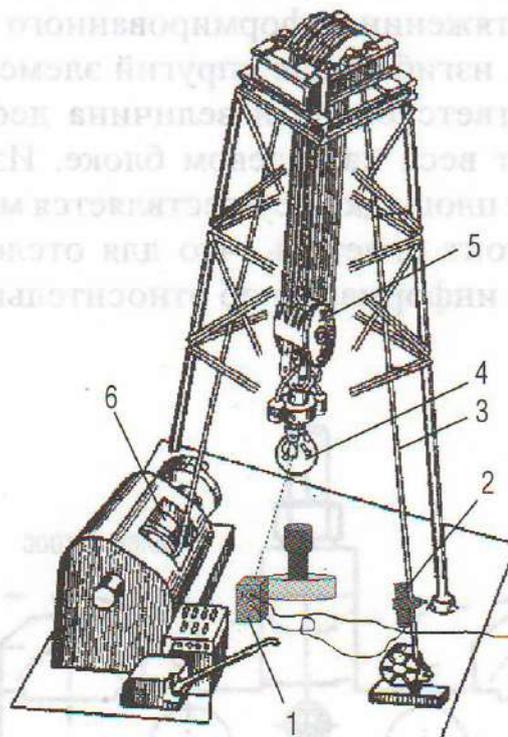


Рис. 3. Размещение АРП на скважине:

1 – РП-45; 2 – ДН; 3 – неподвижный конец талевого троса; 4 – крюк; 5 – талевый блок; 6 – буровая лебедка

Однако, как видно из рис. 3, конструкция буровой не позволяет установить РП-45 так, чтобы измерительный трос двигался параллельно к буровому инструменту. В результате применяемый метод механической рулетки обладает определенной нелинейностью. Учет нелинейности регистратора перемещений реализуется математическим способом в программе "Горизонт".

На рис. 4, а изображена вертикальная проекция установки РП-45 на скважине. Как видим, измерительный трос регистратора перемещений является одной из сторон прямоугольного треугольника (гипотенуза) с вершинами в точках А, В и С, где В – точка крепления измерительного троса на талевом блоке; С – точка выхода измерительного троса из корпуса РП-45; А – виртуальная точка пересечения катетов прямоугольного треугольника. На рис. 4, б изображена геометрическая модель для вычисления перемещения талевого блока.

