

# Результаты исследований и работ ученых и конструкторов

---

---

УДК 550.832

*A. С. Буевич*

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МОДУЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА "ГРАНИТ-ОНИКС" ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Приведено краткое описание ультразвукового расходомера УЗИ и результатов его применения. Поскольку УЗИ является частью аппаратурного комплекса "Гранит-Оникс", указаны его характеристики.

*Ключевые слова:* обсаженная скважина, эксплуатация, поток, акустические измерения, комплекс.

Технологический комплекс "Гранит-Оникс" предназначен для геофизических исследований обсаженных скважин. Основными составными частями комплекса являются скважинная аппаратура "Гранит", регистрирующий комплекс (станция) "Оникс", средства обработки данных, интерпретации и подготовки заключения (пакет программ "Оникс").

Рассмотрим эти составляющие.

Программно-управляемый регистрирующий комплекс (станция) "Оникс" состоит из компьютера типа IBM PC, термоплоттера, интерфейсного блока с программно-управляемым источником питания

скважинной аппаратуры, программного обеспечения управления и системы обработки данных. Программное обеспечение работает в операционной среде Windows. Имеется портативный вариант регистрирующего комплекса. В системе предусмотрена аппаратурная база данных с метрологическими описаниями для всех приборов каждого предприятия, выпускающего данную аппаратуру.

**Скважинная аппаратура “Гранит”** состоит из набора модулей, каждый из которых представляет собой самостоятельный многопараметровый или однопараметровый прибор, подключенный к транзитной центральной жиле каротажного кабеля. Основной особенностью аппаратуры является уникальная многоканальная телеметрия, обеспечивающая одновременную работу любого набора модулей при их подключении к одножильному каротажному кабелю. Это, в частности, позволяет без труда включать в систему новые модули или различные их модификации.

Процесс измерения в названном комплексе обеспечивается последовательной цепочкой преобразования, начиная с кодирования сигналов в скважинном модуле и кончая метрологической обработкой. Для метрологической поддержки служит встроенная подсистема индивидуальной калибровки модулей.

Использование прецизионных датчиков температуры и элементов преобразовательных схем позволило выйти на уровень точности измерения температуры, сопоставимый с точностью калибровочных устройств (термостатов), обычно используемых на геофизических предприятиях. Поэтому фактически канал температуры аппаратуры “Гранит” сам по себе является эталонным и не требует калибровки. Канал термоанемометра (СТИ) выполнен также на основе прецизионного термостойкого датчика, обладает высокой надежностью и не требует калибровки.

Повышенную точность по сравнению с другими типами скважинной аппаратуры имеет канал измерения давления. Это достигнуто за счет использования специального алгоритма калибровки и подавления температурной зависимости датчика давления.

Еще одной отличительной особенностью скважинной аппаратуры является активный локатор муфт, показания которого, в отличие от применяемого обычно пассивного магнитоэлектрического локатора, не зависят от скорости движения прибора и намагниченности труб.

Скважинная аппаратура “Гранит” предназначена для работы при температуре среды до 150 °С.

**Программные средства обработки данных “Оникс”** ориентированы на оперативную обработку комплексных замеров большого количества параметров (давление, температура, метод “приток–состав” и др.).

В системе “Оникс” имеется база данных, в которой хранятся список площадей и скважин, сведения о конструкции скважин, регистрируемые данные и результаты обработки. Пакет программ “Оникс” предоставляет пользователю широкие возможности по оперативной обработке исходных данных в полуавтоматическом режиме.

В состав аппаратурного комплекса входят приборы для ультразвуковых исследований скважин УЗИ и УЗИ-П [1, 4].

На рис. 1 показан общий вид модуля УЗИ, основным назначением которого является измерение скорости потока жидкости, ее плотности,

