

## ЛИТЕРАТУРА

1. Власенко П. И., Денисов Ю. А., Яковлев А. П. Измерительный комплекс “Глубиномер А1Т” для привязки данных от автономных приборов к глубине // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2005. Вып. 5–6 (132–133). С. 221–229.
2. ГОСТ 1451-77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения.
3. Контактные сети и линии электропередач. Изд. “Маршрут”, 2003. 416 с.
4. <http://scbist.com/scb/uploaded/kontaktnaya-set/6.htm>.
5. <http://gelstver.ru/catalog/stancijageologotekhnologicheskikhissledovanijsi/dnk>.
6. [http://karotazh.ru/sites/default/files/files/glubinomer\(2\).pdf](http://karotazh.ru/sites/default/files/files/glubinomer(2).pdf).

УДК 550.832

*М. А. Юматов, А. А. Веселков, А. Ю. Юматов, С. А. Стрельцов*

## **НАЗЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ**

Рассмотрена краткая история развития разработок специалистов ООО “Нефтегазофизика” в области наземного оборудования геофизических исследований скважин. Приведены описания структуры реализованных на практике вариантов каротажных регистраторов. Основное внимание удалено разработке нового поколения систем сбора каротажных данных.

*Ключевые слова:* каротаж, система сбора данных, регистрация, декодирование.

За последние несколько лет современная электронная база претерпела ряд значительных изменений. Миниатюризация основных электронных компонентов затронула все без исключения области, где хоть как-то применяется цифровая техника. Не остается в стороне и измерительное оборудование для геофизических исследований скважин, как наземное, так и скважинное. То, что еще вчера казалось единственным возможным и оправданным техническим решением,

сегодня оказывается морально устаревшим и по законам свободного рынка должно быть заменено новым, более современным и совершенным. Так, практически полностью ушли из эксплуатации каротажные комплексы “Карат-П” – первое поколение коммерчески успешного наземного регистрирующего оборудования. Тем не менее у некоторых заказчиков они до сих пор продолжают функционировать, демонстрируя высокую надежность и качество полученного материала.

Однако современные условия требовали большего, по сравнению с первым поколением “Карат-П”, комфорта для операторов непосредственно при проведении каротажа и для сотрудников служб оперативной интерпретации. Каротажные комплексы “Карат-П” функционировали под управлением операционных систем MS-DOS, что, разумеется, накладывало определенные ограничения на использование стороннего программного обеспечения (ПО) и офисных приложений, не говоря уже об общей примитивности пользовательского интерфейса. Для решения тех же, что и у “Карат-П”, задач в середине двухтысячных годов были спроектированы и доведены до заказчика несколько вариантов каротажных комплексов – прообразов линейки станций “Каскад”. Первые комплексы представляли (в силу большого объема наработок для “Карат-П”) два персональных компьютера, соединенных между собой при помощи контроллера собственной разработки и интерфейса стандарта IEEE 1284.3 (EPP1.9) [7]. На головном компьютере такой станции, работающем под управлением ОС MS Windows 2000, функционировал собственно интерфейс оператора станции и вспомогательное ПО для первичной обработки. Реальную работу по связи со скважинной аппаратурой осуществлял второй компьютер станции, работающий под управлением MS-DOS и обеспечивающий относительно малое (порядка 10 мкс) “реальное время” (то есть гарантированное время реакции такой системы на внешнее событие не превышает 10 мкс). Управление процессом происходило через упомянутый выше параллельный интерфейс (EPP 1.9) с коммерческой (то есть с учетом накладных протокольных расходов) пропускной способностью около 800 кбайт/с [5]. Такая реализация позволяла использовать с минимальными изменениями монитор реального времени от “Карат-П” для процесса каротажа, одновременно снимая ограничения по интерфейсу пользователя и стороннему ПО для оператора каротажной станции.

