

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Г.А. Смелчакова, А.С. Пентин, Е.А. Солодянкина**

*АО «НПО автоматики», Россия (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 145), e-mail: gasmelchakova@gmail.com*

**Аннотация:** В статье рассматривается подход, применяемый в АО "НПО автоматики" к автоматизации процесса контроля и диагностики неисправностей цифровых вычислительных систем на этапе наладки систем, автономной и комплексной проверки перед выпуском аппаратуры с предприятия. Отмечаются недостатки существующей системы, выбираются пути ее совершенствования. Приводятся результаты внедрения разработанных технических решений.

Ключевые слова: автоматизированная система, диагностики неисправностей, цифровая вычислительная система, программное обеспечение.

## **AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND FAULT DIAGNOSIS OF DIGITAL COMPUTER SYSTEMS**

**G.A. Smelchakova, A.S. Pentin, E.A. Solodyankina**

*SPA of Automatics, Yekaterinburg, Russia (620075, Russia, Yekaterinburg, street Mamina-Sibiryaka, 145), e-mail: gasmelchakova@gmail.com*

**Abstract:** Discussed the approach taken in the SPA of Automatics for automation of process control and fault diagnosis of digital computer systems at the stage of commissioning of systems, autonomous and complex check before release of the equipment from the company. Drawbacks of the existing system are considered and the ways of system perfection are suggested. The results of implementation of the developed technical solutions are considered.

Key words: automation system, fault diagnosis, digital computing system, software.

### **Введение**

Одним из этапов серийного производства цифровых вычислительных систем (ЦВС) является контроль и диагностика неисправностей компонентов ЦВС и ЦВС в целом. Задачи контроля и диагностики: оценка состояния объекта контроля (ОК), принятие решения о работоспособности ОК, определение мест отказов для восстановления работоспособного состояния ОК.

С целью автоматизации процесса контроля и диагностики неисправностей ЦВС и ее компонентов в процессе наладки системы, автономной и комплексной проверки перед выпуском аппаратуры с предприятия в 2008 г. была внедрена автоматизированная система контроля и диагностики (АСКД). Основные задачи, которые решала АСКД:

- унификация рабочих мест для контроля и диагностики неисправностей различных ОК за счет внедрения на рабочие места унифицированной аппаратуры автономных проверок (ААП). Решение этой задачи было обеспечено наличием у блоков ЦВС стандартизованных интерфейсов;
- снижение временных затрат на разработку и сопровождение программного обеспечения (ПО) ААП различных ОК за счет внедрения унифицированного системного ПО ААП, которое предоставило средства разработки и отработки алгоритмов проверки ОК. Особенностью ПО являлось то, что взаимодействие с ААП осуществлялось последовательностью команд на основе пользовательского языка (скриптом);
- снижение доли участия человека в процессе контроля за счет автоматизации процесса контроля и диагностики;
- минимизация процесса привлечения системного программиста к написанию тестовых проверок и анализу результатов проверок. Решение этой задачи обеспечивалось средствами системного ПО ААП.

В процессе внедрения АСКД были выявлены следующие недостатки:

- необходимость внедрения и сопровождения большого числа адаптеров в системном ПО ААП привела к разрастанию ПО, громоздкости его архитектуры и сложности сопровождения ПО в целом;
- ввиду сложности архитектуры блоков ЦВС оказалось невозможным исключение разработчика ПО ААП ОК из процесса диагностики неисправностей ОК, при этом анализ возможного места неисправности являлся зачастую трудоемким процессом;
- отсутствие единой методики разработки ПО ААП объекта контроля привело к появлению разобщенного набора ПО, сложного в сопровождении, несмотря на наличие возможностей для унификации алгоритмов проверок;
- отсутствие средств автоматизированного контроля формы аналоговых сигналов (в частности, сигналов ГОСТ Р 52070-2003 [2]) привело к необходимости участия человека в процессе контроля.

Целью работы является модернизация существующей АСКД, направленная на устранение отмеченных недостатков.

