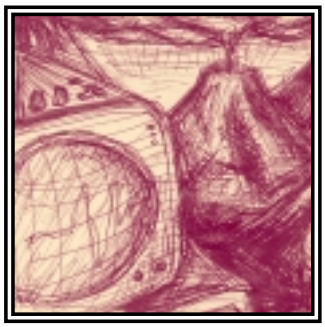


Технологический комплекс для геофизических исследований эксплуатационных нефтегазовых скважин

Александр Буевич, Александр Шейфот, Сергей Коршиков

Представлен программно-аппаратный комплекс ГРАНИТ-ОНИКС, обеспечивающий поддержку всех этапов геофизических исследований эксплуатационных нефтегазовых скважин (ГИЭС).

Введение

Геофизические исследования эксплуатационных нефтегазовых скважин (далее ГИЭС), или промысловая геофизика, призваны решать ряд задач по контролю за эксплуатацией скважин. Полученные данные используются для контроля и оптимизации режима работы скважины, а также для диагностики при ремонтных работах.

В технологии этих исследований можно выделить следующие составляющие:

- Скважинные приборы (СП) предназначены для измерения тех или иных параметров различных физических полей. Приборы спускаются в скважину на геофизическом кабеле (чаще всего одножильном), по которому происходит питание приборов, а также передача измеряемых данных на поверхность.
- Наземное оборудование позволяет проводить исследования с помощью СП и регистрировать данные этих исследований. Это оборудование, как правило, размещается в кузове автомобиля высокой проходимости — «Урал», «КамАЗ», «Мерседес».
- Системы обработки и интерпретации материалов исследований используются на заключительном этапе работ с целью оценки состояния скважины по косвенным данным проведенных исследований.

Скважинные приборы

К скважинным приборам (СП) предъявляются следующие требования:

- ограниченные габариты (внешний диаметр до 38 мм, длина с блоком датчиков менее 2,5 метров);
- высокая термобаростойкость (рабочее давление до 60 МПа, рабочая температура до 120°С);
- связь со станцией по одножильному геофизическому кабелю длиной до 6-8 км.

Первые СП создавались для конкретных видов исследований и имели один датчик. Позже разработали СП для комплексирования различных видов исследований. Такие приборы имеют несколько датчиков, но измерения проводятся только одним (однопараметровая аппаратура). Для переключения на другой датчик (канал) обычно подается токовый импульс или изменяются режимы питания СП. Передача по кабелю информации от датчика чаще всего осуществлялась на основе преобразования «напряжение-частота» в диапазоне от сотен герц до сотни килогерц.

Непременным требованием к современному СП являются цифровая телеметрическая система и соответственно возможность измерять одновременно несколько параметров. В цифровых СП применяются различные способы кодировки, такие как Манчестер-2, кодо- и времяимпульсные. При реализации цифровой аппаратуры наиболее эффективным и перспективным представляется применение микропроцессорной техники и новой элементной базы.

В ВНПФ НефтеТестСервис при участии авторов разработана и производится модульная аппаратура ГРАНИТ на базе современных RISC-контроллеров PIC-16CXX. Каждый модуль представляет собой самостоятельный прибор, а несколько модулей, соединенных в единую сборку, автоматически объединяются в многоканальную информационную сеть. Модульный принцип построения аппаратуры делает процесс выбора методов исследования и их комплексирования наиболее гибким. Базовый комплект скважинной аппаратуры представлен следующими модулями:

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

ТЕРМА (термометр, манометр, активный локатор муфт);
ПРИТОК (термоанемометр, индукционный резистивиметр, трехканальный индикатор акустических шумов);
ВЛАГА (конденсаторный влагомер);
ГАММА (индикатор гамма-излучения);
РАСХОД (турбинные расходомеры нескольких типов).

Также выпускаются модули нейтрон-нейтронного, нейтрон-гамма и гамма-гамма каротажа (каротажем принято называть процесс исследования скважины приборами на кабеле). Обработка, основанная на корреляции данных, одновременно полученных от разных датчиков, значительно повышает надежность и точность результатов интерпретации.