На какое-то время такое решение закрывало рыночные потребности в современном каротажном комплексе, но было очевидно, что подобная реализация является половинчатым и времененным решением, имеющим ряд существенных недостатков. Среди главных из них можно выделить значительные габариты и увеличение общей стоимости изделия (система содержит дополнительный персональный компьютер и электронику интерфейса межкомпьютерной связи), а также низкую отказоустойчивость из-за нестабильного в дуплексной части интерфейса связи. В связи с этим следующее поколение “Каскад” представляло собой принципиально иную конструкцию, состоящую из одного персонального компьютера под управлением MS Windows XP и платы так называемой системы сбора данных (ССД). Эта плата собственной разработки авторов, реализованная на базе двух сигнальных процессоров (концепция построения подробно описана в [5, 6]), служила, с одной стороны, для непосредственного обмена данными со скважинной аппаратурой в реальном времени, с другой – для передачи полученных данных на компьютер оператора. В первых вариантах изделия была предпринята попытка сохранить упомянутый выше параллельный интерфейс между персональным компьютером оператора и ССД. Однако вследствие параллельный интерфейс был заменен на стандартный сетевой интерфейс Ethernet-LAN [8] в варианте 100 Мбит/с. Такое нововведение позволило на порядок увеличить коммерческую скорость передачи информации, несмотря на пакетную природу Ethernet-интерфейса (в отличие от 1284, принципиально потокового). Интерфейс 802.3 был реализован при помощи внешней микросхемы, содержащей в себе как электронику так называемого логического уровня (MAC-level), так и физический “оконечник” (PHY-level), работающий непосредственно на линию связи.

Уже в период разработки первых вариантов ССД в “двухпроцессорном” исполнении становилось понятно, что система должна удовлетворять следующему набору основных требований. Во-первых, обеспечение “жесткого” (с гарантированным временем реакции в 1 мкс на внешние события) реального времени для сигналов с каротажного кабеля (то есть от скважинной аппаратуры и/или внешних устьевых датчиков). Во-вторых, передача по цепочке в компьютер оператора результатов ГИС для последующей обработки независимо и асинхронно относительно собственно процесса декодирования и оцифровки. В-третьих, система должна быть достаточно логически

гибкой, чтобы работать с большим набором разнообразных кодировок сигналов скважинной аппаратуры, как представленной в настоящее время на рынке, так и перспективной. И если первые два требования легко удовлетворяются логической компоновкой ССД (два сигнальных процессора, один из которых ведущий, а другой ведомый, с адресным пространством, доступным первому через механизмы прямого доступа к памяти), то последний подразумевает наличие гибко перестраиваемых физических фильтров и аппаратных предекодеров (дифференцирование, фиксация и оценка пересечения нулевой линии и направления этого пересечения, разнообразные сэмпл-счетчики и т. д.). Современная элементная база позволяет решать подобные проблемы несколькими способами, однако наиболее предпочтительным представляется использование микросхем программируемой логики [2]. Самые первые варианты ССД содержали “на борту” микросхемы CPLD (Complex Programmable Logic Device – программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС)) на небольшое количество логических “вентилей”, однако использовалась эта “логика” исключительно для внутренней коммутации входных сигналов и управления предварительными усилителями. Попытки применить доступные ресурсы микросхемы непосредственно для декодирования выявили недостаточность ее ресурсов для решения задач сложнее построения примитивных счетчиков. Для реализации же сколько-нибудь сложных фильтров требуются значительно большие объемы внутренних ресурсов микросхем ПЛИС.

Однако, даже если принимать во внимание вышеупомянутые недостатки, такая конструкция ССД в составе каротажных регистраторов серии “Каскад” хорошо зарекомендовала себя в производственных условиях. Область ее использования охватывает как традиционный для продукции серии сегмент – геологоразведку, так и сегменты работ по контролю за разработкой месторождений углеводородов, оценки техсостояния скважин и даже, с определенными модификациями, может быть использована в качестве наземной перфорационной панели при прострелочных работах. В состав ПО регистраторов “Каскад” входят блоки поддержки разнообразной скважинной аппаратуры как производства ООО “Нефтегазгеофизика”, так и других производителей. Работа по подключению новых типов аппаратуры ведется постоянно и успешно, добавление нового телеметрического типа не вызывает никаких конструктивных изменений в структуре

станции, все подключение обеспечивается на программном уровне. Более того, поскольку разработка скважинной аппаратуры тоже не стоит на месте, на рынке начинают появляться приборы, требующие передачи больших объемов данных через каротажный кабель (электромагнитные сканеры, спектрометры, инфракрасные и акустические дефектоскопы). При этом общие запасы по быстродействию ССД позволяют организовать взаимодействие со скважинной аппаратурой, передающей по каротажному кабелю данные со скоростями до 200 кбод. Общее количество выпущенных каротажных регистраторов в настоящий момент уже сопоставимо с аналогичным показателем аппаратуры серии "Карат-П" и продолжает увеличиваться.