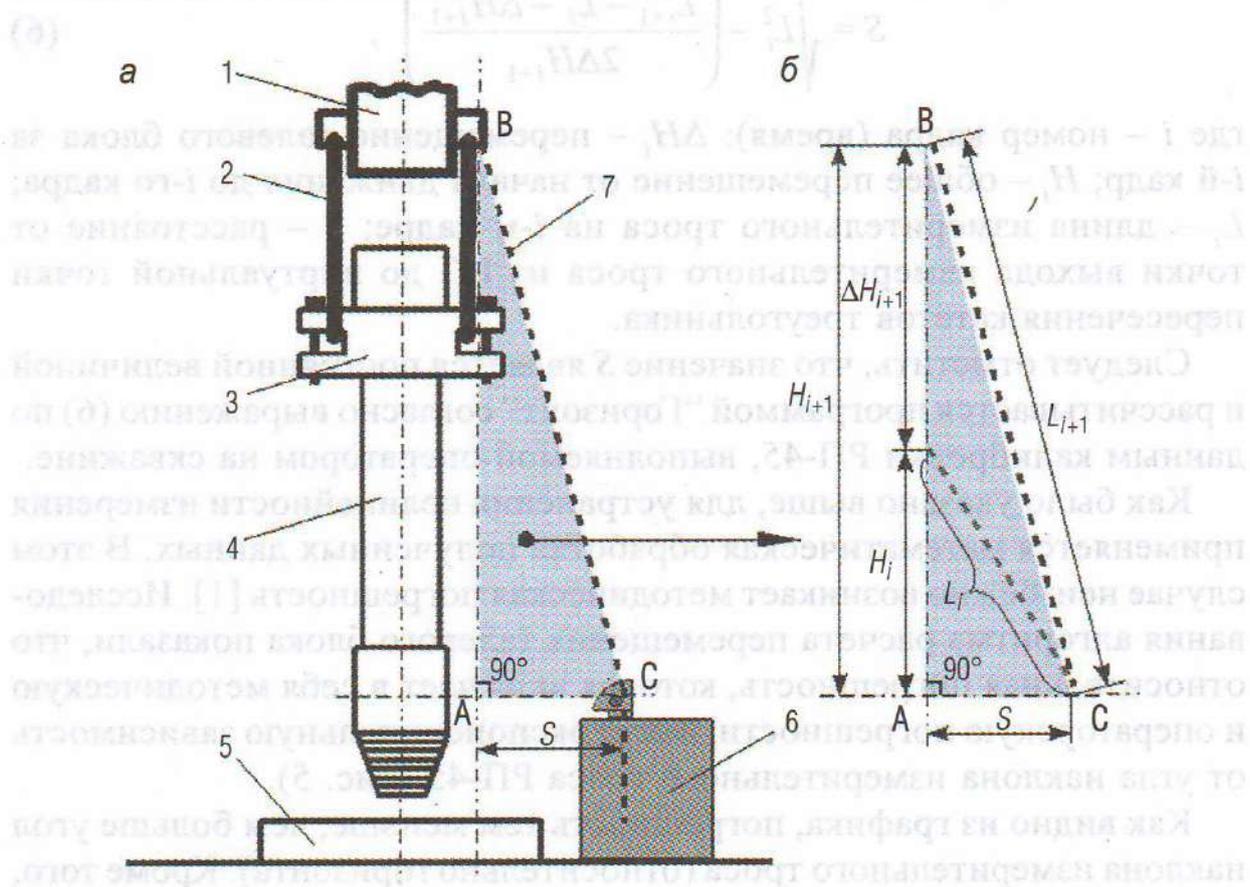


Рис. 4. Вертикальная проекция установки РП-45 на скважине (а): 1 – талевый блок; 2 – штропы; 3 – элеватор; 4 – буровой инструмент; 5 – стол ротора; 6 – РП-45; 7 – трос РП-45; геометрическая модель для вычисления перемещения талевого блока (б)

Для учета нелинейности измерения перемещения применяемого талевого блока в программе “Горизонт” используются следующие элементарные формулы для прямоугольного треугольника (рис. 4, б):

$$H_i = \sqrt{L_i^2 - S^2}; \quad (1)$$

$$L_{i+1}^2 = (H_i + \Delta H_{i+1})^2 + S^2; \quad (2)$$

$$\Delta H_{i+1} = \sqrt{L_{i+1}^2 - S^2} - H_i; \quad (3)$$

$$\Delta H_{i+1} = \sqrt{L_{i+1}^2 - S^2} - \sqrt{L_i^2 - S^2}; \quad (4)$$

$$L_{i+1}^2 = L_i^2 + \Delta H_{i+1}^2 + 2\Delta H_{i+1}\sqrt{L_i^2 - S^2}; \quad (5)$$

$$S = \sqrt{L_i^2 - \left(\frac{L_{i+1}^2 - L_i^2 - \Delta H_{i+1}^2}{2\Delta H_{i+1}} \right)^2}, \quad (6)$$

где i – номер кадра (время); ΔH_i – перемещение талевого блока за i -й кадр; H_i – общее перемещение от начала движения до i -го кадра; L_i – длина измерительного троса на i -м кадре; S – расстояние от точки выхода измерительного троса из РП до виртуальной точки пересечения катетов треугольника.

Следует отметить, что значение S является постоянной величиной и рассчитывается программой “Горизонт” согласно выражению (6) по данным калибровки РП-45, выполняемой оператором на скважине.

Как было указано выше, для устранения нелинейности измерения применяется математическая обработка полученных данных. В этом случае неизбежно возникает методическая погрешность [1]. Исследования алгоритма расчета перемещения талевого блока показали, что относительная погрешность, которая включает в себя методическую и операторскую погрешности, имеет экспоненциальную зависимость от угла наклона измерительного троса РП-45 (рис. 5).