Наземное оборудование

Ранее для каждого типа СП разрабатывалась своя панель, обеспечивавшая необходимые режимы питания, управление работой аппаратуры и декодирование поступающей от нее информации. Такого рода панели обычно весят многие килограммы и выполнены в виде 19" субблоков высотой 4U-6U. Аналоговые сигналы с выходов панелей подавались на фоторегистраторы, выводящие данные на рулонную фотобумагу.

Следующим шагом в развитии ГИЭС было применение каротажных цифровых регистраторов (Триас, НО78, НО90, ПЛК-6). В этом случае измеряемые данные сохранялись на магнитной ленте (или перфоленте для регистратора ПЛК-6). Входными данными для этих регистраторов являлись все те же аналоговые выходы приборных панелей. При этом происходило несколько преобразований «цифра-аналог» и «аналог-цифра», что сильно снижало и так невысокое качество и точность первичного материала. В целом этап цифровых регистраторов дал небольшой эффект в плане повышения производительности и оперативности выдачи заключения по результатам ГИЭС, не говоря уж о том, что 12,5 мм ленточные накопители и в стационарных условиях не самые надежные устройства.

Все наземное оборудование (приборные пульты, блоки питания, осциллограф, пульты контроля и т.д.), предназначенное как для аналоговой, так и для цифровой регистрации, размещалось в стойках высотой 36U-40U. Обычно этих стоек было не менее трех, плюс дополнительный шкаф для хранения приборных пультов, не уместившихся в стойках. Такое количество габаритного оборудования, размещаемого в автомобильном кузове каротажной лаборатории, значительно ухудшало и без того малокомфортные условия работы и быта обслуживающего персонала. Следует отметить, что исследования занимают до трех суток, а жизнь геофизических партий в основном проходит «на колесах».

Применение средств вычислительной техники на этапе регистрации сначала было объективно невозможно прежде всего из-за больших размеров и низкой надежности первых ЭВМ. Принципиально новый уровень ГИЭС достигается за счет использования персональных компьютеров и современной микропроцессорной техники. Первые же отечественные компьютеры (СМ-4, «Электроника», ДВК) нашли здесь свое применение.

До сих пор перечисленные виды аппаратуры являются основными для большинства организаций.

Основная задача, которую должна решать любая компьютеризованная геофизическая станция, — это регистрация данных, поступающих от скважинной аппаратуры и системы измерения глубины, без потерь их информативности и качества. Поскольку геофизические предприятия не спешат отказываться от большого парка старых приборов, станция должна обеспечивать возможность работы с различными типами имеющейся геофизической аппаратуры, как старой, так и новой. Применение процессоров позволяет реализовать эту возможность за счет программного обеспечения (ПО). Именно программное обеспечение учитывает особенности управления и декодирования информации для каждого типа СП, что, в свою очередь, позволяет, создав универсальный интерфейсный блок управления и обслуживания аппаратуры, отказаться от громоздких и ненадежных приборных панелей.


На промысле

Применение современных компьютеров, часто промышленного исполнения, повысило надежность этапа проведения исследований на скважине. Наличие в компьютере графического дисплея значительно облегчило и сделало более наглядным и оперативным контроль за работой аппаратуры и процессом исследований.

Таким образом, в современной компьютерной станции можно выделить следующие функциональные составляющие.

- Интерфейсный блок осуществляет управление, питание СП, декодирование и обработку поступающей от него информации, обработку информации от устьевого оборудования (датчики глубины, меток, натяжения кабеля и т.д.), а также передачу всей этой информации в компьютер.
- Компьютер принимает и регистрирует данные, поступающие от интерфейсного блока, отображает необходимые для операторского контроля данные на дисплее, а также передает в интерфейсный блок управляющую информацию, вводимую оператором.

В настоящее время находят применение несколько различных компьютеризированных регистрирующих комплексов, разработанных рядом фирм. Спектр решений при реализации этих комплексов очень широк. Они создаются на базе 8-разрядных микроконтроллеров MCS-51, MCS-251, PIC-16CXX/17CXX, Motorola 68CXX; 16-разрядных — MCS-196, ADSP-21XX. Выбор того или иного решения определяется в основном вычислительной сложностью возлагаемых на станцию задач. Велика роль и субъективного фактора, такого например, как степень освоения той или иной микроконтроллерной технологии. Поэтому задачи, решаемые программным обеспечением станции, и их распределение между

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

компьютером и интерфейсным блоком могут сильно отличаться в различных регистрирующих комплексах. Например, в некоторых станциях выходными данными являются зарегистрированные коды аппаратуры, не прошедшие метрологической обработки.

