



# Программно-аппаратный комплекс «Канал квант» для измерения состава и расхода жидкости, добываемой из нефтяных скважин

Владимир Одиванов, Рауф Курбанов, Илмас Садыков, Атлас Харисов

Определение степени обводнённости и расхода добываемой нефти является важной технологической задачей, решать которую в составе средств автоматизации оборудования скважин призван разработанный программно-аппаратный комплекс «Канал квант». Статья даёт представление о структуре его аппаратной части, подробно описывает состав и функциональные возможности программного обеспечения. Приводимые результаты опытной эксплуатации комплекса свидетельствуют о его высокой надёжности и достаточной точности производимых измерений.

## Обоснование базового метода

Контроль состава и расхода жидкости, добываемой из скважин, является одной из важнейших задач технологии нефтедобычи.

Из скважины добывается трёхкомпонентная смесь: нефть, солёная вода и попутный газ. Задача измерения расхода добываемой жидкости, как правило, проблем не вызывает — для её решения существует множество различных методов и средств. Что же касается измерения состава добываемой жидкости, то это более сложная техническая задача, требующая либо разделения смеси (хотя бы отделения газа), либо применения одного из методов учёта наличия газа в смеси. Первый путь предполагает отбор проб с их дальнейшим длительным отстаиванием, что сопряжено со значительными затратами времени. Помимо этого, в данном случае возникает необходимость в сложных механических устройствах и требуется решение ряда сопутствующих проблем, например, вызванных условиями холодной зимы. Поэтому предпочтительным представляется второй путь. На сегодняшний день наиболее перспективным методом, позволяющим учесть наличие

газа в составе исследуемой смеси, является метод ядерного (электронного) магнитного резонанса (ЯМР). В соответствии с данным методом при измерении содержания воды в смеси используются различия в значениях времени ядерной релаксации протонов солёной воды и нефти, а содержание газа выявляется по величине сигнала резонанса. Метод позволяет производить измерение состава жидкости непосредственно в потоке, а при наличии дополнительных средств возможно измерение и скорости потока.

## Функциональные возможности комплекса

Для решения на основе метода ЯМР задач измерения состава и расхода жидкости, добываемой из скважин на нефтяных промыслах, разработан программно-аппаратный комплекс «Канал квант». Он производит непрерывный контроль мгновенных, средних и суммарных значений расхода скважинной жидкости и нефти, протекающих через измерительную ячейку, а также контроль давления, температуры и состава жидкости.

Точностные характеристики комплекса, полученные при испытаниях на

стенде и в промысловых условиях, представлены в табл. 1.

Основу аппаратной части комплекса составляет устройство для измерения состава и потока (измеритель), которое защищено патентом РФ [1].

Комплекс «Канал квант» имеет перечисляемые далее функциональные возможности.

- Процедуры измерений могут запускаться с заданным периодом времени или непрерывно по готовности измерителя, а также по команде оператора. Результатами измерения являются значения расхода жидкости, нефти, коэффициент заполнения измерительной ячейки, значения давления и температуры.
- Автокалибровка измерителя с помощью заданного набора операций позволяет измерителю периодически самонастраиваться при изменении внешних условий.
- Измеритель может работать в двух режимах: настройка и замер. В обоих режимах выполняются автокалибровка и измерения. В режиме замера ведётся архив данных, в который с заданным периодом времени записываются мгновенные значения измерений.

Таблица 1

Точностные характеристики комплекса «Канал квант»

Вид измерения	Диапазон	Точность
Содержание воды в составе жидкой части смеси	от 0 до 100%	±5% на скважине
		±3% на стенде
Объёмный расход жидкости	от 0 до 60 м <sup>3</sup> /сутки	±4% на скважине
		±2,5% на стенде
Давление в ячейке	от 0 до 40 кг/см <sup>2</sup>	±2%
Температура смеси	от -10 до +90°С	±2%

- По содержимому архива оператор имеет возможность восстановить графики изменения расхода за определённое время, а также вычислять средние значения расходов за нужные промежутки времени.
- В режиме замера ведётся архив сообщений, в который записываются сообщения об изменении параметров, аварийных и операторских отключениях измерителя, что позволяет контролировать события, произошедшие в процессе замера.
- Измеритель может быть включён в общую сеть с другими устройствами автоматики скважины или групповой замерной установки (ГЗУ) и обслуживаться диспетчерской программой для получения мгновенных или усреднённых данных.