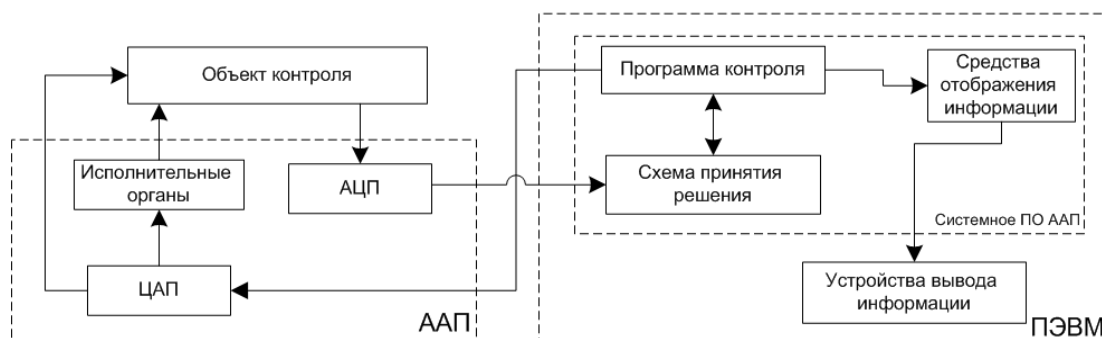
Выбраны следующие пути совершенствования АСКД:

- минимизация процесса разработки и сопровождения ПО ААП различных ОК за счет внедрения в пользовательский язык управления адаптерами настраиваемых высокоуровневых команд, функций по работе с переменными и параметрами;
- формирование базы данных отработанных алгоритмов проверок по различным интерфейсам;
- внедрение общей методики разработки ПО ААП объекта контроля;
- минимизация процесса диагностики неисправностей ОК за счет использования каналов технологического доступа (в частности, внедрение в системное ПО ААП поддержки адаптеров JTAG, обеспечивающих доступ к процессорам и программно-логическим устройствам (ПЛИС));
- оптимизация архитектуры системного ПО ААП, придание ей необходимой гибкости и динамизма;

- разработка и внедрение в АСКД средств автоматизированного контроля формы аналоговых сигналов.

### Структура АСКД

Основными элементами АСКД являются ААП, в состав которой входят аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), системное ПО ААП, устанавливаемое на персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ). Процесс контроля и диагностики ЦВС показан на рисунке 1.



**Рисунок 1. Процесс контроля и диагностики неисправностей ОК**

Типовая ААП ОК включает в себя:

- 1) ПЭВМ;
- 2) набор адаптеров внешних интерфейсов:
  - имитатор логических интерфейсов, предназначенный для выполнения временных диаграмм по системной магистрали;
  - имитатор интерфейса ГОСТ Р 52070-2003 [2], обеспечивающий взаимодействие по кодовой линии связи;
  - конвертер последовательного канала связи (RS-232, RS-422, RS-485, токовая петля), обеспечивающий взаимодействие по последовательному интерфейсу;
  - имитатор силовых команд и сигналов, обеспечивающий имитацию и выдачу дискретных (силовых) сигналов;
  - FTDI USB-устройства;
  - адаптеры гальванической развязки;
  - адаптер интерфейса Ethernet;
- 3) набор источников питания, обеспечивающий ОК необходимыми напряжениями питания (PSP, PSH, БЗ-721.4.485);
- 4) средства измерения (мультиметры GDM 8264, APPA);
- 5) кабельную сеть, которая связывает между собой устройства ААП.

Состав ААП меняется в зависимости от ОК.

### Контроль и диагностика неисправностей ОК

Для контроля и диагностики неисправностей ЦВС в АСКД применяются тестовые и функциональные методы. Тестовый метод заключается в формировании набора входных воздействий на объект контроля, получении его реакции на них и сравнение с эталоном. Если считанная с ОК информация не соответствует эталонной, можно говорить о наличии

дефекта. Примером тестового метода может быть разметка данных в памяти оперативного запоминающегося устройства (ОЗУ), чтение данных из памяти и их контроль.

