



# Распределённый программно-аппаратный комплекс для мониторинга и управления технологическими процессами

*Владимир Одиванов, Андрей Семёнов*

Описана структура аппаратных средств, состав и функциональные возможности программного комплекса, предназначенного для исследования реакций управляемых объектов, разработки и отладки алгоритмов управления. Приводятся блок-схемы вариантов аппаратных конфигураций одного из устройств комплекса и всей системы, применяющейся для контроля параметров нефтяных и нагнетательных скважин.

Круглосуточный мониторинг и автоматизированное управление технологическими процессами являются важнейшими задачами современного производства. В настоящее время для решения этих задач используются различные стандартные и специфические аппаратные средства и программное обеспечение, созданное как с помощью универсальных средств разработки (компиляторы с различных языков программирования), так и с помощью специфических средств, таких как SCADA-системы, которые позволяют разрабатывать алгоритмы управ-

ления и обеспечивать визуальный интерфейс системы. В любом случае создание ПО для мониторинга и управления требует высокой квалификации программиста-разработчика.

Довольно длительное время в процессе разработки алгоритмов управления занимает отладка на реальном управляемом объекте, поскольку не всегда можно достоверно моделировать поведение объекта на виртуальных моделях. Осуществляя такую отладку с помощью описанных средств, приходится решать массу побочных задач, связанных со спецификой средств раз-

работки. Предлагаемый программный комплекс позволяет облегчить отладку и проводить предварительные исследования поведения объекта управления без привлечения квалифицированного программиста: основные настройки системы мониторинга могут выполняться оператором, обслуживающим объект. Кроме того, данный комплекс может быть полезен в случаях, когда приходится часто изменять конфигурацию системы, что требует переработки программного обеспечения.

Описываемый программный комплекс проходил опытную эксплуатацию на нескольких участках нефтяных месторождений НК «Татнефть» для контроля параметров нефтяных и нагнетательных скважин.

## **НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА**

Программный комплекс распределённой регистрации данных предназначен для круглосуточной автоматической регистрации данных, а также управления технологическими процессами в ручном режиме, а при использовании дополнительных программных средств — и в автоматическом. Он является частью программно-аппаратного комплекса, состоящего из центрального компьютера системы, перифе-



На участке нефтяного месторождения

рийных устройств регистрации, измерительных и управляющих модулей типа ADAM-4XXX, связанных между собой полевой сетью на базе интерфейса RS-485 и/или радиоканалом на базе радиомодемов и шлюзовых модулей типа ADAM-4530. Программные приложения комплекса позволяют также работать и при отсутствии связи с периферийными устройствами, то есть при их работе в автономном режиме. В состав программ комплекса входят следующие приложения:

- центральный сервер регистрации данных и управления FLEX.EXE v.4.5 — приложение Windows 98/NT/ME/2000/XP, установленное на центральном компьютере системы регистрации. Является управляющей программой для периферийных устройств регистрации и средств контроля и управления, обслуживаемых модулями типа ADAM, ведёт архивы регистрируемых данных и сообщений по каналам, связанным со средствами контроля и управления. Поддерживает до 4 отдельных полевых сетей на базе интерфейса RS-485 или радиомодемов, подключённых к последовательным портам компьютера;
- периферийный сервер регистрации данных E188.EXE v.2.1 — программа DOS, установленная на периферийном устройстве регистрации — контроллере CPU188-5 v.3 комплектации MX с соответствующим набором дополнительных узлов. Управляет всеми аппаратными средствами контроллера, ведёт архив данных и сообщений по собственному набору каналов, обеспечивает связь с центральным компьютером через полевую сеть или радиомодем. Может работать и без связи с центральным компьютером. Может поставляться в виде пакета разработки, который позволяет разрабатывать собственные модули обслуживания устройств (драйверы);
- программа загрузки архивов периферийных серверов регистрации ELOAD.EXE v.1.1 — программа DOS, предназначенная для загрузки данных и сообщений из архивов периферийных серверов регистрации, работающих в автономном режиме, в том числе через сеть RS-485 или радиомодем. Позволяет обслуживать периферийные устройства регистрации, размещённые в полевых условиях, с помощью компьютера типа

ноутбук с ресурсами, недостаточными для установки ОС Windows 95;

- программа графического представления данных GrDataR.xls — приложение Excel 97/2000, устанавливаемое на центральном компьютере системы регистрации или другом компьютере, связанном с центральным локальной сетью. Является приложением-клиентом центрального сервера регистрации и служит для представления в виде графиков данных, зарегистрированных в архивах центрального сервера регистрации, а также регистрируемых в процессе просмотра. Может использоваться и без связи с сервером;
- программа управления внешними устройствами и регистрацией данных по времени ProgT.xls — приложение Excel 97/2000, устанавливаемое на центральном компьютере системы регистрации. Является приложением-клиентом для центрального сервера регистрации и служит для управления данными его каналов и данными связанных каналов периферийных устройств, а также параметрами регистрации, автоматически изменяя их значения в заданные моменты времени.