**Аппаратная часть комплекса**

Как уже отмечалось, основой аппаратной части комплекса является измеритель с собственным контроллером, устанавливаемый на трубопровод с измеряемым потоком (рис. 1). Контроллер измерителя связан с IBM PC совместимым компьютером посредством последовательного интерфейса RS-232/RS-485 либо через радиомодем и специальный контроллер. Компьютер может обслуживать несколько измерителей.



Рис. 1. Измеритель с открытой крышкой блока электроники, установленный на контролируемом трубопроводе

Измеритель состоит из нескольких узлов и блоков, размещённых в общем корпусе:

- измерительная ячейка, устанавливаемая на трубопроводе и включающая в свой состав магнитную систему на базе постоянного магнита с катушкой настройки поля, приёмопередающую катушку, градиентную катушку, датчики давления и температуры;
- приёмопередающий блок, включающий в свой состав передатчик и приёмник сигнала ЯМР, формирователь импульсного градиента, формирователь тока настройки поля;
- блок управления и обработки сигналов в составе:
  - контроллера измерителя на базе процессорного модуля CPU-188-5 фирмы Fastwel с установленным таймером реального времени и дополнительным энергонезависимым ОЗУ объёмом 128 кбайт;
  - платы управления с двухканальным АЦП и коммутатором для изме-

рения сигналов ЯМР, сигналов датчиков давления и температуры, с 4-канальным ЦАП для управления мощностью передатчика, сигналом импульсного градиента и величиной тока настройки магнитного поля, со схемой формирования цифровых сигналов управления приёмопередающим блоком и с синтезатором частоты передатчика;

- блока квадратурных детекторов сигнала приёмника ЯМР и формирователя радиочастотных (РЧ) импульсов передатчика.

Блок-схема измерителя приведена на рис. 2 (датчики давления и температуры на схеме не показаны).

В процессе измерений узлы и блоки комплекса взаимодействуют следующим образом. Синтезатор частоты, формирователь сигналов управления и формирователь импульсов передатчика вырабатывают радиочастотный импульс, который поступает на выходной каскад усилителя мощности. С его выхода импульс подаётся на приёмопередающую катушку, находящуюся в потоке жидкости. Затем приёмник принимает ответный сигнал, усиливает и передаёт его в

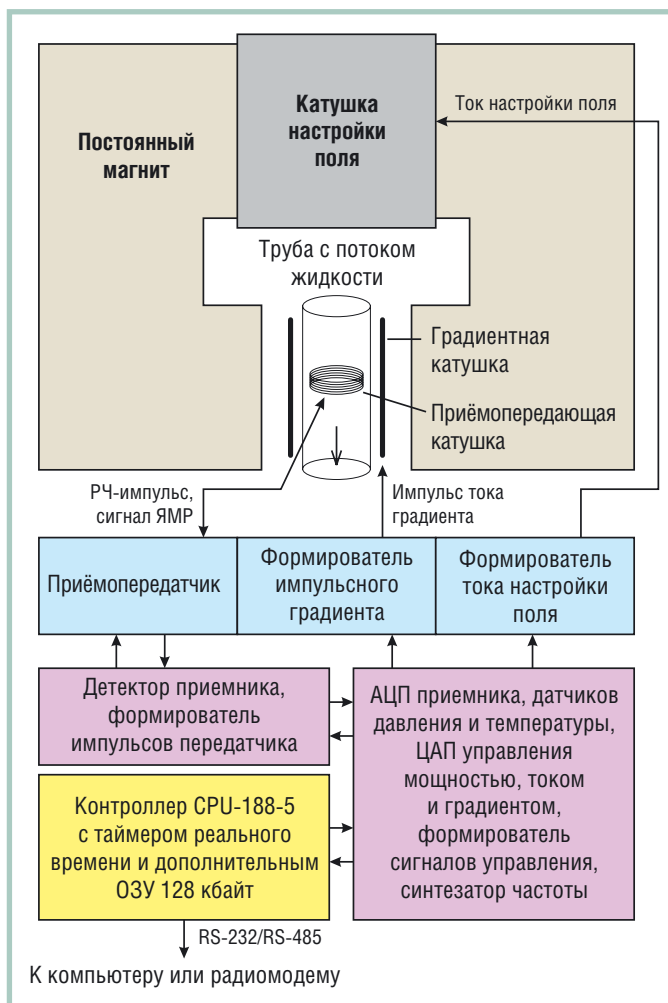


Рис. 2. Блок-схема измерителя расхода и состава скважинной жидкости

блок квадратурных детекторов, после чего полученные аналоговые сигналы оцифровываются и записываются в программный буфер. Контроллер обрабатывает содержимое буфера по специальным алгоритмам и вычисляет целевые параметры. При измерениях используются сложные последовательности импульсов, накопление данных по нескольким запускам, воздействие на систему импульсными градиентами, а при настройке измерителя могут изменяться ток настройки поля, частота синтезатора, мощность передатчика, резонансная частота приёмного контура.