В то же время недостатки ССД тоже достаточно очевидны. В первую очередь, это уже упомянутая выше проблема с использованием возможностей программируемой логики. Далее, это устаревание элементной базы, включая "сердце" ССД – сигнальные процессоры (в настоящее время в изделие устанавливаются ADSP-2185N, снятые с производства фирмой-производителем); это сложность использования системы непосредственно заказчиком, поскольку ССД использует так называемую "проприетарную" операционную систему, то есть ОС внутренней разработки, недостаточно хорошо документированную. Поэтому несколько лет назад, как только стала очевидна жизнеспособность ССД как коммерческого изделия, с одной стороны, и выявился набор недостатков системы, с другой, было принято решение о разработке следующего поколения ССД, по возможности лишенного вышеперечисленных слабых мест, с сохранением положительных качеств ССД для серии "Каскад".

Общие соображения при решении задачи проектирования были следующими. Во-первых, сохранение физического разделения компьютера оператора и электроники обмена со скважинной аппаратурой. Такой подход хорошо себя зарекомендовал у потребителей, альтернативные же варианты [1, 3, 4, 9] сопряжены с рядом ограничений по использованию аппаратного обеспечения и программной реализации. Немаловажно, что большинство из таких сторонних реализаций далеко не бесплатны, что негативно сказывается на конечной стоимости каротажной станции.

Во-вторых, сохранение современного пользовательского интерфейса оператора. Иными словами, для управляющего компьютера станции должна быть использована привычная многим современная

ОС. В качестве основного варианта предполагалась MS Windows 7, однако возможен безболезненный, с точки зрения разработчиков, переход на любую другую ОС фирмы Microsoft (по-прежнему самого распространенного производителя ОС и вспомогательного программного обеспечения на рынке ПК). Для сохранения возможности такого перехода необходимо сохранение полной аппаратурной независимости управляющего компьютера от остальной части каротажного регистратора, включая используемый для связи интерфейс. Учитывая опыт использования Ethernet-LAN, сетевой интерфейс серии “Каскад” полностью удовлетворяет таким требованиям (не требуется изготовления специализированного ПО поддержки интерфейса со стороны компьютера оператора, адAPTERы входят в состав практически любой материнской платы, как стационарной, так и мобильной).

В-третьих, современная ССД должна быть максимально гибкой и перестраиваемой для эффективной обработки входных сигналов с каротажного кабеля и при этом управляться ОС либо с открытым исходным кодом, либо просто достаточно хорошо документированной и зарекомендовавшей себя на рынке. В связи с этими требованиями было принято решение о разделении ССД на две тесно связанные физически, но логически разнородные части (рис. 1).

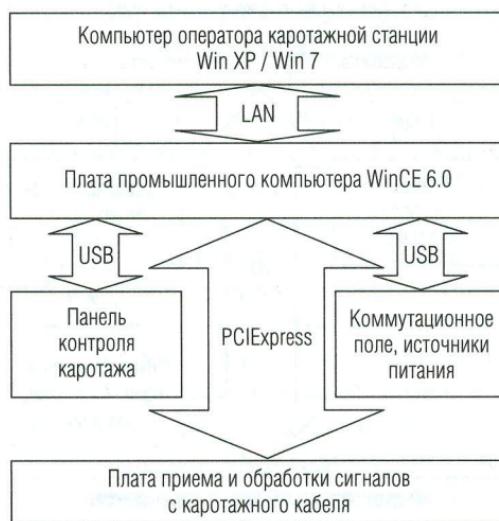


Рис. 1. Общая структурная схема каротажного регистратора

Первая из них (рис. 2) представляет собой плату промышленного компьютера (ППК) в максимально компактном (но не в ущерб функционалу) исполнении, управляемую ОС Windows CE 6.0. Выбор операционной системы был связан как с открытостью исходного кода, так и с привычной многим разработчикам операционной структурой (исполняемые модули для такой ОС могут быть написаны с использованием широко известных сред разработки MS Visual Studio). При этом указанная ОС обладает привычным многим оконным пользовательским интерфейсом, что может (и было) использовано для отображения некоторых важных моментов работы системы на основном (или дополнительном жидкокристаллическом, по желанию заказчика) дисплее регистратора.