Если не предполагается использования специфических алгоритмов управления с обратной связью, то конфигурирование и настройка комплекса распределённой регистрации могут осуществляться квалифицированным оператором системы без привлечения программистов. Для создания специфических алгоритмов управления системой привлекается программист средней квалификации — языки программирования Visual Basic, Visual Basic for Application (Excel, Access), — хорошо знакомый с управляемой системой. Разработку драйверов периферийного сервера регистрации может осуществлять программист в среде Borland C++ v.3.1, знакомый с объектно-ориентированным программированием. Программный комплекс наиболее удобно использовать на этапе исследования динамики управляемой системы, для разработки и отладки алгоритмов управления в системах с характерными временами от десятков секунд до нескольких недель и более.

В составе комплекса также использовалось приложение стороннего разработчика «Консоль оператора» — приложение Windows, устанавливаемое на центральном компьютере системы

регистрации. Оно является приложением-клиентом центрального сервера регистрации и служит для оперативно-го наблюдения за контролируемыми данными, сигнализации и управления в виде, специфическом для конкретной системы. Для системы контроля участка нефтяного месторождения показывает карту участка и демонстрирует на ней текущие значения параметров скважин — давления и расхода жидкости.

### АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА КОМПЛЕКСА

Аппаратной основой центрального сервера регистрации служит IBM PC совместимый компьютер с установленной операционной системой Windows 98/ME/2000/XP. Программа позволяет обслуживать до 4 последовательных портов компьютера, к которым могут подключаться как преобразователи интерфейса RS-232 в RS-485 типа ADAM-4520 или аналогичные других производителей, так и радиомодемы производства фирмы «Интеграл».

В качестве преобразователей сигналов датчиков и исполнительных устройств используются модули ADAM-40XX или аналогичные других производителей.

Периферийный сервер регистрации работает на базе аппаратного комплекса, включающего в себя контроллер CPU188-5MX v.3 с установленными таймером реального времени и энерго-независимым ОЗУ 128 кбайт, 2 платы гальванической развязки TBI, алфавитно-цифровой индикатор и клавиатуру. Комплекс может взаимодействовать с центральным компьютером как через последовательный интерфейс RS-232, так и через RS-485. В последнем случае он может включаться в общую сеть с модулями ADAM. Блок-схема комплекса показана на рис. 1. Здесь приведён один из вариантов аппаратной части. Разрабатывались также варианты с использованием специальных преобразователей для питания и снятия сигнала глубинных датчиков давления с частотным выходом, используемых на нефтяных скважинах.

Контроллер CPU188-5MX представляет собой программно IBM PC совместимый процессор, интегрированный на плате с ОЗУ и флэш-памятью, используемой в качестве системного диска. В составе контроллера есть 2 последовательных порта с возможностью выбора интерфейса —