Функциональные методы предназначены для контроля алгоритмов функционирования ЦВС. Средства функционального контроля являются аппаратными (например, схема синхронизации каналов в трехканальном модуле [3]) и программными (например, расчет контрольной суммы по модулю 2).

Для взаимодействия ОК с системным ПО ААП разрабатывается ПО ОК, называемое технологическим, которое загружается в ОК и используется только для проверки работоспособности ОК. Каждый ОК требует разработки собственного технологического ПО. Возможно заимствование ПО в различных ОК, если они имеют одинаковые процессора.

Спецификой ОК с процессорами является то, что после подачи питания ОК переходит на выполнение программы, размещенной в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ), называемой ПО начального участка (НУ). В ПО НУ ОК обязательно должен быть реализован алгоритм входа в режим ААП в случае получения команды по внешнему интерфейсу, предназначенный для загрузки технологического ПО, или уход на штатную программу.

Методика проверки ОК включает в себя следующие этапы:

- настройка ААП в соответствие с утвержденной схемой ААП;
- первичное занесение информации в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) ОК (в том числе ПО НУ ОК);
- контроль данных ПЗУ тестовым или функциональным методом;
- контроль работоспособности ОК путем выполнения определенных разработчиком ПО ААП ОК режимов проверки.

Технология проведения режима проверки:

- вход в режим ААП ОК по одному из внешних интерфейсов;
- загрузка в ОК через внешний интерфейс технологического ПО;
- выполнение алгоритмов проверки, основанных на тестовом методе;
- выполнение алгоритмов проверки, основанных на функциональных методах.

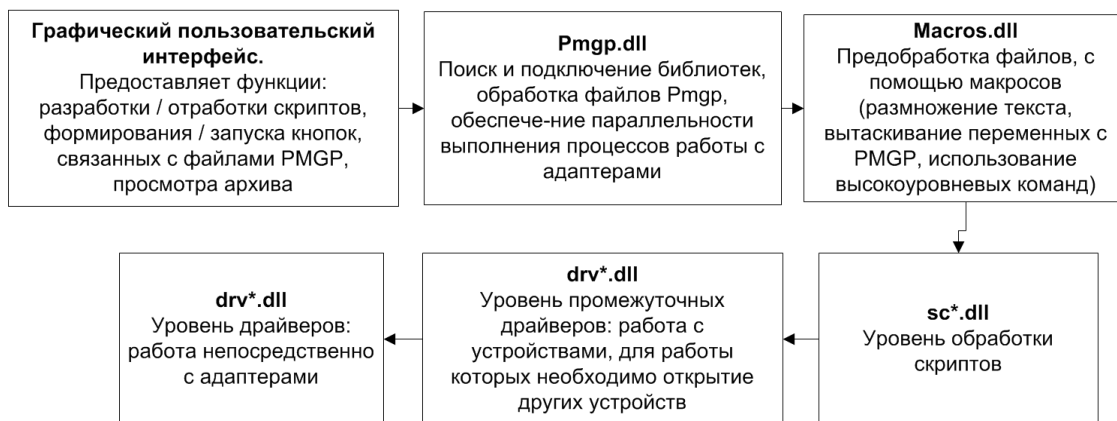
Необходимость сброса задач и восстановления системы в исходное состояние перед проведением каждой новой проверкой приводит к необходимости повторной загрузки технологического ПО после каждого сброса питания, что, в свою очередь, приводит к дополнительным временным затратам. С целью минимизации временных затрат (например, для ПО ААП специализированного вычислительного модуля (СВМ), с 146 минут до 32), разработчик ПО ААП ОК опускает загрузку технологического ПО перед каждой проверкой. Диагностика неисправности ОК на этапе наладки системы при таком подходе затруднена в случае сбоев в работе технологического ПО, вызванных неисправностью компонентов ОК, не позволяет исключить разработчика ПО ААП ОК из процесса наладки ОК.

## **Совершенствование системного ПО ААП**



набор поддерживаемых адаптеров и их пользовательского языка (скрипта), путем добавления библиотек со стандартизованным интерфейсом в папку с ядром программы.