Системы обработки и интерпретации

Обработка данных ГИЭС является идеальной задачей для применения средств вычислительной техники. Приходится иметь дело с большими объемами информации, сама обработка —это сложная, с вычислительной точки зрения, математическая задача, поскольку процесс интерпретации является решением некорректно поставленной обратной задачи.

Развитие систем обработки шло параллельно с развитием ЭВМ. По мере прогресса в сфере вычислительной техники, увеличения ее доступности и надежности, упрощения в обслуживании и эксплуатации машинная обработка переносилась на все более низкие организационные уровни геофизической отрасли — региональные и трестовские вычислительные центры (ВЦ), ВЦ промыслово-геофизических контор и экспедиций и, наконец, с появлением персональных компьютеров в геофизический отряд.

Технологический комплекс ГРАНИТ-ОНИКС

Проведение исследований в действующих скважинах — дорогостоящая процедура, иногда требующая остановки скважины. Часто методика дальнейших исследований зависит от полноты быстро полученных и проинтерпретированых предварительных данных. Поэтому наиболее перспективным является комплексный подход в решении задачи ГИЭС как единого целого - от регистрации максимального числа информативных параметров за один спуск/подъем СП до выдачи интерпретационного заключения.

Даже краткое перечисление задач и функций основных составляющих технологии ГИЭС вполне определяет масштабы трудностей при реализации каждой из этих составляющих. В основном по этой причине на сегодняшний день традиционной является ситуация, когда все три составляющие разрабатываются и производятся различными фирмами. А затем собранные воедино эти три составляющие называются компьютеризованным комплексом ГИЭС, что, по мнению авторов, является формальным подходом.

Чаще и такой «формальной сборки» комплекса не происходит. Два этапа ГИЭС — собственно исследования на скважине и обработка результатов этих исследований — рассматриваются как отдельные задачи без учета взаимных особенностей. В такой ситуации вполне естественно стремление создателей ПО регистрации максимально ограничить круг задач и функций этого ПО. Но, как правило, такое стремление значительно снижает эффективность и технологичность следующего этапа — обработки данных.

В случае разделения систем регистрации и обработки неизбежно возникают издержки на промежуточные этапы, такие как перевод данных из одной формы хранения в другую, метрологическая обработка, и главное — оценка качества первичных материалов. Некоторые служебные операции и ввод сопутствующей информации производятся как оператором на скважине, так и интерпретатором на базе, что также не повышает общей эффективности работ.

Заказчика геофизических работ (нефтедобывающие предприятия) в первую очередь интересует максимальная скорость их выполнения и качество результатов. Следовательно, исполнитель этих работ (геофизические предприятия), в свою очередь, заинтересован в приобретении комплексных решений, отвечающих требованиям заказчика в наибольшей степени.

Разработаный в ВНПФ НефтеТест-Сервис технологический комплекс ГРАНИТ-ОНИКС и представляет собой именно такое комплексное решение. Об аппаратуре ГРАНИТ уже упоминалось.

Две другие составляющие технологии ГИЭС — наземное оборудование и система обработки — объединены в программно-аппаратном комплексе ОНИКС. Интегрирующую функцию выполняет ПО, которое поддерживает оба этапа данных ГИЭС — программа ОНИКС поддерживает оба этапа ГИЭС (регистрация и обработка данных).



Рис. 1. Станция ОНИКС в стоечном исполнении

Аппаратные средства ОНИКС

Аппаратная часть комплекса (рис. 1) состоит из

- компьютера,
- принтера,
- интерфейсного блока,
- выносного индикатора глубины/скорости спуска/подъема.