На ППК было реализовано ПО каротажного монитора, обеспечивающее управление задачами обмена со скважинной аппаратурой и

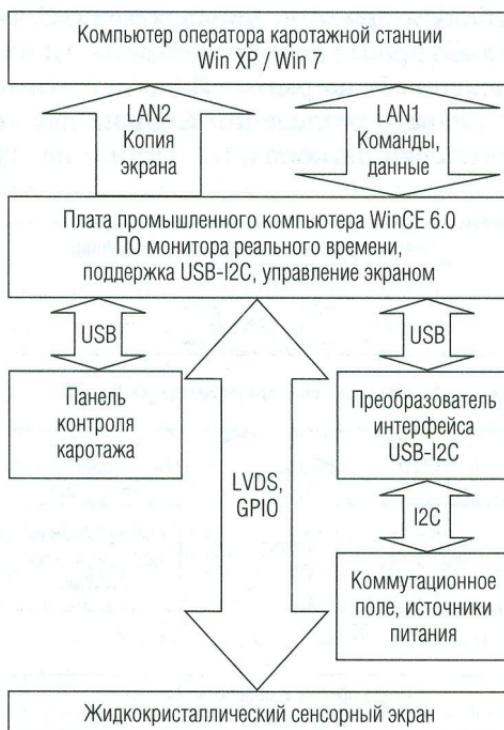


Рис. 2. Структурная схема верхнего уровня ССД

наземными вспомогательными блоками в режиме мягкого (10–20 мкс) реального времени. Эти блоки подключаются посредством интерфейса USB [12] непосредственно к ППК, причем внутренняя структура системного ПО ОС Windows CE не требует дополнительной разработки специализированного ПО поддержки интерфейса, оставляя на откуп разработчикам только самый верхний, логический уровень. Этот факт, как и тот, что многие блоки не требуют модернизации по сравнению с поставляемыми в рамках системы “Каскад”, существенно сокращает время разработки ПО каротажного монитора и регистратора в целом. Дополнительный жидкокристаллический дисплей регистратора подключен непосредственно к ППК и снабжен сенсорным покрытием, что позволяет в экстренных случаях управлять процессом каротажа при помощи ССД, минуя использование компьютера оператора. Предыдущие реализации ССД были лишены такой возможности, являясь своеобразным “черным ящиком”. Однако вся информация, выводимая на этот вспомогательный экран, может быть по желанию продублирована в отдельном окне на основном экране компьютера оператора в любом удобном размере.

Вторая часть ССД (рис. 3), работающая непосредственно на каротажный кабель, содержит быстродействующий АЦП (40–100 нс на отсчет), 8–10-разрядный ЦАП, ПЛИС большого объема и разного рода вспомогательные корпуса (предварительные усилители, преобразователи интерфейса и т. д.). Эта плата реализована в форм-факторе так называемой PCI Express Minicard [11]. Соответствующий такому исполнению стандартный слот содержится на ППК. Таким образом, интерфейс между этими двумя частями – PCI Express обеспечивает номинальную пропускную способность в 2,5 Гбит/с, что, в свою очередь, гарантирует коммерческую пропускную способность на уровне 100 Мбайт/с с учетом всех издержек реализации. Этого более чем достаточно для обеспечения потоковой оцифровки входного сигнала с таким количеством отсчетов в единицу времени, чтобы гарантированно и с высоким качеством покрыть частотный спектр сигналов, проходящих через каротажный кабель (до 150–200 кГц). Предполагается, однако, что большую часть работы по предварительной фильтрации и декодированию входных сигналов осуществляют аппаратные фильтры/декодеры, реализованные непосредственно на ПЛИС, то есть потребности по объему передаваемых в ППК данных существенно уменьшаются. Все аппаратные блоки ПЛИС способ-

ны работать параллельно, что позволяет вести сложную обработку сигнала практически в реальном времени. В конечном изделии не исключен даже вариант с использованием полностью программного, то есть реализованного на ПЛИС процессора обработки сигналов, поступающих от скважинной аппаратуры, однако пока такой вариант не представляется коммерчески выгодным из-за большого количества потребляемых ресурсов ПЛИС при незначительном превосходстве в функционале над отдельными блоками обработки/фильтрации.