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА

В состав программного обеспечения комплекса входят два компонента:

- программа NEDRN.EXE v.4.0, устанавливаемая в контроллере измерителя;
- приложение NEDRD v.4.0, устанавливаемое в обслуживающем компьютере с ОС Microsoft Windows 98/ME/2000/XP и MS Office 97/2000 (используется редактор электронных таблиц Excel).

Для загрузки и отладки программы измерителя в процессе разработки и настройки на управляющем или ином компьютере может использоваться приложение HyperTerminal из состава ОС Windows, работающее в качестве удалённой консоли контроллера.

### Программа управления измерителем NEDRN.EXE

Эта программа записывается на флэш-диск контроллера измерителя и обеспечивает выполнение описываемых далее функций.

- Исполнение измерительных, калибровочных и контрольных операций, запускаемых по времени и по командам обслуживающего компьютера согласно заданным периодам и режимам запуска, с возможностью настройки количества и типов операций, запускаемых в процессах калибровки и измерений.
- Ведение архива данных в энергонезависимой памяти с общим количеством записей до 5120 и архива сообщений ёмкостью до 1024 сообщений. При переполнении архивов стираются самые старые записи.
- Хранение набора управляющих параметров модулей программы и операций в энергонезависимой памяти (ЭНП) с возможностью их пересохранения в файле на флэш-диске контроллера. Сохранность массива параметров проверяется по контрольной сумме при каждом запуске программы. При несовпадении контрольной суммы параметры перезагружаются из файла. Параметры, получаемые в процессе автокалибровки, и некоторые другие параметры, изменяемые в процессе работы программы, также хранятся в ЭНП, но не подвергаются проверке на сохранность по контрольной сумме. Тем не менее их значения сохраняются при перезапусках программы и могут использоваться в следующем сеансе.

● При обмене с компьютером программа работает в режиме сервера, то есть отвечает на его запросы и выполняет соответствующие действия. При этом используются команды:

- получения и изменения параметров, хранящихся в ЭНП;
- получения и изменения некоторых переменных и элементов массивов;
- получения мгновенных, средних и суммарных данных расхода, состава, давления и температуры;
- получения записей данных и сообщений из архивов;
- управления архивами;
- запуска операций и режимов;
- обмена файлами между контроллером и компьютером.

Процедуры измерений и обмена с компьютером могут производиться параллельно, поэтому измеритель отвечает компьютеру независимо от количества и характера выполняемых им в этот момент времени действий.

Действия программного обеспечения в процессах измерения и калибровки разделяются на отдельные процедуры – операции. Каждая операция представляет собой некоторое действие, результатом которого является получение какого-либо измеряемого параметра или параметров настройки измерителя, а также некоторых массивов промежуточных данных, которые затем с помощью программы NEDRD можно представить в виде графиков.

Параметры запуска операций и обработки данных могут модифицироваться в зависимости от того, как запущена операция, поэтому в одной и той же операции выполняются разные действия при запуске в пакете измерения (вычисляются и обновляются измеряемые данные), в пакете калибровки (обновляются параметры текущих настроек измерителя) и при отладочном запуске (заполняются массивы для отображения графиков).

Программные модули операций имеют единый интерфейс, поэтому в состав приложения при доработке можно легко добавлять новые операции, изменять алгоритмы существующих.