Как видно из графика, погрешность тем меньше, чем больше угол наклона измерительного троса (относительно горизонта). Кроме того, было установлено, что при угле наклона 45° и более вклад методической погрешности в общую результирующую погрешность становится пренебрежимо мал, а при увеличении угла до 60° и выше – уже и влияние операторской погрешности стремится к нулю.

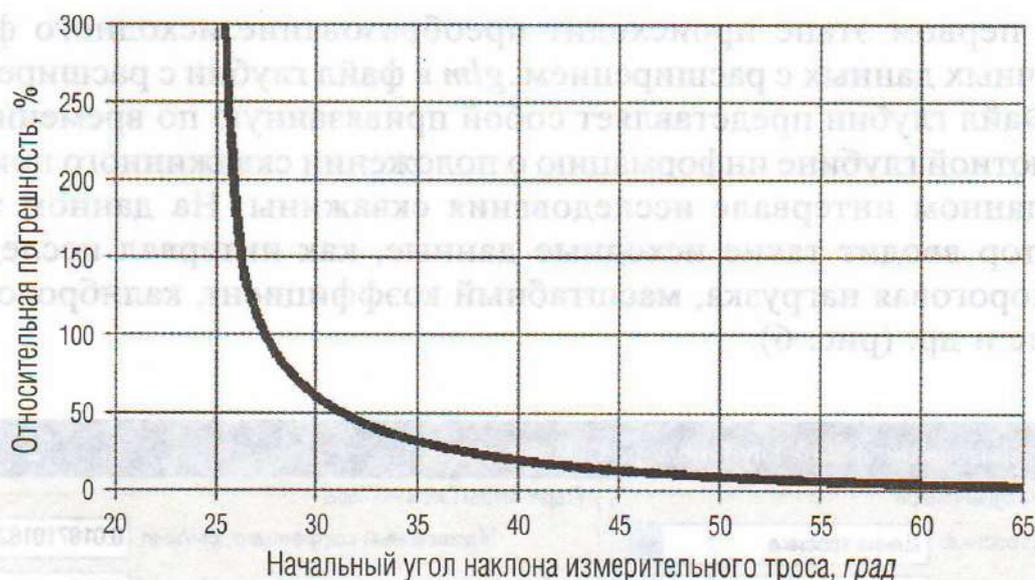


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности вычисленного перемещения талевого блока от угла наклона измерительного троса РП-45

Опыт использования АРП в составе АМК «ГОРИЗОНТ» показал, что условие установки РП-45, при котором угол наклона измерительного троса не опускается ниже 45° , легко выполнимо. Для этого надо руководствоваться следующим правилом: размещать РП как можно ближе к столу ротора, а свободный конец измерительного троса крепить как можно выше. Операторскую погрешность также можно минимизировать путем многократных измерений.

В итоге, выполняя описанные выше рекомендации, можно достичь минимальной погрешности измерения перемещения талевого блока, которая будет определяться погрешностью средств измерения, используемых при метрологической калибровке и градуировке РП-45.

В стандартной комплектации АРП, поставляемой в составе АМК «ГОРИЗОНТ», имеется лазерный дальномер DLE-40 фирмы Bosh, используемый при метрологической калибровке и градуировке РП-45. Согласно паспорту на DLE-40 типовая погрешность измерения составляет $\pm 1,5$ мм. Таким образом, погрешность измерения регистратора перемещений РП-45, при соблюдении описанных выше условий, может составить $\pm 1,5$ мм на интервале одной свечи, длина которой, как правило, находится в диапазоне от 20 до 30 м.

Окончательная обработка данных, полученных в процессе проведения каротажа, и автоматический расчет глубин по заданному алгоритму осуществляются в программе «Горизонт» в несколько этапов.

