

# РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРОВЕРКИ БОРТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ

А. А. Михайлов

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова»

## Введение

В предыдущей работе, представленной на V молодежной научно-технической конференции (в 2010 г.), автор всесторонне рассмотрел прибор УВН – универсальный промышленный контроллер верхнего уровня, который был использован в качестве прототипа комплекса, разрабатываемого для решения задач проверки бортовых вычислительных систем. Данная работа посвящена решению задачи создания современного, автоматизированного аппаратно-программного комплекса контроля и проверки бортовых вычислительных систем (далее – АПК). В докладе приведены основные технические характеристики АПК, показаны перспективы его дальнейшего совершенствования в части повышения автоматизации сбора данных и контроля параметров анализируемых бортовых вычислительных систем (БВС).

## Постановка задачи

Задача при разработке АПК формулировалась следующим образом. На базе контроллера УВН необходимо создать универсальный АПК проверки бортовых вычислительных систем, позволяющий автоматизировать и значительно упростить проведение проверок указанных приборов как в целом (по заранее составленной методике на испытаниях), так и выборочно, проверяя все доступные подсистемы (для целей отладки). АПК должен обладать простым и удобным современным интерфейсом оператора, позволяющим без ограничений управлять программой проверки. Также АПК должен быть скомпонован таким образом, чтобы минимизировать состав дополнительного оборудования, применяемого для испытаний, и обеспечить простоту подготовки к проверочным мероприятиям.

## Общие сведения об АПК

АПК проверки бортовых вычислительных систем предназначен для осуществления контрольно-проверочных и отладочных мероприятий с указанными бортовыми вычислительными системами.

Программное обеспечение комплекса является составным программным продуктом и предназначено для реализации возможностей комплекса и от-

дельных его модулей с целью использования для осуществления проверок и тестирования как отдельных подсистем БВС, так и всего прибора в целом, в ручном, выборочном или автоматическом режиме.

Принцип работы программного обеспечения тесно связан с архитектурой АПК в целом и всех его модулей в частности. При разработке АПК используется среда LabVIEW версии 9.0, работающая в операционной системе Microsoft WindowsXP SP3. По окончании разработки планируется переход на встраиваемую компактную операционную систему реального времени.

**Аппаратная структура АПК.** Комплекс представляет собой прибор в корпусе формата «Евромеханика 19 дюймов», в который установлены отдельные модули. С точки зрения пользователя, АПК является промышленным компьютером (головное устройство – одноплатный компьютер под управлением ОС WindowsXP) с набором интерфейсных модулей собственной разработки и программной оболочкой также собственной разработки. Головное устройство связано с интерфейсными модулями по шине ISA и с отдельными высокоскоростными модулями – по шине PCI. В АПК установлены следующие модули: **Модуль питания (МП)** (обеспечивает преобразование переменного напряжения 220 В в постоянное номиналами 27, 5, 3,3 В, необходимыми отдельным подсистемам); **Модуль вычислительного устройства (МВУ)** (содержит одноплатный компьютер, панель интерфейсов и установленные высокоскоростные платы, в т. ч. «модуль» для обмена по ГОСТ Р 52070-2003); **Модуль обмена по протоколу «Манчестер-2» (МАН)** (представляет собой плату информационного обмена по ГОСТ Р 52070-2003 «ТА1-104», установленную на модуле МВУ и являющуюся основой для двух терминалов мультиплексного канала (ТМК) модели «ТАМ1»); **Модуль телеиндикации (МТИ)** (представляет собой АЦП, способный одновременно обрабатывать один отсчет по одному из 48 подключенных каналов на выбор); **Модуль телеуправления (МТУ)** (формирует управляющие воздействия методом коммутации ключей цепи (замкнуто/разомкнуто) по 48 каналам одновременно); **Модуль телесигнализации (МТС-01)** (позволяет считывать состояния входных сигналов по 48 каналам одновременно в виде анализа замкнутости/разомкнутости каждой линии); **Модуль интерфейсов пользователя (МИП)** (осуществляет вывод изображения на встроенный цветной графический

сенсорный экран и прием управляющих воздействий от оператора АПК, также оснащен интерфейсами для сопряжения с БВС); **Модуль цифрового осциллографа (МЦО)** (осуществляет анализ амплитудных и частотно-временных параметров сигналов МАН).

**Техническое решение задачи в аппаратной части комплекса.** Прототип, использованный при разработке АПК проверки бортовых вычислительных систем, предназначался для автоматизации систем управления газодобычей и требовал доработки в части быстродействия, удобства пользования, разработки программного обеспечения и наличия необходимых интерфейсов. Проведенная работа по усовершенствованию аппаратной составляющей комплекса более подробно рассмотрена ниже.