В программе NEDRN.EXE версии 4.0 задействуются следующие модули операций:

- настройка магнитного поля измерителя (производится подбор тока управления магнитным полем для точной настройки на резонанс);
- измерение состава смеси (производится измерение спада поперечной релаксации с помощью последова-

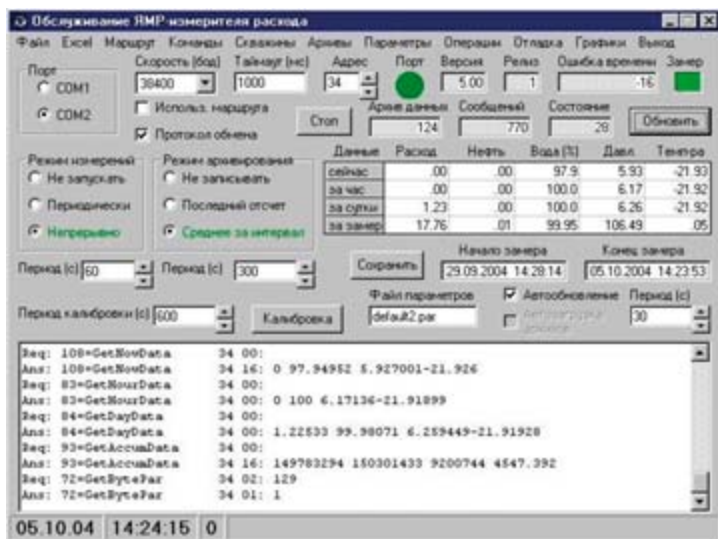


Рис. 3. Главное окно программы управления измерителем NEDRD

тельности Карра-Парселла и обработка с применением калибровочных коэффициентов; результатами операции являются относительное содержание нефти в жидкой фазе смеси и коэффициент заполнения ячейки, вычисляемый по уменьшению амплитуды сигнала);

- измерение давления и температуры (измеряются сигналы соответствующих датчиков; результатами операции являются значения в физических

единицах, вычисляемые с применением калибровочных полиномов);

- настройка передатчика ЯМР (производится настройка мощности передатчика для обеспечения оптимальных условий наблюдения сигнала ЯМР);
- проверка настройки приёмника ЯМР (вычисляется частотная характеристика приёмного тракта, используется в отладочных целях);
- измерение спинового эха (используется для исследования влияния градиен-

та поля на форму сигнала спинового эха, применяется в отладочных целях);

- измерение расхода (скорости) смеси (измеряется параметр, пропорциональный скорости потока, по сдвигу фаз сигналов ЯМР, возникающему в присутствии импульсного градиента магнитного поля; результатом является значение расхода смеси, вычисляемого с помощью калибровочных параметров с учётом коэффициента заполнения);

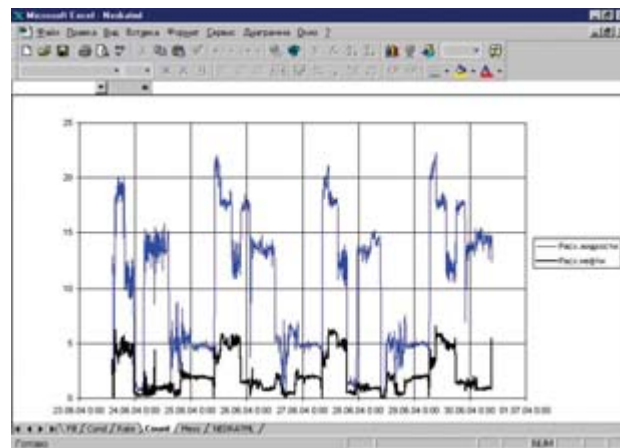


Рис. 4. Графики зависимостей измеренных расходов жидкости и нефти от времени, полученные по архивным данным измерителя (в процессе замера производилось переключение измеряемого потока между скважинами, подключёнными к ГЗУ)

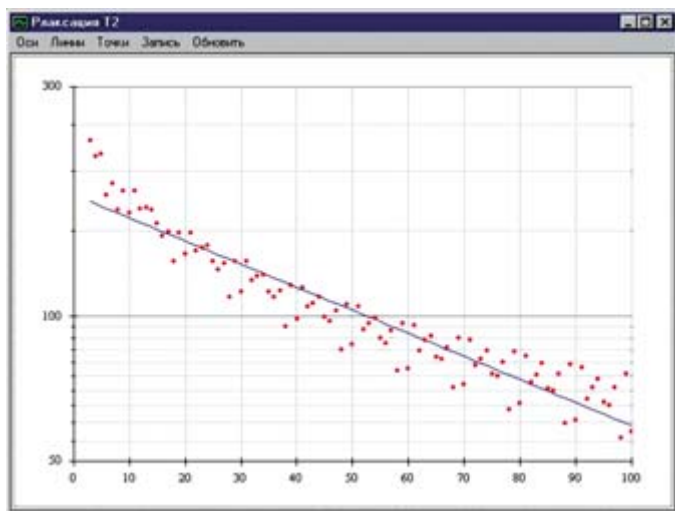


Рис. 5. Окно графика спада релаксации смеси вода-нефть, полученного при измерении состава смеси в отладочном режиме



Рис. 6. Калибровочный стенд с подключённым измерителем

- настройка приёмника ЯМР (производится настройка приёмного контура ячейки на резонанс).