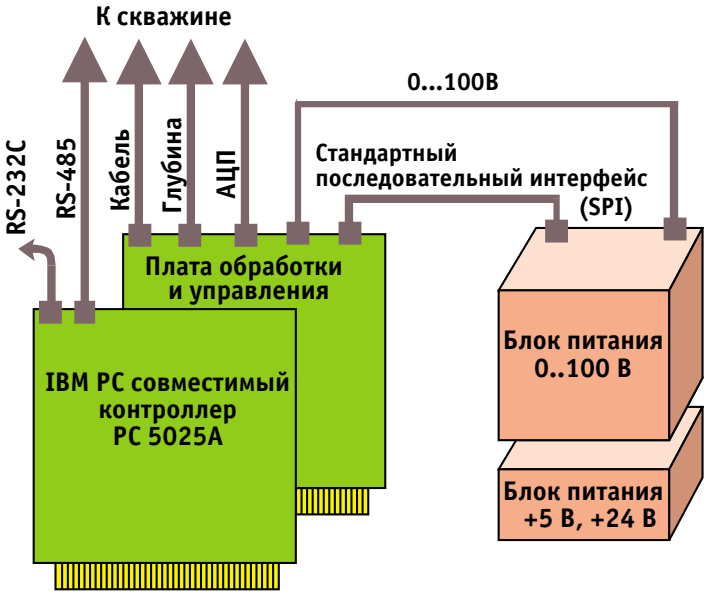
В последнее время ситуация с промышленными компьютерами на российском рынке значительно улучшилась. Сейчас несколько фирм поставляют в Россию продукцию ряда известных изготовителей. И мы, в свою очередь, теперь можем предложить своим заказчикам широкий спектр конфигураций. Необходимо отметить, что если несколько лет назад заказчик предпочитал максимально дешевое решение на базе обычных переносных компьютеров (notebook), то сейчас выбор определяется надежностью компьютеров промышленного исполнения. К сожалению, положение с промышленными принтерами, рассчитанными на рулонную печать, значительно хуже.

Анализ возможностей и перспектив выпускаемого нами интерфейсного блока на основе микроконтроллеров серии MCS-51, а также параллельно разработанной станции на основе ADSP-21XX заставил нас прийти к выводу о серийном производстве варианта аппаратуры ОНИКС, использующего в качестве основного вычислительного ядра IBM PC совместимую процессорную плату, а именно плату 5025A фирмы Octagon. Подобному выбору способствовала возможность быстрой разработки и модификации ПО станции, большая вычислительная мощность, высокая надежность и способность работать в расширенном диапазоне температур. Интерфейсный блок (рис. 2) состоит из

- блока питания, вырабатывающего напряжение питания +5 и +24 вольта;
- программно-управляемого блока питания постоянного напряжения до 100 вольт при токе до 0,5 ампер;
- платы обработки сигналов;
- процессорной платы 5025A.

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

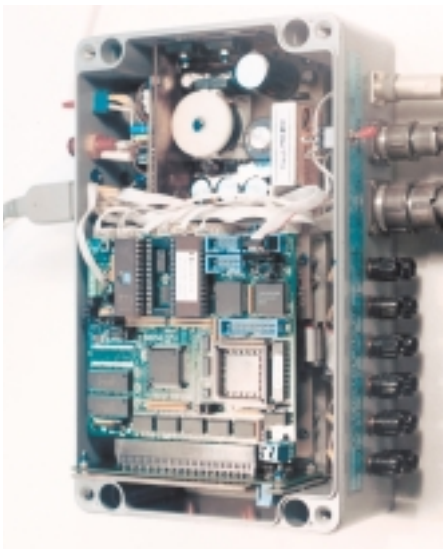
Вычислительные возможности процессорной платы 5025А позволили перенести ряд функций, выполняемых ранее в основном компьютере, в ПО интерфейсного блока. Это, прежде всего, привязка и коррекция глубины по магнитным меткам кабеля, ведение физической глубины, поддержка сетевого протокола и предварительная обработка информации, поступающей по сети от устьевого оборудования. Программное обеспечение вместе с ДОС прошито в ПЗУ платы.



Индикатор глубины/скорости/натяжения кабеля является сетевым устройством на основе интерфейса RS-485. Датчиками глубины могут быть сельсин, оптические датчики, датчик магнитной метки.