На первом этапе происходит преобразование исходного файла первичных данных с расширением *.glm* в файл глубин с расширением *.gll*. Файл глубин представляет собой привязанную по времени и по абсолютной глубине информацию о положении скважинного прибора на заданном интервале исследования скважины. На данном этапе оператор вводит такие исходные данные, как интервал исследования, пороговая нагрузка, масштабный коэффициент, калибровочные данные и др. (рис. 6).

Рис. 6. Окно для ввода данных оператором в программе “Горизонт”

Как уже отмечалось, показания датчика натяжения являются относительными. Поэтому задачей оператора является установка значения пороговой нагрузки ДН, по которому программа автоматически отсекает холостые пробеги талевого блока. Пороговая нагрузка выбирается в диапазоне между максимальным и минимальным значениями показаний ДН на интервале исследования. На рис. 7 представлена диаграмма с первичными данными АРП (кривые “Длина тросика” и “Датчик натяжения”), а также выбранное оператором значение

пороговой нагрузки и полученная в результате преобразования в программе “Горизонт” кривая глубины, которая описывает движение скважинного прибора. Для наглядности способа формирования кривой глубины участки стоянок скважинного прибора (холостые пробеги талевого блока), которые отсекаются по пороговой нагрузке, выделены голубым цветом.

В процессе геофизических исследований скважин не исключены такие осложнения, как прихваты. Для их устранения, как правило, проводят многократные спускоподъемные операции на одном и том же интервале каротажа. Такие моменты автоматически отслеживаются и учитываются при обработке первичных данных в программе “Горизонт”. Кроме того, в программе оператору доступны настройки способа формирования интервалов движения – от подошвы или от кровли. Если во время каротажа происходит прихват буровой колонны и последующее ее “расхаживание”, то в процессе создания файла глубины будет использована, в зависимости от настройки, последняя (от кровли) или первая (от подошвы) запись интервала.

На рис. 8 приведен пример обработки данных АРП, полученных при каротаже осложненной скважины. Для наглядности интервалы с повторным прохождением участков скважины автономным прибором выделены серым цветом. Здесь представлены две кривые глубины одного и того же интервала, но сформированные разными способами. Как видно из диаграммы, кривые глубины имеют расхождение только на интервалах “расхаживания” буровой колонны, а на остальных участках они полностью совпадают. Опыт применения АРП показал, что для привязки скважинной информации предпочтительно выбирать кривую глубины с более равномерным характером. В данном случае это кривая глубины, сформированная от кровли.

В процессе преобразования первичных данных датчиков АРП вычисляется общая длина инструмента (интервала исследования) и для контроля оператором выводится в диалоговом окне (рис. 6). Дополнительно в программе “Горизонт” предусмотрена возможность создания файла глубины на основе данных о скорости движения буровой колонны при известной длине инструмента (интервала исследования). Общую длину инструмента на интервале исследования можно вычислить с высокой точностью, сложив длины буровых труб, которые, как правило, известны, но неизвестен порядок спуска труб в скважину. Порядок спуска в этом случае не имеет значения.