Архитектура системного ПО ААП состоит из следующих уровней: уровня графического пользовательского интерфейса, уровня выполнения режима проверок, уровня предобработки скриптов, уровня обработки скриптов, уровня промежуточных драйверов и уровня драйверов (рис. 2).



**Рисунок 2. Архитектура системного ПО ААП версии 2.0**

Уровень драйверов архитектуры системного ПО ААП предназначен для работы непосредственно с адаптерами, уровень промежуточных драйверов – для работы с устройствами, которым для работы требуется открытие других устройств (первичных). Под устройством понимается адаптер или протокол взаимодействия ПЭВМ с адаптером (если этот протокол не реализован в библиотеке уровня драйверов соответствующего адаптера). Уровни драйверов и промежуточных драйверов представляют собой набор динамических библиотек вида `drv_*.dll` со стандартизованным интерфейсом.

Уровень обработки скриптов архитектуры системного ПО ААП предназначен для выполнения файлов процедур и представляет собой набор динамических библиотек вида `sc_*.dll` со стандартизованным интерфейсом. Уровень предобработки скриптов представляет собой динамическую библиотеку и предназначен для выполнения предобработки файлов процедур: формирования текста в соответствии с заданными правилами, работы с переменными, заданными в файле, использования высокоуровневых команд обработки данных.

Уровень выполнения режима проверок архитектуры системного ПО ААП представляет собой динамическую библиотеку, в которой реализованы следующие функции:

- поиск и подключение библиотек более низкого уровня (предобработки скриптов, обработки скриптов, промежуточных драйверов, драйверов);
- обработка файла задания режима, описывающего порядок запуска файлов процедур, определение соответствия их адаптерам;
- обеспечение параллельности выполнения процессов работы с адаптерами.

Интерфейс пользователя системного ПО ААП показан на рис. 3. Алгоритм проведения проверок ОК отображается в виде дерева.