Рис. 2. Блок-схема интерфейсного блока

Применение современной элементной базы и технологии монтажа на поверхность позволило не только радикально повысить надежность станции, но и выпускать ее как в стандартном исполнении в виде стойки с промышленным компьютером, блоком бесперебойного питания и принтером, так и уместить все необходимые элементы внутри прочного герметичного корпуса размером 260×160×91 мм. В последнем случае обеспечивается, в зависимости от типа внешних разъемов, степень защиты до IP67, что позволяет использовать станцию на буровых платформах. Высокий кпд управляемого импульсного источника питания и незначительная потребляемая мощность всех остальных плат (суммарная менее 5 Вт), позволили отказаться от вентиляционных отверстий и тем более от вентилятора.



Малогабаритный интерфейсный блок с открытой крышкой

Малогабаритный вариант интерфейсного блока пользуется повышенной популярностью и может поставляться с широким спектром промышленных компьютеров, в том числе переносных (notebook). Этому во многом способствует выбранный нами способ связи интерфейсного блока и компьютера — обычный RS-232. Такой вариант предоставляет наибольшую гибкость в конфигурировании и размещении системы в малом помещении, каковым является кузов автомобиля.

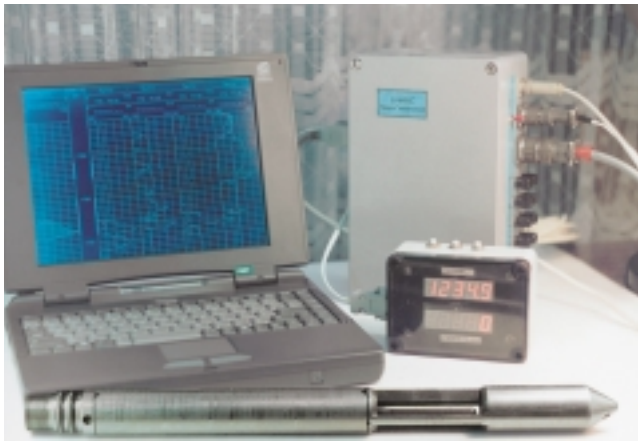
Плата обработки сигналов декодирует сигнал, поступающий с геофизического кабеля, реализуя интерфейс с различными типами скважинной аппаратуры, а также ведет обработку сигналов от сельсина, оптического датчика и датчика магнитных меток, выполняет преобразование аналоговых входных сигналов и управляет блоком питания. ПО позволяет работать с различными типами оптических датчиков глубины. Настройка типа датчиков метки и оптического датчика, в том числе определение активных логических уровней, осуществляется программно.

Сигнал скважинных приборов с центральной жилы кабеля (ЦЖК) через трансформаторную развязку поступает на усилитель с программно регулируемым коэффициентом усиления и компаратор с программно регулируемым порогом, что позволяет получать оптимальное соотношение сигнал/шум и надежно выделять сигнал. Затем сигналы поступают на дешифратор, который осуществляет декодирование информации.

Двухмикросекундный 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь работает с шестью внешними аналоговыми сигналами и контролирует сигнал на ЦЖК, напряжение и ток ЦЖК. Его наличие позволяет, например, работать с теми приборами, прямой интерфейс с которыми ПО в настоящий момент не поддерживает.

Импульсный блок питания работает в режимах стабилизации тока и напряжения в диапазоне до 100 В и 500 мА. Стабилизируется тот из двух параметров, значение которого для данной нагрузки первым достигнет заданного.

При отсутствии блока бесперебойного питания возможно подключение резервного питания 10..30 В (например бортовой аккумулятор машины). Тогда в случае пропадания сетевого напряжения станция прекращает питание скважинных приборов и переходит в автономный режим. В этом режиме продолжается обработка сигналов: данных АЦП, сигналов метки, если они поступают, и оптического датчика, — а также отображение глубины и скорости спуска/подъема (что важно для продолжения спуска-подъема, который может длиться до часа). Кроме того, работа с сельсином идет даже при пропадании питания сельсина. Данные накапливаются и передаются в компьютер при восстановлении связи с последним.



Станция ОНИКС со скважинным прибором

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Малогабаритный интерфейсный блок с индикатором глубины и скорости

Выносной индикатор глубины/скорости спуска/подъема подключается к станции через последовательный интерфейс RS-485.

Программное обеспечение ОНИКС

ПО ОНИКС состоит из двух подсистем и позволяет провести полный цикл работ по информационному обеспечению ГИЭС. Подсистема, установленная на рабочем месте интерпретатора, выполняет функции системы обработки и интерпретации данных ГИЭС. Подсистема, функционирующая на бортовом компьютере каротажной лаборатории, обеспечивает поддержку этапа регистрации данных.