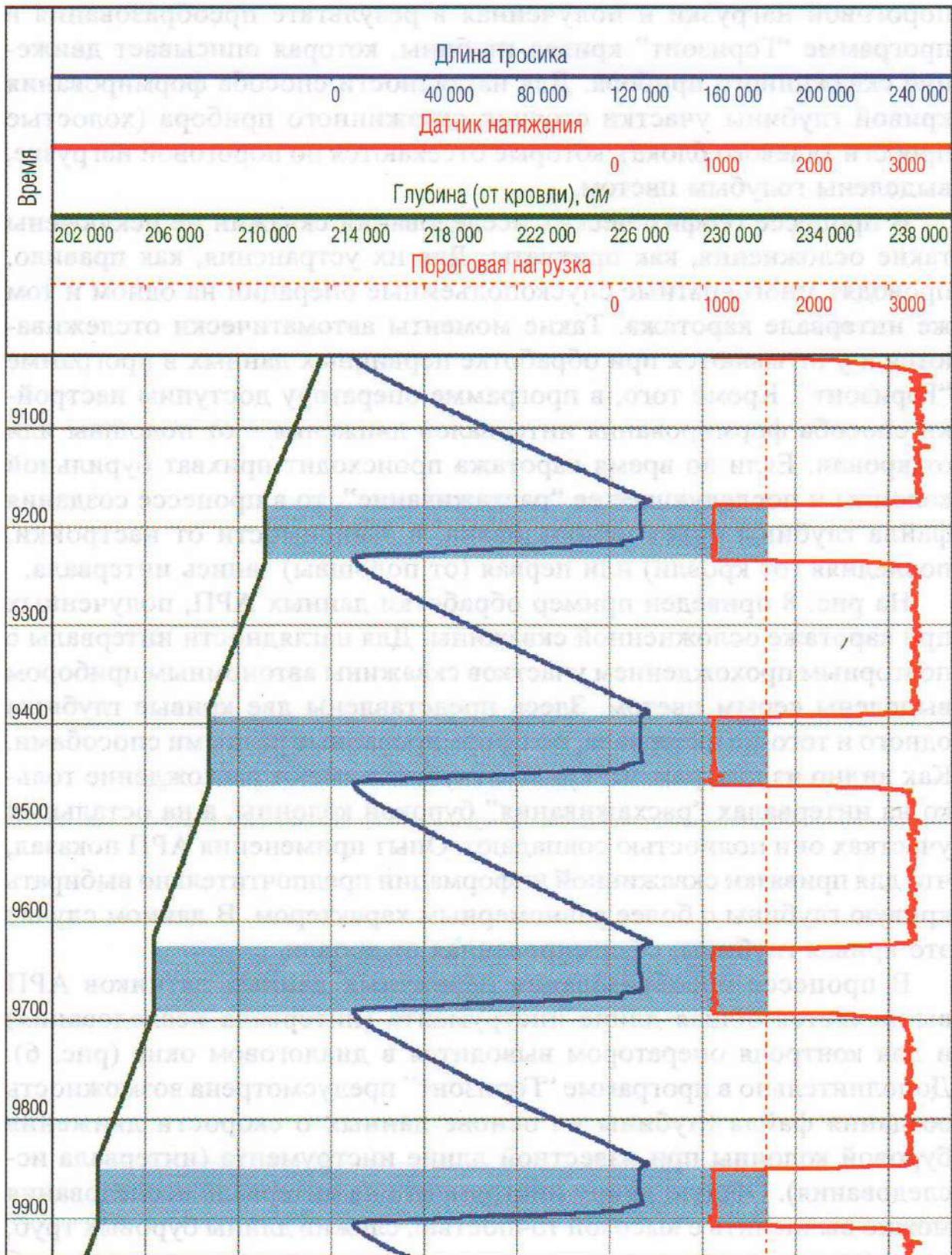


Рис. 7. Формирование кривой "Глубина"