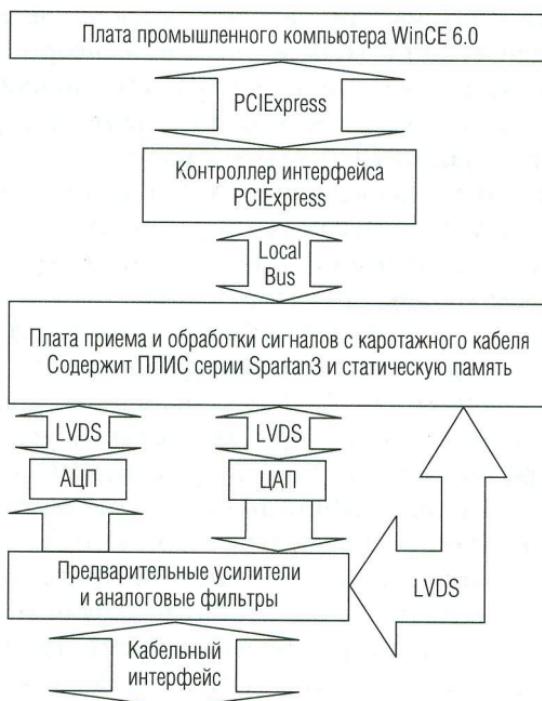


Рис. 3. Структурная схема "сигнальной" части ССД

Как показали результаты испытаний тестовых образцов и моделей, описанная выше конструкция ССД вполне способна перекрыть имеющиеся в настоящее время потребности в наземном оборудовании, однако, по мнению авторов, предназначена в основном на перспективу. Это прежде всего работа с сигналами большой информационной насыщенности (многоуровневые коды с достаточно высокой,

до 150 кГц, несущей частотой), передача вниз по кабелю больших объемов информации (метрологические и управляющие опросом данные, параметры линии и т. д.) и интеллектуальное взаимодействие со скважинной аппаратурой с минимальным участием оператора. Все это либо ближайшее будущее, либо уже настоящее, существующее в виде экспериментальных, а то и серийных скважинных приборов современной геофизики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виртуальная машина VirtualBox // <http://help.ubuntu.ru/wiki/virtualbox>.
2. Максфилд Клайв. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. М.: Издательский дом “Додэка-ХХI”, 2007.
3. Руководство пользователя Xen v3.0 // <http://xgu.ru/xen/manual>.
4. Чеботарев А. Семь вещей, которые нужно знать о VMWare и VirtualPC // <http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/ee449411%28v=ws.10%29>.
5. Юматов А. Ю., Веселков А. А., Стрельцов С. А., Юматов М. А. Наземный геофизический комплекс сбора данных и управления. Концепция построения и варианты реализации // НТВ “Каротажник”. Тверь: Изд. АИС. 2006. Вып. 143–145. С. 138–143.
6. Юматов А. Ю., Веселков А. А., Ериков С. А. Система сбора для проведения геофизических исследований в скважинах: концепция построения // Международная научно-техническая конференция “Компьютерные технологии в управлении, диагностике и образовании”.
7. IEEE Standard Signalling Method for a Bidirectional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers IEEE 1284. IEEE P1284 Draft D1.2 8/1/00.
8. IEEE Conformance Test Methodology for IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirement. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications IEEE 802.3. IEEE Std 1802.3–2001(Revision of IEEE Std 1802.3–1991).
9. Hyper-V // <http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/cc753637%28v=ws.10%29>.
10. RTXRuntimeReleaseNotes.pdf, Citrix Company (документация к пакету Ardence RTX).
11. PCI Express® Base Specification Revision 3.0. November 10, 2010.
12. Universal Serial Bus SpecificationI Revision 2.0. April 27, 2000.