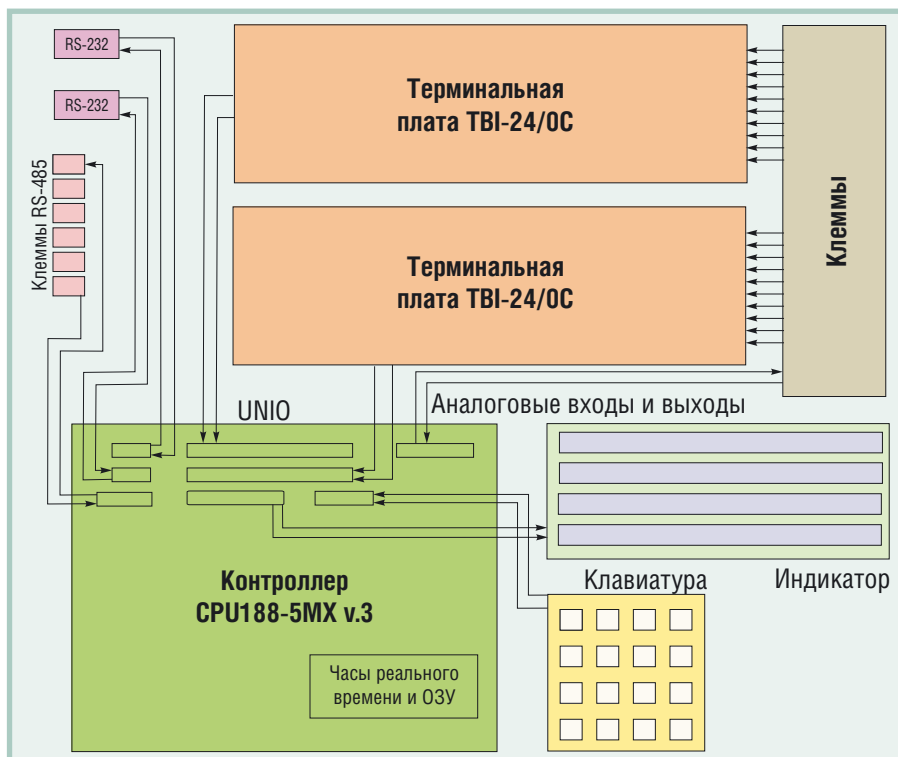


Рис. 1. Блок-схема аппаратной части периферийного устройства регистрации

RS-232 или RS-485, а также 2 программируемых 24-разрядных порта UNIO. Имеются также интерфейсы для подключения жидкокристаллического или вакуумно-люминесцент-

ного индикатора и матричной клавиатуры. Есть 8 аналоговых входов и 2 выхода.

Терминальная плата TBI-24/0C обеспечивает передачу входных дискрет-

ных сигналов с гальванической развязкой. На ней имеется также отдельный источник питания для работы с «сухими» контактами, такими как датчики срабатывания счётчика количества жидкости.

### РАЗРАБОТКА КОНФИГУРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ

Каждое средство контроля или управления системы связано с определённым каналом центрального или периферийного сервера регистрации. Привязка каналов к центральному или периферийным серверам выполняется, исходя из соображений экономии общих затрат на развёртывание системы и её эксплуатацию. В качестве исходных данных для привязки берутся стоимости контроллеров CPU188, модулей типа ADAM, радиомодемов и стоимость прокладки кабельных сетей. При прочих равных условиях предпочтительной является привязка к периферийным серверам: регистрация данных на них более надёжна, поскольку нет жёсткой зависимости от надёжности каналов связи между центральным и периферийными серверами. Использование кабельных сетей при расстояниях, не превышающих нескольких километров, предпочтительнее, чем радиоканала, поскольку обеспечивает большую скорость обмена и устойчивость связи.

В качестве примера используется система контроля параметров скважин участка нефтяного месторождения. На рис. 2 приведён пример реализации распределённой системы регистрации данных и управления, включающей

- центральный компьютер, имеющий не менее 2 свободных последовательных портов;
- проводную сеть RS-485, подключённую к последовательному порту центрального компьютера через преобразователь интерфейса RS-232 в RS-485 типа ADAM-4520 с ответвленным сегментом сети, подключённым к основной линии через повторитель ADAM-4510;
- радиомодем производства фирмы «Интеграл», подключённый ко второму порту центрального компьютера;
- сегмент проводной сети RS-485, подключённый ко второму радиомодему через модуль шлюза ADAM-4530.