**Замена процессорной платы.** Имевшаяся производительность процессорной платы была недостаточной для обеспечения работы операционной системы и параллельного проведения значительных вычислений. В АПК применен одноплатный компьютер с процессором AMD Geode 500 МГц, 256 МБ ОЗУ, шинами ISA и PCI. При модификации устройства также были изготовлены новые соединители, жгуты и разъемы. Внешний вид процессорной платы и платы обеспечения обмена по ГОСТ Р 52070-2003, установленных на модуле МВУ, иллюстрирует рис. 1.

**Добавление платы обмена по ГОСТ Р 52070-2003.** Для реализации обмена данными с бортовыми ЭВМ по протоколу «Манчестер» параллельно одноплатному компьютеру была установлена плата ТА1-104 производства компании «Элкус». Внешний вид платы, установленной на модуле МВУ, иллюстрирует рис. 1, плата расположена правее. Данное устройство



Рис. 1. Внешний вид процессорной платы и модуля обмена по ГОСТ Р 52070-2003

подключено к процессорной плате по шине ISA (быстродействия ее вполне достаточно). При установке платы производства компании «Элкус» возникли проблемы несовместимости адресных пространств платы от «Элкус» и АПК. Пришлось произвести модификацию драйвера от производителя, а также изменить метод чтения адреса для корректного внедрения платы ТА1-104 в адресное пространство АПК.

**Разработка блока коммутации.** Для осуществления проверок самого АПК, а также для подключения его к проверяемой бортовой вычислительной системе понадобилось изготовить несколько жгутов и специальное устройство — блок коммутации. Один жгут позволяет соединять два взаимодополняющих модуля (модули с «обратными» функциями, например запись и чтение, МТУ и МТС-01) с целью осуществления самоконтроля работоспособности модулей АПК. Также для подключения бортовой ЭВМ к АПК и организации коммутации специальных сигнальных линий был спроектирован и разработан блок коммутации. Данное устройство представляет

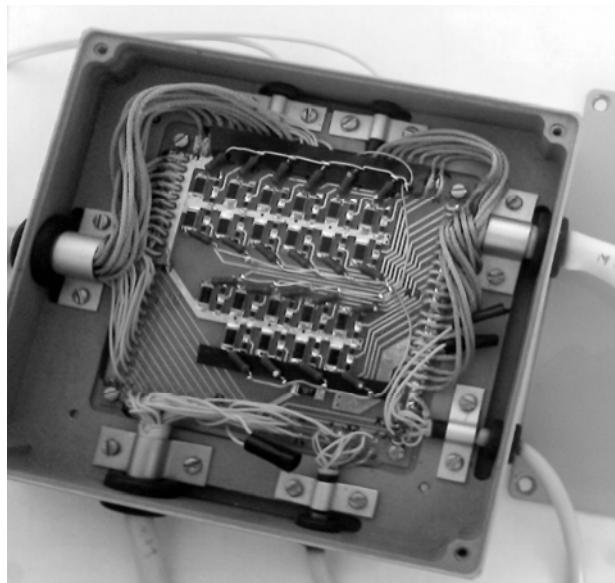


Рис. 2. Блок коммутации

собой сигнальную развязку, позволяющую принимать, передавать и коммутировать все сигналы между АПК и бортовой вычислительной системой. Со стороны БВС блок принимает и передает разовые команды (уровни сигналов и состояние «сухих контактов»), а также служебные информационные и управляющие сигналы. Со стороны АПК в блоке нужным образом сигналы делятся на предназначенные для АЦП (частотно-временные измерения, параметры быстроменяющихся сигналов) и предназначенные для модулей телеуправления и телесигнализации (управление и считывание состояния сигнальных входов БВС). Взаимодействие по ГОСТ Р 52070-2003 происходит через переднюю панель комплекса с помощью специального жгута, так как плата обмена установлена на головном модуле АПК с выводом интерфейсов на переднюю панель.

**Автоматическое управление питанием бортового вычислителя.** В процессе испытаний и проверок необходимо контролировать электропитание БВС, отслеживать потребляемый ток, выставлять повышенное и пониженное напряжение в соответствии с ТЗ. Для этих целей был добавлен дополнительный RS-232 порт для управления программируемым блоком питания. Во время разработки в АПК используется

USB <-> 2xCOM переходник, через который подключен программируемый источник питания с возможностью установки и считывания всех параметров.