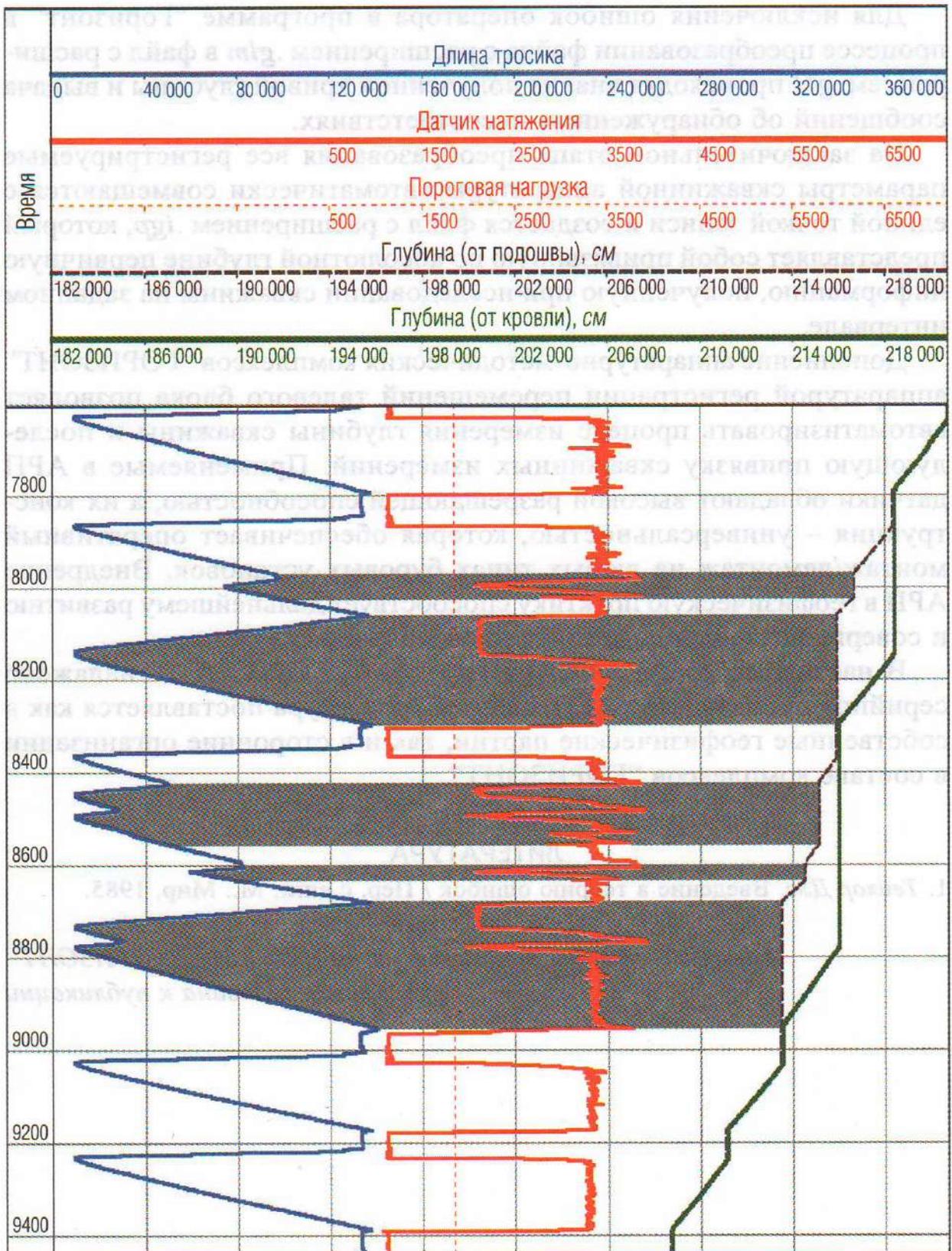


Рис. 8. Пример обработки данных АРП на осложненной скважине

Для исключения ошибок оператора в программе “Горизонт” в процессе преобразования файла с расширением *.glm* в файл с расширением *.gll* происходят анализ полученной кривой глубины и выдача сообщений об обнаруженных несоответствиях.

На заключительном этапе преобразования все регистрируемые параметры скважинной аппаратуры автоматически совмещаются с единой точкой записи и создается файл с расширением *.igr*, который представляет собой привязанную по абсолютной глубине первичную информацию, полученную при исследовании скважины на заданном интервале.

Дополнение аппаратурно-методических комплексов “ГОРИЗОНТ” аппаратурой регистрации перемещений талевого блока позволяет автоматизировать процесс измерения глубины скважины и последующую привязку скважинных измерений. Применяемые в АРП датчики обладают высокой разрешающей способностью, а их конструкция – универсальностью, которая обеспечивает оперативный монтаж/демонтаж на любых типах буровых установок. Внедрение АРП в геофизическую практику способствует дальнейшему развитию и совершенствованию методик исследования скважин.

В настоящее время в ООО НПФ “АМК ГОРИЗОНТ” налажено серийное производство АРП. Данная аппаратура поставляется как в собственные геофизические партии, так и в сторонние организации в составе комплексов “ГОРИЗОНТ”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок / Пер. с англ. М.: Мир, 1985.

*Рукопись статьи рассмотрена на НТС АМК “ГОРИЗОНТ”
и рекомендована к публикации*