Использование платы 5025А позволило перенести ряд вычислительных функций реального времени из ПО управляющего компьютера в ПО платы. Это дало возможность реализовать подсистему регистрации так, чтобы она функционировала в фоновом режиме. Тем временем оператор может использовать ОНИКС как обрабатывающую систему, т.е. обрабатывать ранее полученные данные, просматривать их и выводить на печатающее устройство (также в фоновом режиме).

Итак, система ОНИКС позволяет провести полный цикл работ по информационному обеспечению ГИЭС, включая

- поддержку при проведении исследований различными типами скважинной аппаратуры и регистрацию их результатов на диске;
- ввод, обслуживание и хранение различной информации ГИЭС;
- обработку данных ГИЭС, вплоть до автоматизированного получения интерпретационного заключения;
- представление результатов исследований и обработки в виде законченных отчетов.

В плане обслуживания аппаратуры как оператором, так и метрологическими службами геофизического предприятия подсистема регистрации предусматривает:

- поддержку базы данных используемых аппаратных средств с описанием всех необходимых параметров (напряжение и ток питания, тип телеметрии, способы первичной обработки параметров, геометрия расположения датчиков и метрологические параметры скважинных модулей);
- установку и контроль режимов питания и параметров информационных импульсов скважинных приборов;
- градуировку измеряемых параметров скважинных модулей и хранение индивидуального метрологического описания каждого модуля.

При проведении ГИЭС подсистема регистрации обеспечивает:

- контроль, установку и корректировку текущей глубины скважинных приборов;
- контроль скорости спуска/подъема аппаратуры;
- контроль магнитных меток каротажного кабеля и автоматическую корректировку глубины по меткам;
- контроль текущих кодов информационных каналов телеметрической системы применяемой скважинной аппаратуры;
- контроль физических параметров с использованием метрологической обработки как в цифровом, так и в графическом виде;
- регистрацию на диске компьютера измеряемых параметров с привязкой по глубине и по времени, с учетом точек записи каждого параметра и условий проведения замера в целом;
- ввод условий для подачи программой предупредительных сигналов оператору.

Пример окна оперативного управления и цифрового контроля работы станции показан на рис. 3.

Графический контроль кривых измеряемых параметров (рис. 4) обеспечивает широкий сервис по наглядному представлению обрабатываемых сигналов, в том числе:

- оперативное размещение в любых удобных форматах и масштабах;
- развертка графиков по глубине или по времени;
- отображение на графике элементов конструкции скважины;
- при регистрации возможен также просмотр (скроллинг, листание) графического экрана с момента начала регистрации.

При обработке и регистрации используется одна графическая подсистема. Это позволяет оператору и интерпретатору иметь единую библиотеку бланков размещения кривых. Следовательно, в момент передачи материалов на обработку оператор может представить данные в удобном для себя виде, а значит, и более полно прокомментировать их интерпретатору. Сопроводительная информация, введенная оператором (конструкция скважины, условия исследований и т. д.), автоматически попадает в подсистему обработки, что