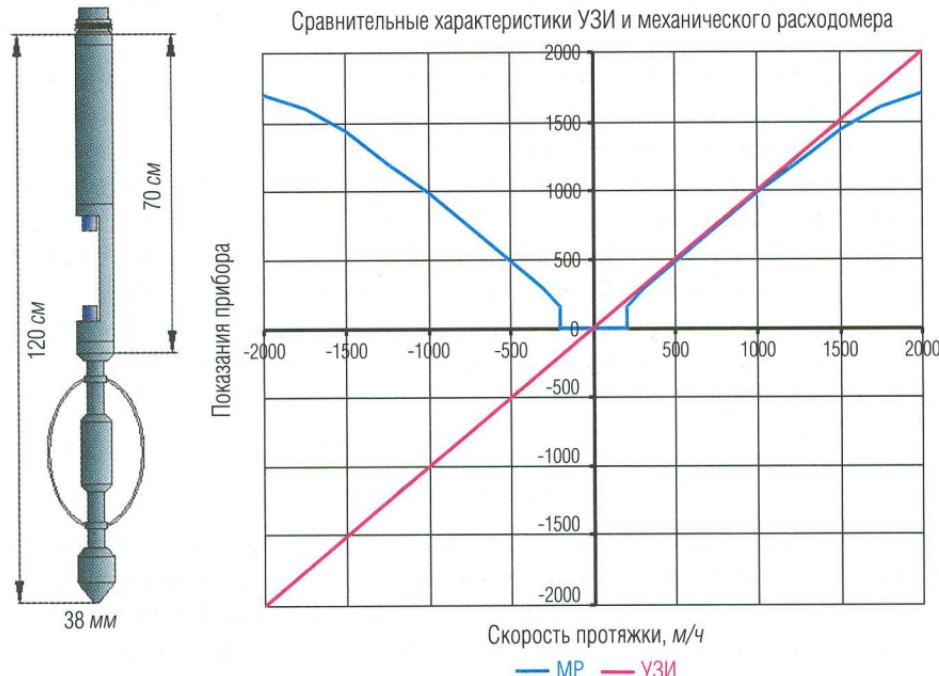


Рис. 1. Модуль УЗИ и сравнение типовых характеристик расходомера УЗИ и механического расходомера

а также определение границы появления всплывающей нефти или свободного газа в скважине. В неоднородной среде при наличии в воде частиц нефти или свободного газа прибор не работает, то есть затухание сигнала равно 100%. Поэтому преимущественной областью использования прибора является исследование нагнетательных скважин.

На рис. 1 также показаны типовые градуировочные характеристики обычного механического расходомера и прибора УЗИ. Кривые качественно отличаются. Показания механического расходомера не зависят от направления движения потока жидкости относительно прибора, что в ряде случаев существенно затрудняет интерпретацию, так как при движении прибора по направлению потока возможна смена направления вращения турбинки. Кроме того, к недостаткам механического расходомера следует отнести существование зоны нечувствительности в области малых дебитов (порог срабатывания) и ограничение в области больших дебитов. Расходомер УЗИ лишен этих недостатков.

Работа модуля основана на измерении скорости распространения и затухания ультразвуковых волн в жидкости, заполняющей скважину. Для определения скорости и плотности жидкости измеряется время прохождения импульса между излучателем и приемником акустических импульсов на базе  $L = 16 \text{ см}$ . Для оценки скорости потока измеряется разность времен пробега вдоль потока в противоположных направлениях  $dT = T_1 - T_2$ , а для определения плотности жидкости – среднее время пробега в том и другом направлении  $T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2)/2$ .

Подставляя вместо времен пробега скорости распространения упругих колебаний, получаем

$$T_1 - T_2 = \frac{L}{(V_0 + V)} - \frac{L}{(V_0 - V)} = \frac{2LV}{V_0^2 - V^2} \approx 2LV,$$

где  $V_0$  – скорость распространения акустических колебаний в данных условиях;  $V$  – скорость потока жидкости относительно прибора. Здесь учтено, что  $V^2 \ll V_0^2$  (различие не менее  $10^5$  раз). Из последнего выражения находим скорость потока относительно прибора:

$$V = (T_1 - T_2) \frac{V_0^2}{2L},$$

или, заменяя  $V_0 = \frac{2L}{(T_1 + T_2)}$ , окончательно получаем

$$V = \frac{2L(T_1 - T_2)}{(T_1 + T_2)^2}.$$

Поскольку временные интервалы измеряются с высокой точностью (используется высокостабильный кварцевый генератор), то формально можно сделать вывод, что результатом измерения является в чистом виде скорость потока и прибор не требует градуировки. Однако опыт показывает, что не удается сделать совершенно идентичные акустические преобразователи, поэтому реально имеется аппаратурное смещение нуля преобразовательной характеристики прибора в пределах  $\pm 40$  м/ч. Кроме того, из-за гидродинамических потерь эффективная база измерения в используемой конструкции оказывается примерно на 15% меньше расстояния  $L$  между преобразователями. Это приводит к соответствующему уменьшению чувствительности прибора. Опытные исследования проводились на нефтяных месторождениях Омана (Ближний Восток), где широко применяется закачка в пласты полимерного раствора. Этот раствор имеет консистенцию обойного клея, высокую вязкость и обладает свойствами неньютоновских жидкостей. Механические расходомеры в этих условиях практически неработоспособны. Использование ультразвукового расходомера показало вполне приемлемые результаты, однако уменьшение чувствительности составило уже 50% при затухании сигнала до 90% против 10% в воде (100% соответствует прекращению работы прибора).

Реальная градуировочная характеристика ультразвукового расходомера, полученная в скважине при разных скоростях движения прибора, приведена на рис. 2. Характеристика близка к линейной, при этом абсолютная среднеквадратичная погрешность оценивается величиной 41 м/ч, что соответствует дебиту 14 м<sup>3</sup>/сут в обсадной колонне 146 мм.

На рис. 3 показаны кривые, зарегистрированные прибором УЗИ в нагнетательной скважине при закачке воды с расходом около 600 м<sup>3</sup>/сут. В правой части диаграммы приведены две кривые, показывающие изменение времени пробега акустических волн “по потоку” и “против потока” при спуске прибора. Это, вообще говоря, служебные каналы,

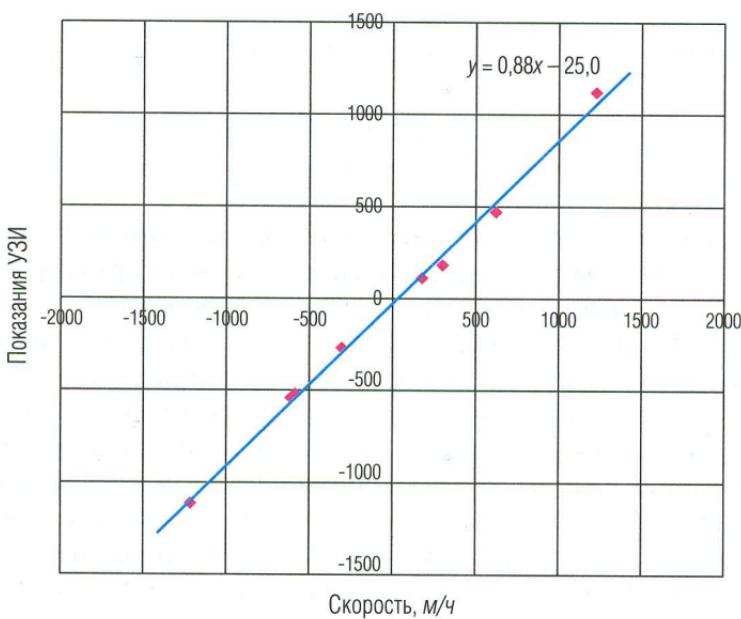


Рис. 2. Реальная градуировочная характеристика ультразвукового расходометра, полученная в скважине при разных скоростях движения прибора

предназначенные для контроля работы прибора. Соответствующие кривые в кодах показаны на рис. 3 для пояснения принципа работы. В нижней части движения жидкости нет, и небольшое расхождение кривых обусловлено движением прибора. В верхней части выше 880 м кривые расходятся пропорционально скорости потока нагнетаемой воды.

В левой части диаграммы приведены две кривые относительной скорости потока, зарегистрированные при спуске и подъеме прибора УЗИ со скоростью 110 м/ч. Кривые имеют идентичную форму и смешены относительно друг друга вследствие разной скорости протяжки (с учетом знака). Здесь же приведена кривая механического расходомера РГД типа "Гранат", зарегистрированная на подъеме одновременно с УЗИ. Соответствующие кривые УЗИ и РГД практически совпадают. Аппаратурная разрешающая способность канала скорости потока, оцененная по уровню флюктуации показаний при отсутствии потока и неподвижном приборе, не превышает 5 м/ч.