**Схема взаимодействия компонентов АПК.**

Упрощенную схему взаимодействия компонентов АПК можно описать следующим образом. Модуль питания преобразует стандартное бытовое входное напряжение 220 В/50 Гц во вторичные питающие напряжения +27, +5, +3,3 В. Также блок питания защищает АПК от скачков напряжения, перегрузок и коротких замыканий. Головным устройством АПК является модуль вычислительного устройства, а именно – процессорная плата, установленная на нем. Одноплатный компьютер с установленной операционной системой Windows XP SP3, в которой выполняется рабочая программа, управляет шинами ISA и PCI, работой всех модулей, поддержкой интерфейсов и обработкой получаемых данных. Под управлением процессорной платы находятся модули: МТИ, МТУ, МТС-01, МАН, МЦО, МИП. Модули извне получают данные, используя программы низкого уровня, обрабатывают в соответствии с написанной для них программой высокого уровня и предоставляют данные головному ПО, управляющему потоками данных между подпрограммами отдельных функций. Основ-

ная программа по принятым модулями данным выносит решения и формирует ответные воздействия, сохраняет результаты и выводит пользователю (оператору) на встроенный графический дисплей. В зависимости от режима проверки, головная программа подвергает данные анализу по определенным критериям, делая вывод о правильном или неверном функционировании проверяемой подсистемы БВС. Оператор управляет ходом проверки, выбором режимов и получением данных о БВС, используя сенсорный графический экран высокого разрешения. Интерфейс головной программы рассчитан на управление касанием пальца и предоставляет доступ ко всем обрабатываемым данным в зависимости от режима проверки и степени детализации информации (проверка пройдена / есть ошибки, детализация по подсистемам, детализация по тестам подсистем, детализация по конкретным данным в каждом тесте каждой подсистемы). Подобная многослойность выводимых данных позволяет с максимальной эффективностью использовать АПК как оператору, не имеющему специальных знаний о БВС, так и опытному разработчику, нуждающемуся в максимальном объеме информации для анализа. Вышеописанное взаимодействие иллюстрирует рис. 3.

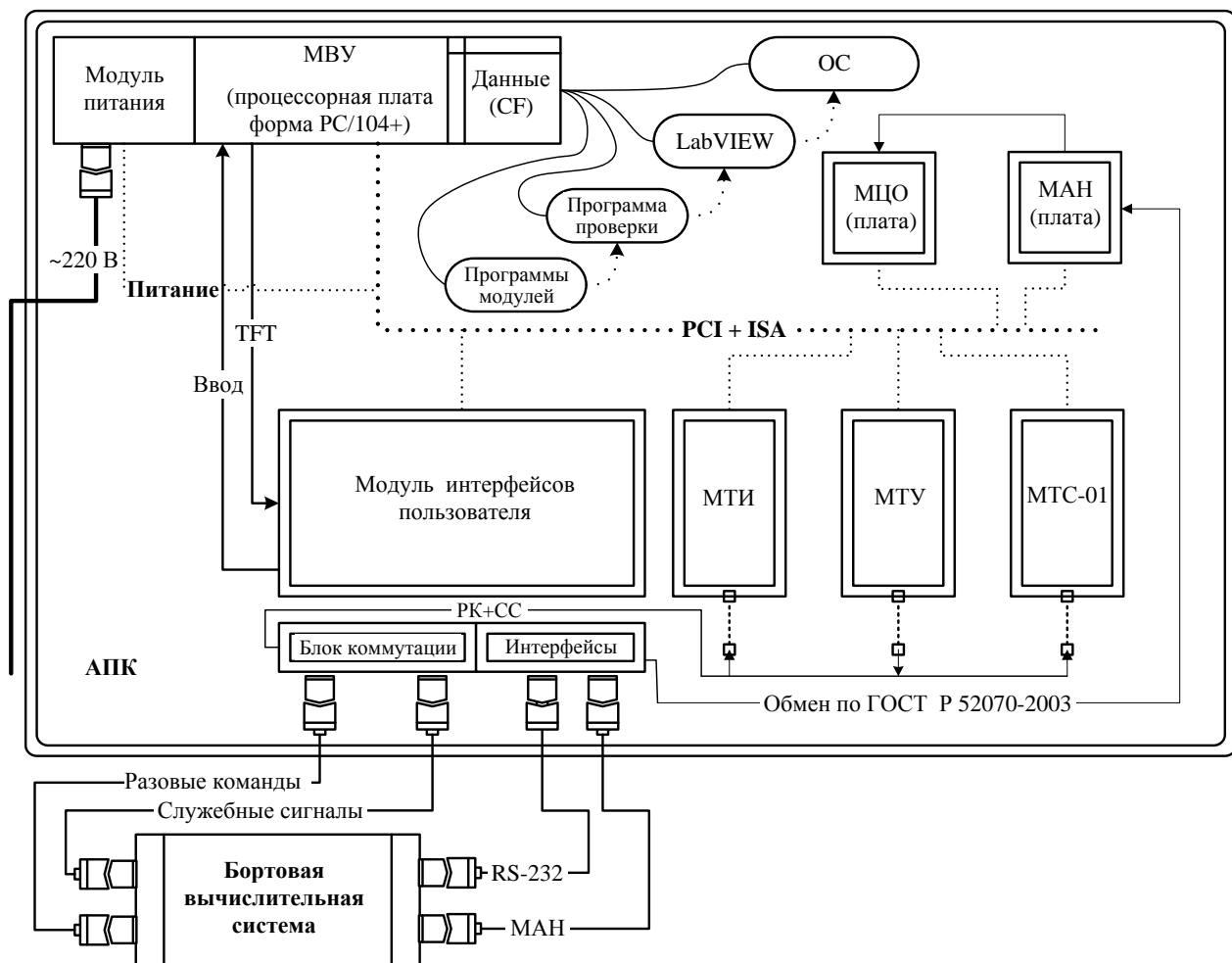


Рис. 3. Упрощенная схема взаимодействия компонентов АПК

**Техническое решение задачи в программной части.** В АПК используется позиционная адресация модулей, т. е. адрес – характеристика не модуля, а его места в корпусе АПК. Таким образом, окончательный вариант АПК будет иметь жестко заданные адреса модулей, что позволило освободить часть ресурсов системы путем отказа от программы автоматического определения модулей. С точки зрения применения, созданное ПО делится на несколько типов: **для автономных модулей** (процессорная плата на МВУ, модуль питания, модуль интерфейсов пользователя), **для стандартных модулей от прототипа** (МТИ, МТУ, МТС-01), **для специализированных модулей** (МАН, МЦО), **прикладное обеспечение** (управление потоком данных, интерфейсами, журналирование, вывод графики на экран, самотестирование и т. п.) и непосредственно различные **программы проверки** (в автоматическом, выборочном, ручном режимах).

Рис. 4 иллюстрирует структуру созданного автором программного обеспечения разрабатываемого АПК.

**Автономные модули** либо не содержат элементов, поведение которых программируется (модуль питания и модуль интерфейсов пользователя в части разъемов), т. е. являются сугубо аппаратной структурой, либо представляют собой самодостаточную систему с собственным управлением (процессорная плата и часть модуля интерфейсов с графическим дисплеем).

ПО для **стандартных модулей** от прототипа подразделяется на два уровня абстракции: реализующее функции модулей на примитивном программном уровне (чтение и запись данных) и выполняющее конкретные задачи логической обработки информации. Для всех трех модулей из состава АПК, прошедших к комплексу от прототипа, автором соз-

дано ПО обоих перечисленных уровней: отдельными функциями выполнены программы, производящие обработку «сырых» данных, а на основе этих подпрограмм создавалось ПО для анализа обмена информацией между АПК и БВС, формирования адекватных ответных воздействий и получения результатов выполнения отдельных задач.

ПО для **специализированных** модулей создавалось автором, используя обращение к модулям через драйвер. Как правило, большинство операций нижнего уровня для таких устройств уже созданы в виде отдельных функций (производитель вместе с драйвером предоставляет минимальный набор библиотеки функций). Остается собрать из готовых функций по заранее разработанному алгоритму программу, которая выполняет уже заданные логические действия с данными АПК и БВС.

Для модуля **обмена по ГОСТ Р 52070-2003** (МАН) создавались наборы последовательностей передачи данных для работы в различных режимах, программа самотестирования памяти устройств, программа для эмуляции режима «прослушивания линии» (устройство только воспринимает все передаваемые данные, но, вопреки протоколу, не отвечает на них, а сохраняет в неизменном виде для анализа, несмотря на то, что по протоколу «Манчестер-2» устройство обязано реагировать на адресованную ему команду, распознать командное слово, слова данных, обработать данные, все служебные слова удалить).

Программы получения данных от **осциллографа** находятся в разработке на настоящий момент в связи со сменой типа устройства, обрабатывающего быстроменяющиеся сигналы (ранее использовался одноканальный АЦП из состава МТИ; в связи с недостаточной производительностью идет подбор встроенного осциллографа внутреннего исполнения).