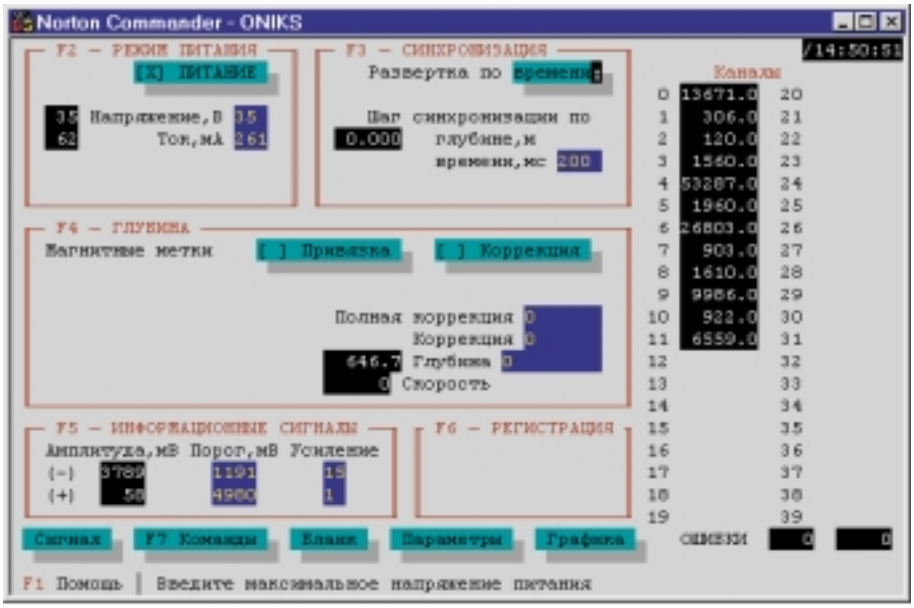


Рис. 3. Одно из окон оперативного управления и цифрового контроля работы станции

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

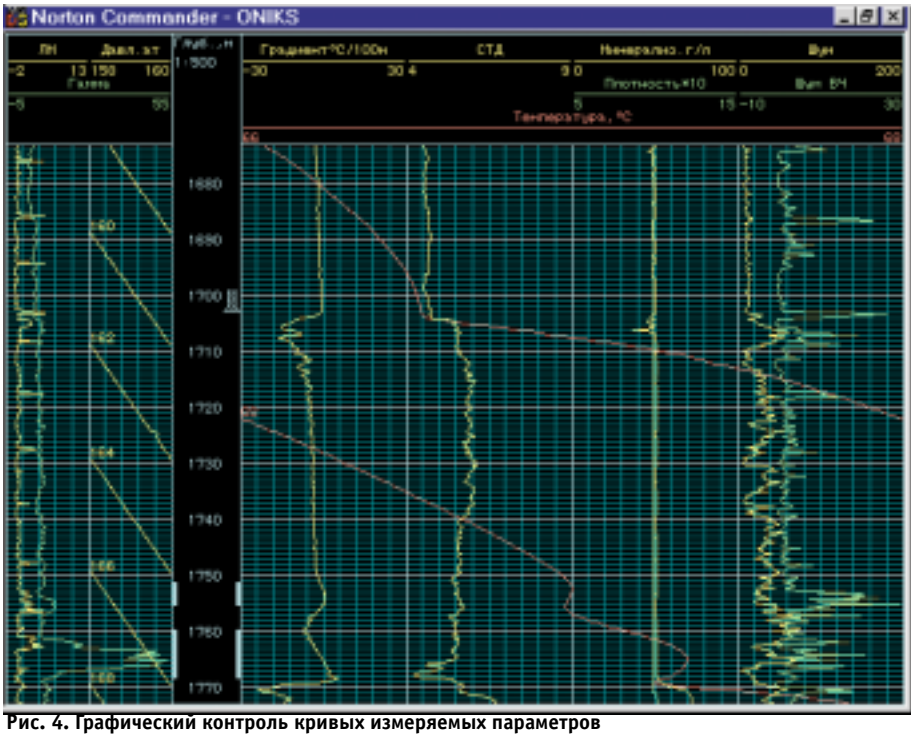


Рис. 4. Графический контроль кривых измеряемых параметров

значительно облегчает и ускоряет работу интерпретатора. Пример представления результатов интерпретации показан на рис. 5.

Подсистема обработки данных ГИЭС построена на основе интерпретатора разработанного нами языка ОНИКС. Последний учитывает специфику данных в виде геофизических кривых и особенности их обработки. Сложные методы математической обработки кривых собраны в библиотеку, доступную из программ.

Работу геофизика-интерпретатора облегчает пакет программ, как решающих ряд рутинных задач (выбор, размещение, увязка по глубине, предварительная обработка), так и позволяющих проводить интерпретацию данных ГИЭС. Эти программы, будучи написанными на языке ОНИКС, доступны для модификации, доработки и адаптации к конкретным условиям предприятий.

В составе комплекса ГРАНИТ-ОНИКС поставляется ПО версии 5.31, функционирующее в операционной системе MS-DOS. Современная тенденция удешевления персональных компьютеров (в том числе и промышленных) с одновременным увеличением их мощности позволяет использовать в качестве бортового компьютера геофизической лаборатории компьютер с достаточной мощностью для установки на нем современных операционных систем, что значительно облегчает написание систем реального времени. Так как большинство функций «жесткого» реального времени перенесено на ПО платы 5025A, время реакции этих ОС не является более сдерживающим фактором.