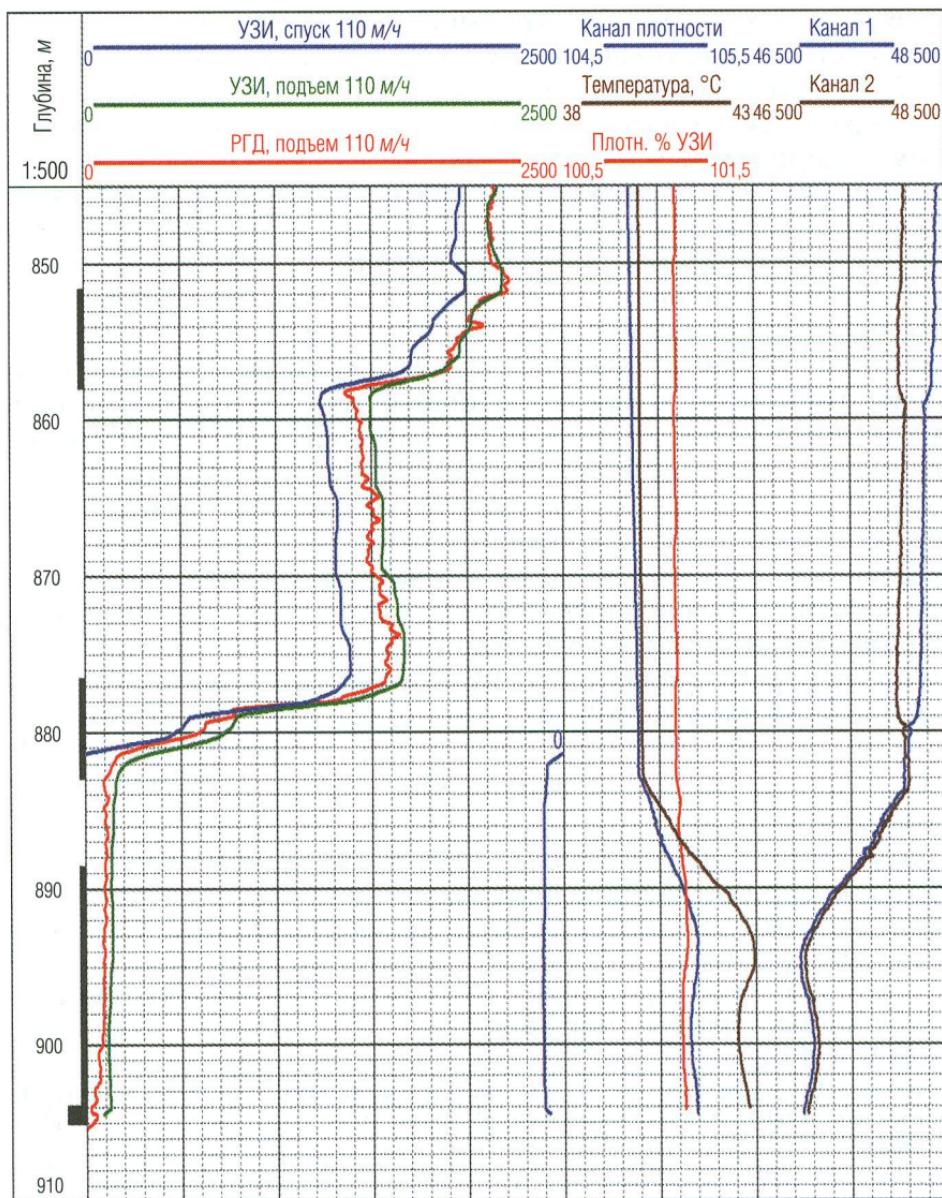


Рис. 3. Реальные кривые, зарегистрированные модулем УЗИ в нагнетательной скважине. Для сравнения приведена одновременно зарегистрированная кривая механического расходомера РГД

В реальных условиях измерений в потоке разрешающая способность, естественно, ухудшается из-за гидродинамических флуктуаций.

Как указывалось выше, прибор УЗИ имеет канал измерения плотности жидкости. Особенностью использования скорости распространения ультразвуковых импульсов для определения плотности является необходимость температурной коррекции данных, полученных на основе калибровки в нормальных условиях. Этот вопрос рассмотрен в статье [4]. Для иллюстрации влияния температуры на рис. 3 в средней колонке представлены зарегистрированная кривая канала плотности и термограмма. Отчетливо видна корреляция кривых. Там же показан результат первичной обработки данных, предусматривающей температурную коррекцию. Кривые плотности представлены в процентах от плотности пресной воды при нормальных условиях, так что для перехода к привычной единице измерения ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) показания следует разделить на 100. Канал плотности обладает очень высоким разрешением – на графике ширина полосы плотности соответствует 1%, то есть  $0,01 \text{ г}/\text{см}^3$ . Заметим, что имеется модификация модуля ультразвуковых исследований УЗИ-П, предназначенная специально для исследования нефтяных скважин [4].

Более подробную информацию по теме статьи можно найти на сайте <http://karotazh.ru/>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буевич А. С. Модуль ультразвуковых исследований для эксплуатационных скважин // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2006. Вып. 143–145. С. 91–97.
2. Буевич А. С. Опыт использования модуля ультразвуковых исследований в нагнетательных скважинах // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2007. Вып. 1 (154). С. 21–27.
3. Буевич А. С. Опыт использования метода ультразвуковых исследований в стволе нефтяных скважин // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2007. Вып. 3 (156). С. 3–8.
4. Буевич А. С., Коршиков С. Н. Высокочувствительный ультразвуковой плотностномер УЗИ-П // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2009. Вып. 6 (183). С. 40–50.