### Программа обслуживания измерителей NEDRD

Программа NEDRD v.4.0 (рис. 3) предназначена для операторского управления одним или несколькими измерителями с установленной программой NEDRN.EXE v.4.0. Программа NEDRD выполняет следующие функции:

- выбор и настройка последовательного порта компьютера для обслуживания измерителей с возможностью обмена через радиомодем, выбор контролируемого измерителя по его сетевому адресу и маршруту, обеспечение возможности отображения протокола обмена с командами запроса и ответа, а также сообщений об ошибках;
- получение и изменение установок периодов и режимов запуска калибровки и измерений, периода и режима архивирования;
- периодический автоматический или с ручным запуском контроль и отображение состояния выбранного измерителя, текущих и средних измеренных значений расхода жидкости и нефти, обводнённости, температуры и давления, а также суммарных значений расхода;
- запуск и остановка режима замера, отображение временных границ текущего или последнего завершённого замера, управление архивами измерителя (очистка и восстановление, коррекция текущего времени);
- открытие предустановленного файла электронной таблицы MS Excel и загрузка в него содержимого архивов данных и сообщений измерителя с

возможностью добавления к ранее загруженным данным, отображение в различных форматах графиков зависимостей данных от времени (рис. 4);

- контроль, отображение и изменение значений параметров измерителя, хранящихся в его ЭНП, списками по их категориям;
- настройка списка операций, загружаемых при инициализации измерителя, выбор операций, используемых в пакетах калибровки и измерения;
- запуск отдельных операций измерителя в отладочном режиме, получение данных и построение графиков по массивам отладочных результатов (рис. 5).
- настройка меню параметров, графиков и текстов сообщений через текстовые файлы форматов для адаптации приложения к новым версиям программы управления измерителем (возможно);
- поддержка пересылки файлов на флэш-диск контроллера и получения файлов с него.

### Опытная эксплуатация

Комплекс разработан и производится на Альметьевском заводе «Радиоприбор» (г. Альметьевск, Татарстан). В настоящее время он проходит опытную эксплуатацию в НГДУ «Прикамнефть» ОАО «Татнефть».

Для испытания измеритель был установлен на трубопровод замерного устройства ГЗУ после автоматического дистанционного переключателя потока жидкости с нескольких скважин. Испытание показало удовлетворительные метрологические характеристики и отсутствие фатальных сбоев в течение двух месяцев круглосуточной эксплуатации. С целью организации контроля

и регистрации измеряемых данных измеритель был подключён к информационной сети автоматизации ГЗУ и обслуживался общей диспетчерской программой цеха добычи нефти и газа. Для получения данных из архивов измерителя и проверки настроек производилось периодическое (один раз в 1-2 недели) подключение его к компьютеру с установленной программой NEDRD.

Для достижения заданных метрологических характеристик измеритель должен быть прокалиброван с применением воды и нефти, добываемых на участке, где устройство будет использоваться. На заводе-производителе разработан и используется стенд для испытания и калибровки измерителей, его внешний вид с подключённым измерителем показан на рис. 6.

На ГЗУ участка месторождения НГДУ «Лениногорскнефть» проходит испытания новая версия измерителя, позволяющая учитывать различный состав смеси воды и нефти, добываемой из разных скважин участка (разных усов ГЗУ). ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ на полезную модель № 40496 с приоритетом от 05 мая 2004 г. Устройство для измерения состава и расхода многокомпонентной жидкости на основе ядерного магнитного резонанса / Валиев Р.Ф., Харисов А.Г., Садыков И.И., Шмелев А.А.

**Авторы — сотрудники Казанского института биохимии и биофизики КНЦ РАН и Альметьевского завода «Радиоприбор»**  
**Телефоны: (8432) 31-9031, 69-6825 и (8553) 33-2745**  
**Факс: (8553) 23-8957**