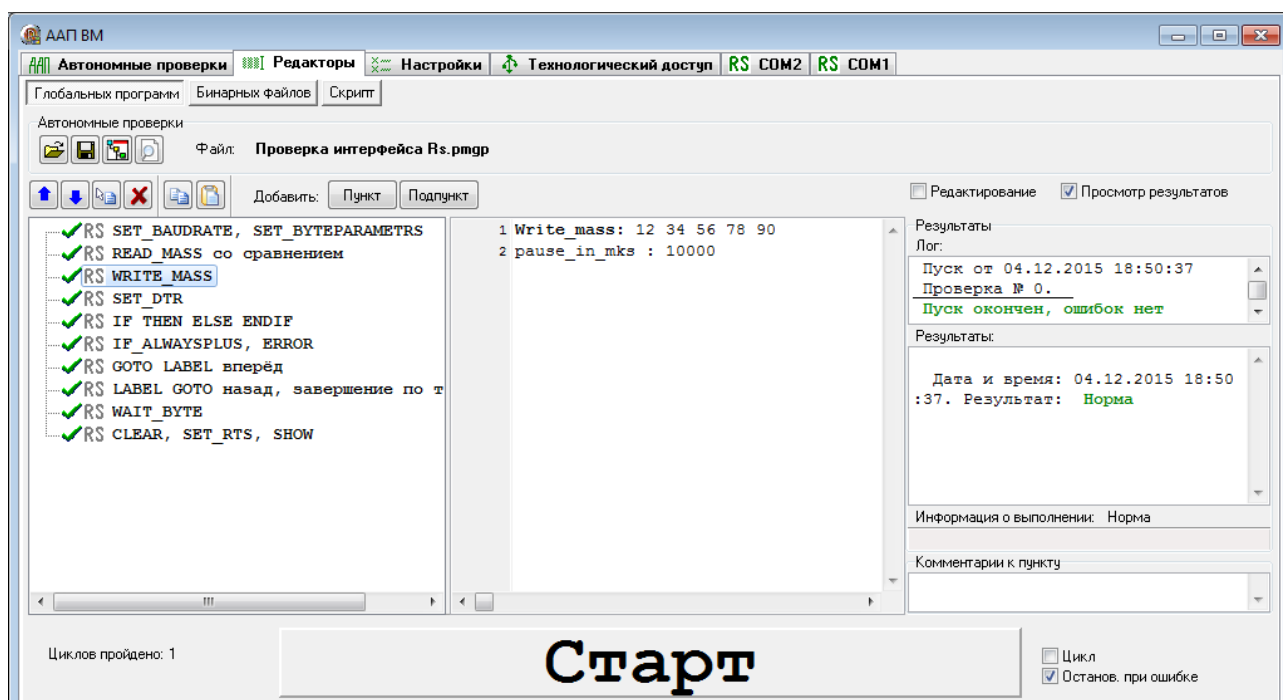


Рисунок 3. Интерфейс пользователя системного ПО ААП

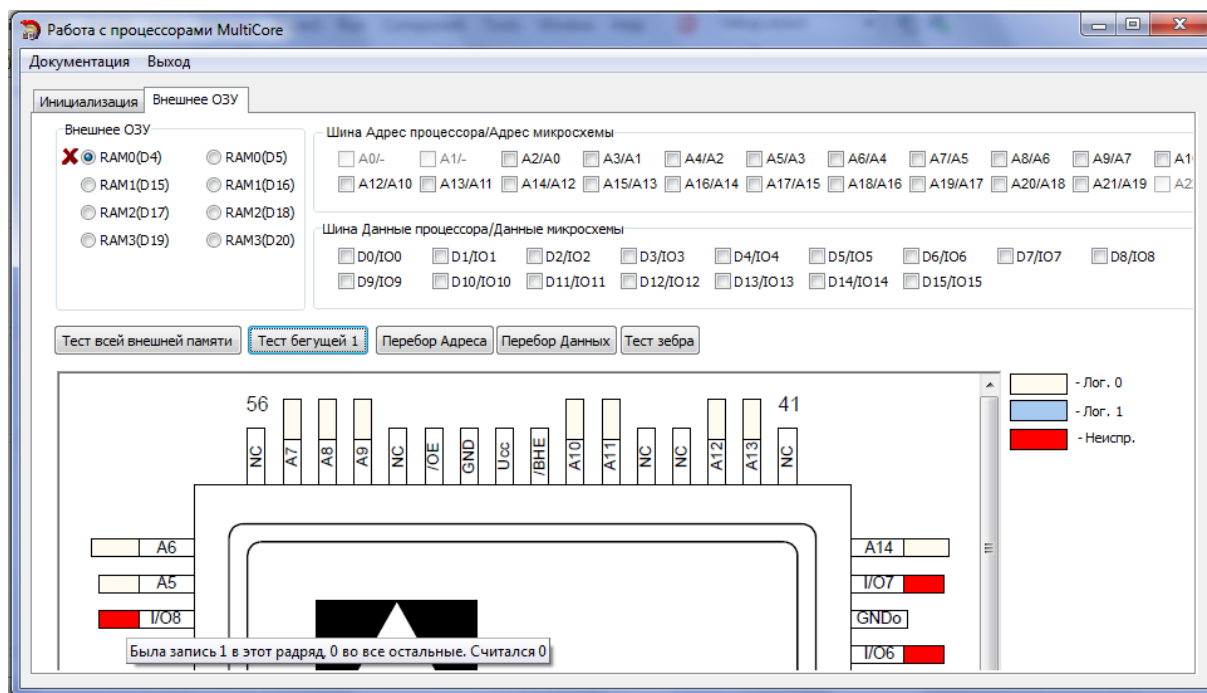
### Модернизация АСКД

С целью минимизации времени разработки ПО ААП конкретного ОК в рамках отдела-разработчика ПО ААП ОК стандартизован интерфейс взаимодействия технологического ПО ОК и ПО ПЭВМ ОК. Организована база данных, которая содержит:

- отработанные алгоритмы взаимодействия с ОК по различным интерфейсам, представляющие собой скрипты системного ПО ААП;
- драйверы аппаратуры, входящей в состав ОК, которые могут быть использованы для реализации технологического ПО ОК и ПО НУ ОК.