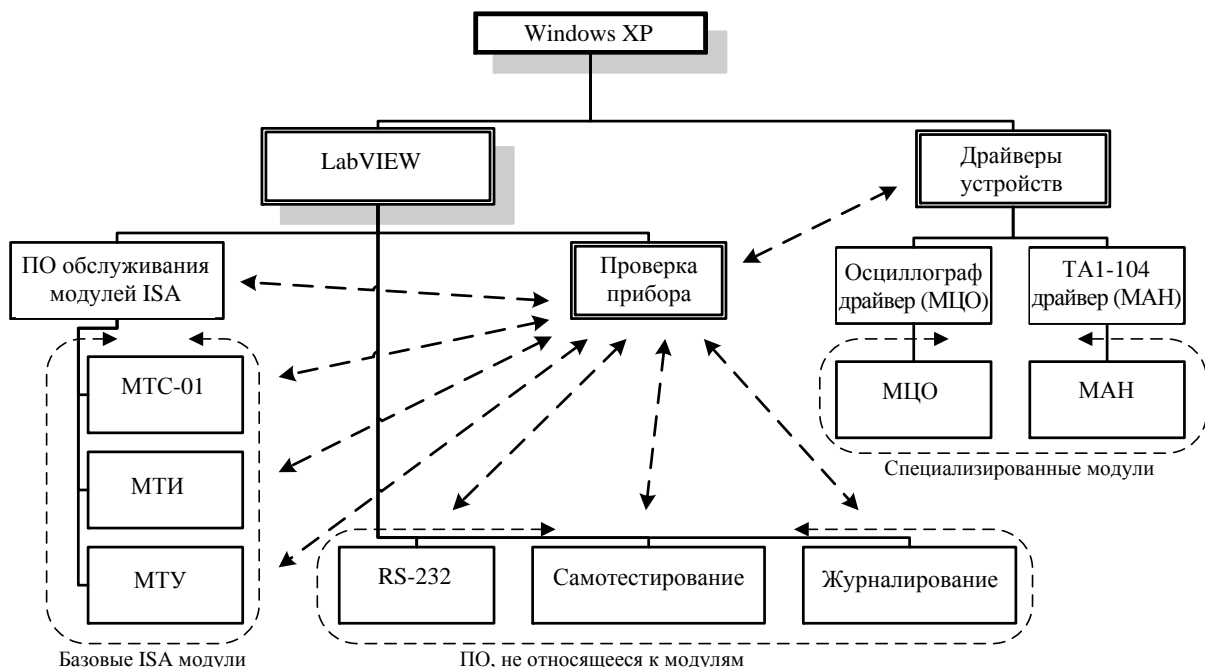


Рис. 4. Структура и схема взаимодействия программного обеспечения АПК

Автором также было разработано *прикладное ПО*, выполняющее функции, не относящиеся напрямую к информационному обмену между АПК и БВС. Среди этих вспомогательных средств стоит выделить: ПО *самотестирования* МТУ-МТС (позволяет проверить работу обоих модулей, так как их функции взаимно дополняют друг друга: чтение и запись сигналов в виде замыкания контактов), ПО *управления внешним источником питания* (для обеспечения требуемых напряжений и измерения характеристик электропитания БВС), ПО *управления RS-232* портом (для эмуляции действий пользователя при работе с тест-мониторной системой БВС в режиме ручной отладки), ПО *сохранения данных и журналирования* хода проверки (визуализирует данные, получаемые от подпрограмм, конвертирует в диаграммы и графики, сохраняет параметры работы БВС в отдельные файлы с временными отметками и всеми доступными параметрами работы, сохранение результатов испытаний для анализа), ПО *обслуживания интерфейса* рабочей программы (принимает команды оператора, выводит данные на экран).

*Программы проверки БВС* являются результатом слаженной работы всех вышеперечисленных средств. Данное ПО состоит из отдельных режимов работы. Режим *автоматической проверки* позволяет производить тестирование приборов в полностью автоматическом режиме по заранее разработанной методике, запрашивая только конкретный алгоритм, выдает через некоторое время результат в точном соответствии с критериями методики проверки (которая опирается на техническое задание по разработке БВС). В режиме выборочной проверки оператор может исключить некоторые пункты из методики проверки, что позволяет тестировать отдельные подсистемы БВС по критериям ТЗ, не затрачивая времени на полную проверку всей вычислительной системы. В режиме ручной проверки оператор самостоятельно тестирует интересующую его подсистему БВС в тех режимах и теми средствами, которые сочтет нужными. Данный режим предоставляет самую большую свободу действий при проверке БВС, но и требует наиболее глубоких знаний структуры проверяемой системы, ее возможностей и правил функционирования; используется разработчиками при ручной отладке БВС перед полноценной проверкой по методике.

## Использование других ОС и сред разработки

В течение разработки автор сталкивался с ограничениями возможностей технической реализации как со стороны среды разработки (несмотря на техническую гибкость и многопрофильность), так и со стороны используемой операционной системы (Windows XP).

Среда LabVIEW удобна для быстрой разработки сложных программных комплексов, использующих дружественный пользователю интерфейс, но

имеет заметные ограничения по функциональности (в рамках базового пакета). В настоящий момент решено продолжать разработку программ в среде LabVIEW с возможностью перенести в будущем ПО в другую операционную систему.

Операционная система Windows XP известна своей стабильностью и невысокими системными требованиями, что позволяет непосредственно на базе АПК в короткие сроки разрабатывать необходимое программное обеспечение. Но со временем обнаруживаются отдельные ограничения операционной системы: недостижимость режима «реального времени», большое количество сторонних процессов и процедур, используемых самой операционной системой. После окончания создания АПК на базе Windows XP решено рассмотреть возможность использования встраиваемой операционной системы реального времени, что позволит многократно повысить стабильность работы программных средств и повысит точность получаемых АПК данных от БВС.