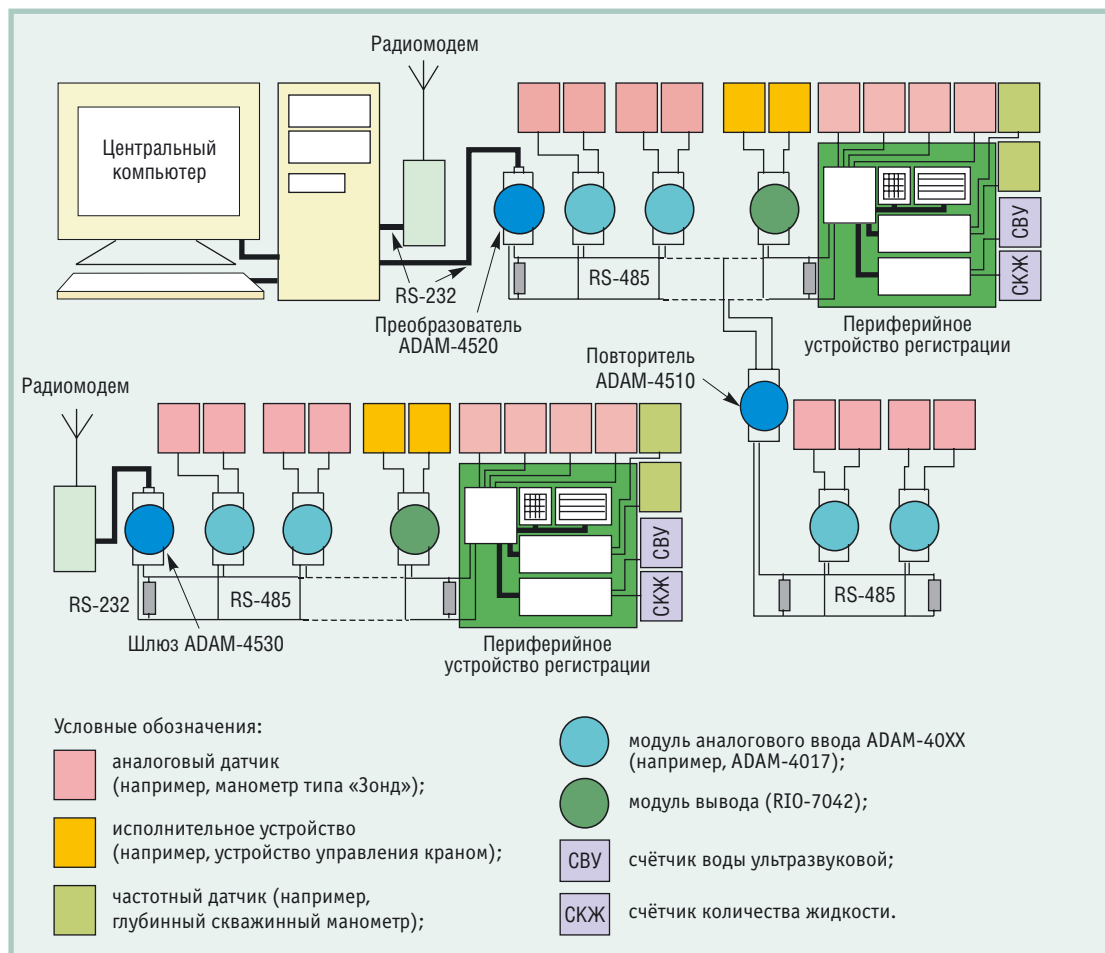


Рис. 2. Пример аппаратного комплекса системы регистрации данных

К обоим сегментам подключены измерительные и управляющие модули типа ADAM-40XX и периферийные устройства регистрации, состоящие из контроллера CPU188-5MX v.3, локальной консоли на базе индикатора и матричной клавиатуры, и 2 плат гальванической развязки TBI. К модулям ADAM, аналоговым входам контроллера и платам TBI подключены датчики и исполнительные устройства системы. Приведённая схема является гипотетической для демонстрации возможности программного комплекса обслуживать сложную разнородную сеть устройств. Реально использованные конфигурации оборудования кратко описаны в следующем разделе.

### Опыт эксплуатации

Программный комплекс проходил эксплуатацию при проведении мониторинга и научно-промысловых экспериментов на нескольких участках нефтяных месторождений ОАО «Татнефть».

На участке Березовской площади НГДУ «Альметьевнефть» в исследования были включены около 20 добывающих и нагнетательных скважин. В течение

3 лет в круглосуточном режиме проводились мониторинг и эксперименты по межскважинному гидродинамическому зондированию пласта методом фильтрационных волн давления. Основная сеть состояла из нескольких сегментов линий интерфейса RS-485, подключённых через преобразователи ADAM-4520 и повторители ADAM-4510 к одному порту центрального сервера регистрации, а к другому порту был подключён радиомодем «Интеграл». На двух скважинах были установлены комплекты, включающие радиомодем, модуль шлюза ADAM-4530 и измерительный модуль, а на остальных подключённых к сети RS-485 — только измерительные модули. В качестве измерительной аппаратуры использовались дистанционные устьевые манометры с токовым выходом типа «Зонд», подключённые к мо-

дулям ADAM-4017 и RIO-7017 (АЦП с точностью 16 разрядов), и турбинные расходомеры типа «Турбоквант», подключённые к модулям частотомера ADAM-4080. На том же участке проводились эксперименты по гидродинамическому зондированию призабойной зоны пласта нагнетательных скважин с использованием специальной крановой задвижки для создания колебаний расхода закачиваемой воды с формой, близкой к синусоидальной. Привод задвижки осуществлялся от шагового двигателя, управляемого с помощью специально разработанного устройства, в котором скорость вращения задаётся моду-

лем дискретного вывода RIO-7042. Из программного комплекса использовались центральный сервер регистрации, программа отображения графиков и программа управления внешними устройствами и регистрацией данных. Использовалась также программа «Консоль оператора», которая показывала карту участка с отображением на ней давлений и расходов жидкости скважин.