Разработаны и внедрены единые рекомендации по разработке ПО ААП объектов контроля в виде руководства пользователя системного ПО ААП.

В системное ПО ААП внедрена поддержка каналов технологического доступа, а именно поддержка адаптеров JTAG для работы с процессорами «Мультикор» ОАО НПЦ «Элвис», программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС) производства Altera. Разработано программное обеспечение, предназначенное непосредственно для настройщиков блоков ЦВС, выполняющее типовые операции настройки (рис. 4).



**Рисунок 4. Пример программного обеспечения для настройщика блока с процессором «Мультикор»**

Разработаны и внедрены средства автоматизированного контроля формы аналогового сигнала по интерфейсу ГОСТ Р 52070-2003, что позволяет исключить человека из процесса контроля сигнала: осуществлено внедрение в ААП управляемых осциллографов Agilent серии 3000, разработано математическое обеспечение решение задачи. Согласно [1] в автоматическом режиме контролируются следующие параметры сигнала: длительности спадов и фронтов, величина остаточного напряжения, амплитуда колебаний.

### Заключение

Разработана и внедрена новая версия системного ПО ААП, составляющая основу АСКД, которая базируется на принципах модульности и масштабируемости, оптимизировано ядро ПО. В результате внедрения сокращено время, необходимое для реализации поддержки нового устройства (например, для осциллографа Agilent с 192 до 156 чел/ч, для адаптера JTAG ОАО НПЦ «Элвис» с 62 до 34 чел/ч), сокращено время проведения проверки ОК без потери качества проверки (например, для системного модуля с 62 до 32 мин, для специализированного вычислительного модуля (СВМ) с 52 до 34 мин).

Разработаны и внедрены средства автоматизированного контроля формы аналогового сигнала по интерфейсу ГОСТ Р 52070-2003, внедрена поддержка JTAG для проверки микропроцессоров и ПЛИС. Использование каналов JTAG делает процесс наладки блоков ЦВС более эффективным.

Разработаны и внедрены единые рекомендации по разработке ПО ААП ОК. Организована база данных, которая содержит отработанные алгоритмы взаимодействия с ОК по различным интерфейсам, драйверы аппаратуры, входящей в состав ОК, которые могут использоваться для реализации ПО ААП ОК.

Проведенная модернизация АСКД существенно сокращает производственный цикл контроля и диагностики неисправностей ЦВС и блоков ЦВС. Разработанные технические решения могут быть полезны разработчикам наземной, бортовой аппаратуры.



## Список литературы

1. Васильев С.А., Пентин А.С. Опыт внедрения системного ПО ААП в состав рабочих мест блоков и приборов // Ракетно-космическая техника. Системы управления ракетных комплексов. Научно-технический сборник. – Серия XI. Вып. 2. – ФГУП «НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова», 2012. – С. 135 – 139.
2. ГОСТ Р 52070-2003. Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 24 с.
3. Антимиров В.М., Антимиров Я.В. и др. Вычислительная система. Изобретение РФ № 2444053. Правообладатель – ФГУП «НПО автоматики».
4. Антимиров Я.В., Наронов А.С., Пентин А.С. и др. Системное программное обеспечение аппаратуры автономных проверок. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2015613241 от 10.03.2015 по заявке № 2015610055 от 12.01.2015. Правообладатель – ОАО «НПО автоматики».

## The References

1. Vasilev S.A., Pentin A.S. The experience of the system software implementing in the composition of jobs circuits and devices // Rocket and space technology. Rocket complex control systems. Scientific and technical collection. – ser. XI, part 2. – SPA of Automatics, 2012. – p. 135 – 139.
2. MIL-STD-1533 / 1760. 5V Monolithic Dual Transceivers. – Holt Integrated circuits inc., 2014. – 10 p.
3. Antimirov V.M., Antimirov Ya.V. Control system. Invention RU № 2444053. The copyright holder – SPA of Automatics.
4. Antimirov Ya.V., Naronov A.S., Pentin A.S. System software hardware Autonomous inspections. State registration certificate of the computer program №2015613241, 10.03.2015. The copyright holder – SPA of Automatics.