## Актуальность работы

Актуальность представленной работы определяется **необходимостью** создания автоматизированного АПК для проверки бортовых вычислительных систем. Отсутствие универсального комплекса требует разработки различных пультов и другого нестандартного оборудования единичного производства. Проверка сложных вычислительных систем с использованием нестандартной контрольно-проверочной аппаратуры является трудоемкой и несвободна от возможных ошибок оператора. Для проведения проверки с помощью пультов обязательно присутствие опытного разработчика, в совершенстве знающего структуру и программное обеспечение БВС. При использовании АПК **все необходимые знания** о проверяемом приборе **уже заложены в архитектуру программы** проверки, что позволяет осуществлять тестирование силами любого оператора, в т. ч. не имеющего отношения к разработке БВС. Интерфейс программного обеспечения проверки строится по принципу «нажать кнопку проверки – подождать – получить результат». **Максимальная автоматизация** является основной целью создания АПК. Несмотря на кажущуюся простоту, АПК **выводит всю необходимую информацию** не только в конечном отчете, но и во время проверок, позволяя разработчику тщательно следить за выполнением тестов каждой подсистемы БВС. Таким образом, **создание законченного АПК радикально улучшит процедуру проверки БВС** на всех этапах работы с ними.

**Новизна.** Автоматизированный, универсальный, простой в управлении и компактный АПК, не требующий в конечном итоге оператора высокой квалификации, осуществляющий большую часть проверок самостоятельно и формирующий максимальный подробный отчет, создается **впервые**. Комплекс

**разработан в НИО 31300** на базе хорошо зарекомендовавшего себя промышленного контроллера, разработанного также в НИО 31300.

Была проведена работа по **модернизации аппаратной части** комплекса, включающая установку более современной процессорной платы, добавление новых интерфейсов, конструктивные изменения, улучшающие удобство использования АПК. Таким образом, аппаратная часть представляет собой моноблочный прибор, не отягощенный многочисленными периферийными компонентами.

**Программная часть** комплекса создается **впервые**, не используя разработки ПО для прототипа АПК. Автором создаются все необходимые программные компоненты: общие программы для организации взаимодействия модулей, служебные программы проверки модулей и самодиагностики АПК, подпрограммы-функции для каждого из модулей, позволяющие использовать возможности конкретного модуля для решения задач проверки БВС. **Основным программным продуктом является ПО для проверки бортовых вычислительных систем.** Все программы написаны в среде разработок LabVIEW версии 9.0 непосредственно на самом АПК, что гарантирует возможность модифицировать ПО в будущем без использования инструментальных ЭВМ и дополнительных программных продуктов. Как аппаратная, так и программная часть комплекса не перестают совершенствоваться, получая все больший функционал в области проверки БВС.

### Научная значимость

Технические решения, внедренные при разработке комплекса, позволили **повысить его надежность, снизить стоимость, упростить изготовление и эксплуатацию.** Способ задания адреса модулей **защищен патентом** на устройство. Сам АПК является сплавом многофункционального оборудования и разнообразного программного обеспечения для проведения не только контрольно-проверочных мероприятий с бортовыми вычислителями, но и автоматизации многих других научно-исследовательских работ благодаря большому функционалу и возможности быстрого создания аппаратной и программной начинки для каждого конкретного применения. Важным достижением и значительной частью комплекса является его программное обеспечение, созданное преимущественно в среде LabVIEW. Программное обеспечение для выполнения большого количества проверок и их автоматизации было реализовано **в виде одного набора программ.**

### Практическая значимость

Комплекс является автоматизированным многофункциональным прибором, созданным для проведения контрольно-проверочных работ и различных

исследований бортовых вычислительных систем. Его использование **многократно упростит и ускорит** проведение проверок и отладок БВС от этапа макетирования до приемо-сдаточных испытаний. Благодаря мобильности комплекса и стандартизированному исполнению значительно **сократился объем вспомогательного оборудования** для испытаний разрабатываемых бортовых вычислительных систем. Планируется, что в серийном виде аппаратная часть комплекса будет представлять собой законченный моноблок, т. е. **не будет нуждаться в периферийном оборудовании** для полноценной работы.

**Программное обеспечение** состоит из базовой части, обеспечивающей функционал начального уровня (определение модулей, их местоположения, типа, адреса, возможностей), модульной части (программы, реализующие полный функционал каждого модуля с полным набором входных и выходных параметров) и прикладной части, использующей данные остальных двух для выполнения конкретных задач. При создании нового ПО модификации подлежат только третья, прикладная, часть, что позволяет **уменьшить время разработки** программ для выполнения конкретной задачи в несколько раз. При разработке программной части для проверки и сопровождения испытаний БВС предусмотрен как ручной режим выполнения отдельных проверок или полного прохождения методики испытаний, так и полностью автоматический режим проверки бортовой ЭВМ на соответствие требованиям заданной методики. В любом случае предоставляется полная информация обо всех контролируемых параметрах прибора, потреблении тока, результатах всех тестов и выносится решение о прохождении программы проверок. **Вся информация будет сохраняться** в архивные файлы для возможности дальнейшего **анализа.**

Среди технических достоинств разработанного комплекса следует отметить:

- компактность устройства,
- высокую надежность,
- малое энергопотребление,
- высокое быстродействие,
- высокую интегрируемость,
- наличие распространенных интерфейсов,
- корпус выполнен в конструктиве «Евромеханика» (для 19” шкафов),
- широкий диапазон условий работы,
- возможность обработки различных по происхождению сигналов,
- наличие множества видов модулей ввода-вывода,
- возможность оперативного создания новых видов модулей.

Перечисленные достоинства делают АПК проверки бортовых вычислительных систем перспективным для использования на всех этапах разработки БВС: от макетирования до приемо-сдаточных испытаний и самостоятельной проверки заказчиком.

Рис. 5 демонстрирует эскиз внешнего вида законченного АПК в представлении автора. Пример интерфейса программы управления ходом выборочных проверок иллюстрирует рис. 6.

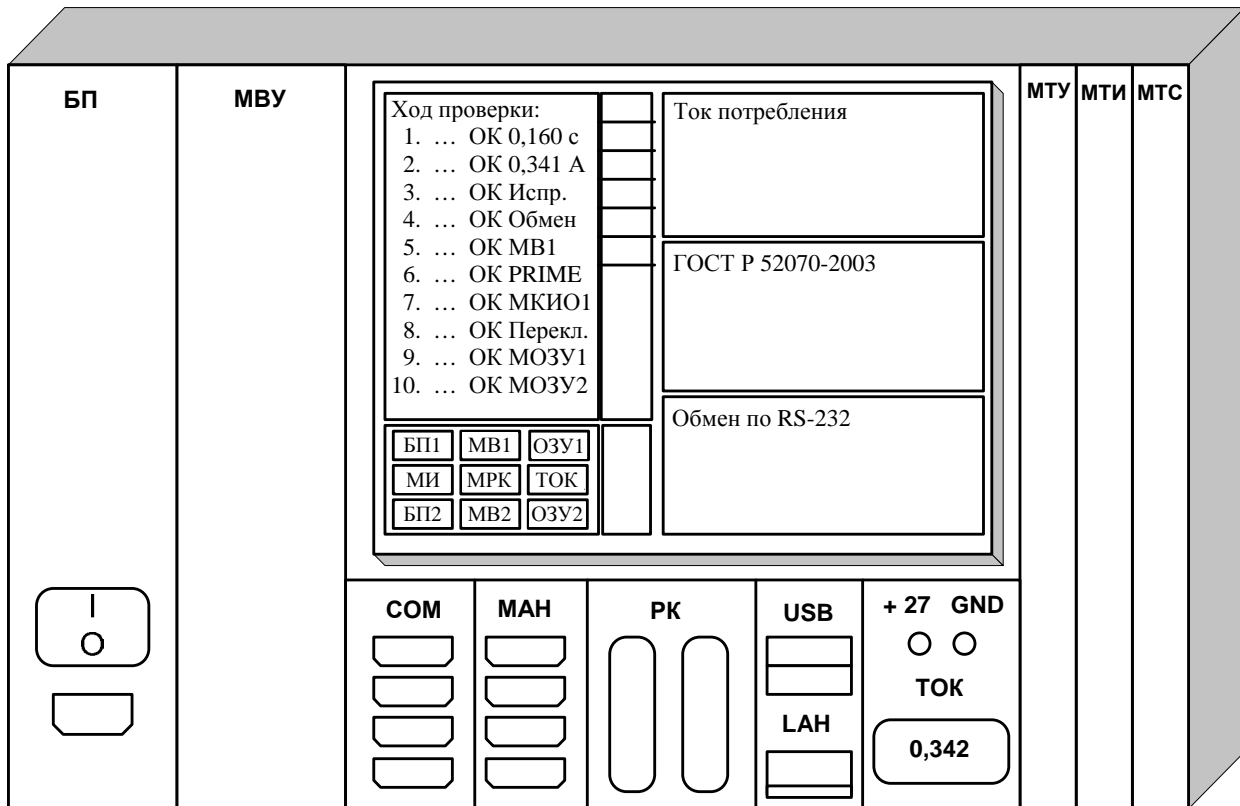


Рис. 5. Эскиз внешнего вида законченного АПК в представлении автора

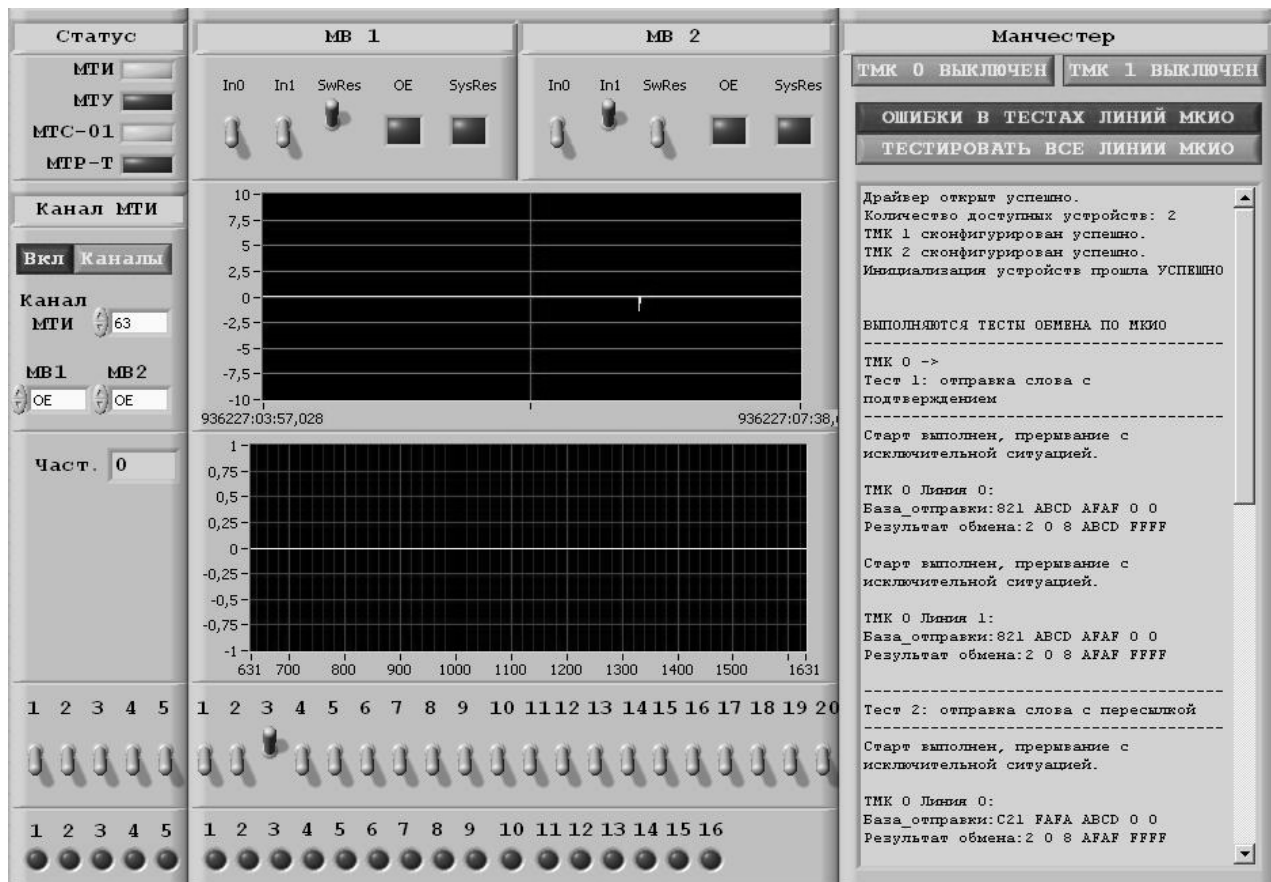


Рис. 6. Пример интерфейса программы управления

## Литература

1. Бахирев Г. Г., Русанов В. Н. Устройство УВН: Технические условия ИГНД.468157.007 ТУ, НИИИС, Нижний Новгород, 2007.

2. Бахирев Г. Г., Куликов С. В., Русанов В. Н., Дмитриев В. Н., Степанов А. Н. Программа и методика № 313-179/2009 испытаний ..., НИИИС, Нижний Новгород, 2009.

3. Беляев В. Б., Вышиваный И. Г., Орехов Ю. И., Русанов В. Н. Измерительная система учета расхода и контроля качества продуктов добычи газоконденсатных месторождений // Средства измерения, автоматизации, телемеханизации и связи. 2003. № 10. С. 12–17.

4. Орехов Ю. И., Вышиваный И. Г., Костюков В. Е., и др. Бесконтактный радиолокационный расходомер газожидкостных потоков РГЖ-001 // Сб. материалов 11-й междунар. конференции «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, 2001.

5. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс Магистральный Последовательный Системы Электронных Модулей. Общие Требования. ГосСтандарт России, Москва, 2003.

6. Блохнин С. М. Шина ISA. Общее описание. ПК «Сплайн», Москва, 1992.

7. Патент на изобретение № 2429524 «Промышленный контроллер», ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седякина», заявка № 2009128941 от 28.01.2009.

## Публикации

А1. Русанов В. Н., Друмов А. В., Васильев В. В., Михайлов А. А. Конструктивные и программные методы улучшения технических характеристик контроллера УВН // Доклад V научно-технической конференции молодых специалистов Госкорпорации «Росатом», НИИИС, Нижний Новгород, 2010.