На участке НГДУ «Заинскнефть» осуществлялся мониторинг и экспери-



Рис. 3. Периферийное устройство регистрации с открытой крышкой шкафа

менты с использованием периферийных устройств регистрации. В качестве измерительной аппаратуры использовались глубинные манометры типа ПДС, подключённые к частотным входам периферийного устройства, а также ультразвуковые расходомеры воды типа СВУ с собственными вторичными приборами, подключённые к входам измерения интервалов. Постоянной связи с центральным сервером не было: загрузка архивов проводилась периодически, по мере их заполнения. Использовались центральный сервер регистрации, периферийный сервер регистрации и программа загрузки архивов ELOAD.

Внешний вид шкафа периферийного устройства регистрации показан на рис. 3. В этом устройстве вместо одной из плат гальванической развязки использовались специальные адаптеры для питания и снятия сигналов глубинных манометров. В этой комплектации аппаратная часть устройства была разработана сотрудниками Центра совершенствования методов разработки нефтяных месторождений. В работах ЦСМРнефть описанная совокупность программной и аппаратной частей именуется «Автоматизированный комплекс по замеру технологических параметров нефтеизвлечения» (АКЗТПН).

С помощью АКЗТПН на опытном участке залежи 11-1-149 Акташской площади Ново-Елховского нефтяного месторождения в рамках работ по оптимизации режимов разработки проводились различные гидродинамические эксперименты. В частности, были зарегистрированы кривые восстановления давления на трёх добывающих скважинах участка (скважины 6230, 6232, 9021), произведено несколько экспериментов по самопрослушиванию нагнетательной скважины 9020

(метод ФВД) и осуществлено гидропрослушивание межскважинных интервалов опытного участка. На забой добывающих скважин под насос спускались глубинные манометры. Линия связи манометра с периферийным сервером регистрации — геофизический кабель КГ-1-28-130. Спуск манометров производился параллельно спуску насосно-компрессорных труб (НКТ). В нагнетательную скважину 9020 глубинный манометр доставлялся при помощи специализированной лебёдки, установленной на автомобильной базе. Для измерения расхода на скважину был установлен счётчик воды ультразвуковой (СВУ).

Между экспериментами проводился фоновый замер параметров. В связи с проведением эксперимента регистрация давления и расхода производилась с различными периодами.

При проведении экспериментов по самопрослушиванию архивация данных с глубинного манометра и СВУ, расположенных на скважине 9020, велась с одинаковыми интервалами, равными 30 с, на протяжении всего эксперимента. При этом регистрация данных от глубинных манометров на других скважинах велась с периодом 30 минут.

При гидропрослушивании межскважинных интервалов и фоновых замерах параметров период регистрации был равен 30 минут.

При регистрации КВД (кривых восстановления давления) нефтяных скважин период архивации данных менялся в зависимости от времени, прошедшего после остановки скважины. Изменение периода архивации данных осуществлялось как с локальной, так и с удалённой консоли. Необходимости изменять период опроса каналов не было, поэтому на протяжении всей ра-

боты периферийного сервера период опроса был равен 10 с.

При фоновых замерах и экспериментах по гидропрослушиванию скачивание данных из архива периферийного сервера осуществлялось каждые пять недель. При проведении других экспериментов — по мере заполнения памяти периферийного сервера или по мере необходимости.

Всего периферийное устройство регистрации в полевых условиях проработало в непрерывном режиме 1,5 года при различных погодных и температурных условиях. Диапазон температур, при которых апробировался периферийный сервер в поле, от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ . Для работы при низких температурах периферийное устройство было оснащено термостатирующим элементом, позволяющим поддерживать заданную температуру внутри шкафа.

Опытная эксплуатация показала устойчивое функционирование регистрирующей аппаратуры как по проводным каналам, так и по радио. Ненадёжность была обусловлена в основном повреждениями линий связи и отказами измерительных приборов. К сожалению, по экономическим причинам не удалось в полевых условиях проверить работу программного обеспечения на более сложных комплексах, включающих как модули ADAM, так и периферийные устройства регистрации. ●

**Авторы — сотрудники Казанского института биохимии и биофизики КНЦ РАН и Центра совершенствования методов разработки нефтяных месторождений**  
**Телефоны: (8432) 31-9031, (8432) 64-5365**