В связи с этим в качестве ОС для ПО нового поколения выбрана Windows NT как наиболее распространенная и позволяющая в максимально короткие сроки создавать большие объемы ПО. К сожалению, масштабность проекта и большие наработки за 5 лет эксплуатации предыдущих версий ПО не позволили закончить работу к выходу станции в производство.

Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что применение современных схемотехнических решений позволило последовательно проводить в жизнь комплексный подход к проблемам компьютеризации ГИЭС. Это привело к созданию комплекса, который среди отечественных аналогов на сегодняшний день обладает рекордными показателями по технологичности применения, оперативности проведения исследований и получения результатов, и, смеем надеяться, имеет наивысший показатель «эффективность/цена». ●

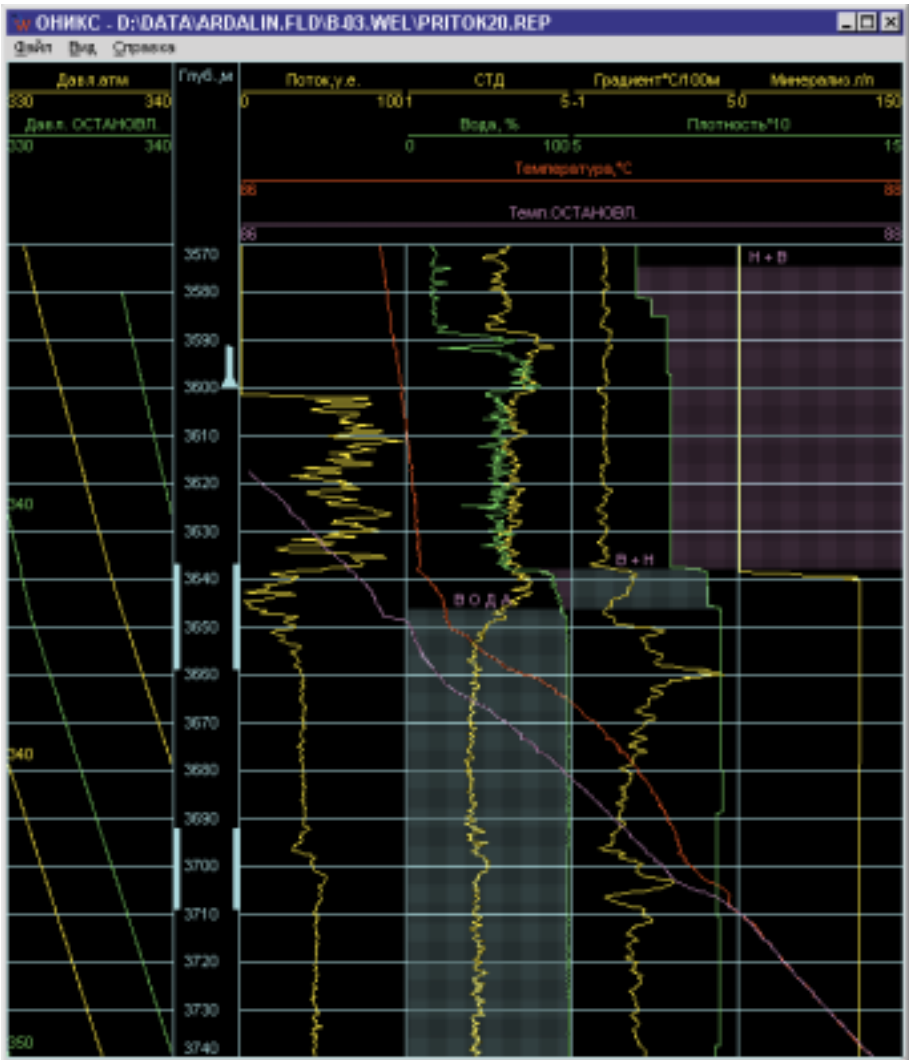


Рис. 5. Графическое представление результатов интерпретации

(C) 1999 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru