Перцовский М.И.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Вопросы тестирования и обеспечения надежности сложных технических систем, в том числе систем важных для безопасности, являются важнейшим условием их устойчивого функционирования как на этапе их создания, так и на последующих этапах всего жизненного цикла этих систем. Соответственно, средства поддержки тестирования являются, с одной стороны, инструментальными средствами проектировщика систем, с другой – обязательной функциональной подсистемой системы важной для безопасности. Единая идеология и технология построения средств поддержки тестирования как на этапе создания, так и функционирования систем является эффективным методом повышения устойчивости работы сложных технических систем.

В статье рассматриваются вопросы построения автоматизированных программно-аппаратных комплексов для испытаний и проверки систем, обеспечивающие условия их безопасности, обращается внимание на аспекты систематизации, хранения и обработки полученных данных с целью анализа поведения объекта наблюдения на этапах прохождения его жизненного цикла.

Обеспечение высокой надежности функционирования сложных технических систем является требованием, выполнение которого столь же желательно, сколь и непросто выполнимо. Для класса систем, объединяемых понятием систем важных для безопасности, требование надежности становится абсолютным. Необходимость проведения мероприятий на всем жизненном цикле создания и эксплуатации таких систем закреплено многими международными и национальными стандартами (см., например, *полный жизненный цикл безопасности системы контроля и управления* **(overall safety life cycle of the I&C)** – стандарт IEC 61508).

Традиционно для достижения этого на этапе создания системы создаются дополнительные средства тестирования, как внешние по отношению к системе, так и встроенные. На этапе использования системы – средства многократного контроля всех параметров, взаимоувязанные с дублированием (для наиболее важных узлов – троирование и т.д.), с возможностью «горячего» подключения. При этом ресурсы, как интеллектуальные, так и материальные, вкладываемые в средства поддержки, могут во много раз превышать собственно затраты на саму систему.

Решением проблемы сокращения расходов при сохранении необходимого уровня надежности является создание таких комплексных методов и средств, которые позволят обеспечить процесс высокотехнологического проектирования и одновременно станут средствами поддержки функционирования готовых систем.

В данной статье приводится подход и описывается опыт применения ряда средств, разработанных в «Лаборатории автоматизированных систем (АС)» (далее фирма АС) (www.actech.ru), для решения обозначенных выше задач. Средства тестирования и отладки на этапе создания системы, базовые программно-аппаратные компоненты системы и инструментальные средства поддержки проектирования строятся на основе общих методов и технологий. При этом каждая конкретная проектируемая система наследует свойства среды, ее породившей, и может включать в себя в том числе подсистемы самотестирования и адаптации к изменяющимся условиям функционирования, метрологической поддержки измерительных каналов, которые могут работать постоянно и в реальном времени. При этом полностью выполняются рекомендации стандарта IEC 61508.

Автоматизации сложных технических систем: три составные части (что, из чего и с помощью чего автоматизировать)

Организация технических систем, включающих средства вычислительной техники и автоматизации, сталкивается с необходимостью стыковки разного, порой уникального оборудования с ЭВМ. При этом должны быть согласованы функциональные и технические возможности самых разнообразных устройств в условиях многообразия и сложности решаемых задач. Задача усложняется существованием множества возможных вариантов состава интерфейсного оборудования, соответствующего разным стандартам.

С другой стороны, оператору должна быть предоставлена возможность активно участвовать в процессе работы системы, быстро перестраивать структуру ее функционирования в соответствии с динамикой самого процесса использования системы. При этом процесс общения с оборудованием (и с ЭВМ в том числе) должен быть максимально проблемно-ориентирован, выдвигать минимальные требования к знанию средств вычислительной техники.

Из сказанного следует 2 основных направления развития работ:

- обеспечения решения задач по автоматизации процесса работы системы, включая упрощение общения оператора с оборудованием в целом (человеко-машинный интерфейс на уровне пользователя: интерфейс верхнего уровня);

- обеспечение программно-аппаратных средств сопряжения различного оборудования с ЭВМ, включая диалоговые средства настройки этого интерфейса (человеко-машинный интерфейс системного уровня: интерфейс нижнего уровня).

В рамках первого направления необходимо определить рациональную организацию выполнения задач функционирования комплекса. Для этого необходимо сформулировать требования к функционированию оборудования, на основе которых формировать алгоритм работы программного обеспечения (ПО) его автоматизации. Следовательно, интерфейс верхнего уровня должен содержать в себе средства проведения функциональной спецификации, являющейся основой при генерации ПО интерфейса нижнего уровня.

Таким образом, при разработке и применении автоматизированных систем первоочередную роль играет решение задачи синтеза ПО и гибкой перестройки ПО в соответствии с изменениями условий функционирования.

Для эффективного решения этой задачи требуется создание инструментальной программной среды, в которой пользователь мог одновременно создавать, перестраивать и непосредственно работать с системой. **Разработка методов и средств построения инструментальной среды для синтеза систем автоматизации является ключевым вопросом в разрешении проблемы автоматизации в целом.**

Основная идея построения среды программирования заключается в предоставлении пользователю возможности строить системы автоматизации, оперируя графическими представлениями органов управления и отображения процессов, составляющих работу системы в целом. Для пользователя весь процесс работы в основном сводится к возможности задавать режимы измерения или управления работой через исполнительные устройства. При этом им используется информация о ходе работы, представляемая в цифровой или графической форме. Все перечисленные объекты являются элементами панели управления любого технологического комплекса или экспериментальной установки. Инструментальная среда проектирования автоматизированных систем предоставляет возможность синтеза на экране дисплея таких панелей, которым ставятся в соответствие программы управления исполнительными устройствами (таким образом, автоматизированные системы строятся из набора унифицированных модулей). Сама панель, сформированная на экране дисплея, становится панелью управления системы автоматизации конкретного процесса. В отличие от реальной панели управления такая панель (будем называть ее «виртуальной панелью» управления) не требует дорогих технических средств и может быть многократно реконфигурирована в процессе работы.

При этом в комплекс могут быть включены приборы (их принято называть «виртуальные приборы»), которых либо нет в распоряжении пользователя и они заменяются их компьютерным представлением, либо они вообще физически не существуют, требуются для реализации данного конкретного технологического процесса и их натуральная разработка финансово не оправдана. «Виртуальные панели» для приборов, физически присутствующие в установке, позволяют организовать управление ими в удобной форме с экрана дисплея, совмещая этап измерения с этапом первичной и вторичной обработки данных, а также представления результатов обработки в графической форме.

При использовании графических панелей «устраняются» для пользователя все «посредники» между пользователем и устройством, с которым он работает. Взаимодействие осуществляется активизацией объектов графической панели с помощью «мыши», клавиатуры или событий прикладной программы. Это позволит перевести процесс создания и использования автоматизации на качественно новый уровень для широкого класса систем.

Использование «виртуальных» приборов и оборудования в составе промышленной установки дает возможность программным путем синтезировать на экране дисплея ЭВМ графическую панель установки, **задавать пределы измерения, режимы работы, совмещать этапы измерения с этапами обработки данных**, а также представления результатов в графической форме. Синтезированные таким образом приборы и установки являются общедоступными и легко тиражируемыми, позволяют просто модифицировать их под решение различных задач. Таким образом, **частные системы конкретного применения, созданные в инструментальной среде проектирования и включающие в себя элементы адаптации среды, их породившей, как правило, являются более технологичными, лучше отвечают требованиям пользователя, быстро перестраиваются при изменении объекта управления.**

Одним из важных требований, предъявляемым современным системам автоматизации, является работа в режиме реального времени.

Резкий рост на современном этапе производительности персональных компьютеров типа IBM PC делает их привлекательными для решения задач построения систем реального времени. Системы на основе IBM PC имеют в своей базе хорошо развитое программное обеспечение, ориентированное на широкий круг пользователей. Одновременно такие системы значительно дешевле. Однако применение IBM PC для компоновки автоматизированных промышленных систем, как правило, является существенным расширением возможностей этого класса ЭВМ и требует дополнительных программно-аппаратных средств. Разработано большое количество технических средств специального

назначения (аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, входные и выходные регистры, счетчики, таймеры и т.д.). Собственно, этот **набор дополнительных программно-аппаратных средств и является базовым для построения любой конкретной системы автоматизации.**

Если базовый набор технических средств содержит программные оболочки, поддерживаемые инструментальной средой для синтеза систем автоматизации, то процесс проектирования и развития конкретной системы автоматизации и включение новых технических средств в уже существующие системы достаточно прост и технологичен, а сами создаваемые системы несут в себе «наследственные признаки» инструментальной среды: гибкость и легкую адаптируемость.

Единая идеология построения инструментальной среды для синтеза систем автоматизации и набора базовых средств автоматизации обеспечивает наиболее быстрый, дешевый и качественный результат при разработке конкретных систем автоматизации. Подробное изложение этой идеологии см. [1].

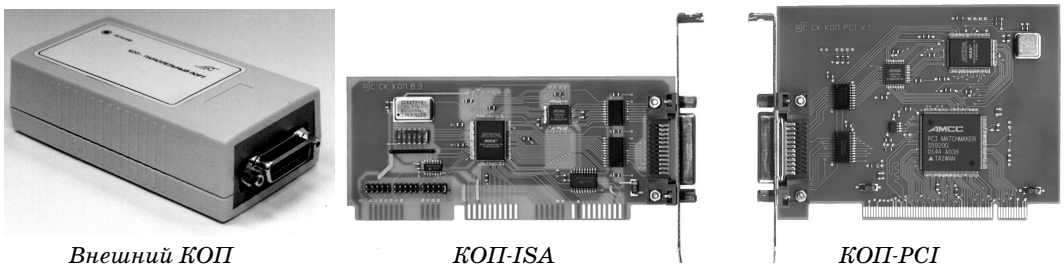
Средства тестирования. Организация автоматизированных приборных комплексов

Создание средств тестирования на этапе проектирования систем и включения подсистем тестирования в работающую техническую систему сводится к созданию достаточно сложных приборных комплексов. Подключение измерительных приборов (например, осциллограф, спектроанализатор, генератор, и т.п.) к компьютеру в соответствии со стандартом IEC 625 с помощью контроллера канала общего пользования (КОП – ГОСТ 26.003-80, другие названия: «интерфейс IEC 625», «Шина HP-IB», «Шина IEEE 488», «GPIB-интерфейс») позволяет полностью автоматизировать управление самим прибором и процессы измерения, для которых он применяется. Измеренные данные с прибора сохраняются в памяти компьютера и обрабатываются. В частности, данный подход позволяет создавать автоматизированные рабочие места наладчика радиоэлектронной аппаратуры, места испытания и поверки приборов, организовывать лаборатории экологического контроля и т.п.

На экране дисплея могут быть показаны все лицевые панели используемых приборов, и оператор получает возможность управлять ими в реальном времени с одновременной обработкой всех поступающих данных на одном компьютере. Такая организация тестирования на этапе проектирования системы логически становится подсистемой тестирования на всех последующих этапах жизненного цикла.

На рис. 1 показаны контроллеры КОП, выпускаемые фирмой АС в различных исполнениях (внешние, подключаемые к параллельному порту

Рисунок 1



Внешний КОП *КОП-ISA* *КОП-PCI*

компьютера, могут работать с любым Notebook, вставные – для шин ISA и PCI). Контроллер КОП функционирует как системный контроллер в одноконтроллерных системах с возможностью проведения операции «Параллельный опрос». Обеспечивает подключение до 16 приборов и устройств при общей длине соединительных кабелей до 16 метров. Выходной разъем соответствует ГОСТ 26.003-80 и IEC 625.1 (в версии 24-контактного разъема).

Программное обеспечение, поставляемое в комплекте с контроллером, позволяет легко организовывать приборные комплексы практически любой

сложности. На рис. 2 приведен пример одного из экранов интегрированной оболочки под Windows 3.x/95/98/2000/NT для упрощения подключения и настройки приборов. Может служить основой для построения автоматизированных приборных комплексов или использоваться как обучающая программа. Это программное обеспечение дает возможность:

- управлять магистралью;
- определять конфигурацию системы;
- организовать обмен данными между приборами;
- определять состояние магистрали;
- организовать работу в режиме прерывания, параллельного и последовательного опросов устройств.

Тестирование цифровых устройств

При необходимости проведения тестирования цифровых устройств или контроля цифровых потоков информации в системе широко используются логические анализаторы и генераторы логических сигналов. Применение логи-

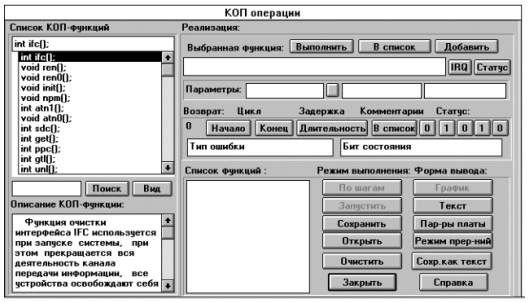
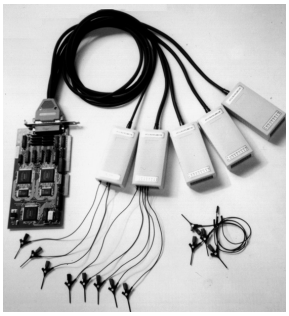
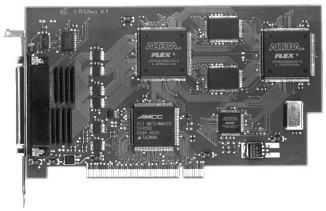


Рисунок 2

ческих анализаторов в тестировании цифровой техники подробно изложено в обзоре [2]. Фирма АС предлагает семейство логических анализаторов и генераторов непосредственно на базе IBM PC. На рис. 3 показаны некоторые из них в различных исполнениях. На рис. 4 приведен внешний вид окна программного обеспечения.





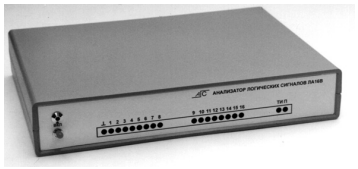


Рисунок 3

Совместное использования логических анализаторов и генераторов логических сигналов позволяют строить комплексные системы диагностики

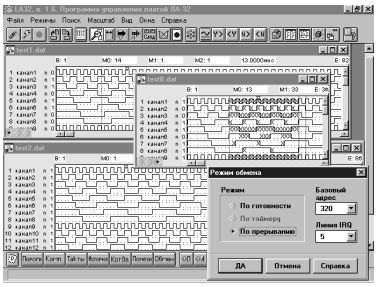


Рисунок 4

цифровых устройств с возможностью активного воздействия на испытуемый объект с анализом быстропротекающих процессов в реальном времени.

Идеология гибкого исполнения и легкой адаптируемости к различным применениям позволяет значительно расширить сферу применения за рамки стандартных приборных применений. См., например, в [3] описание разработанной фирмой АС совместно с Российским Федеральным Ядерным Центром системы многоканального временного контроля в сложных технических системах.

Комплекс ACTest© как инструментальная интегрированная среда проектирования сложных технических систем

Комплекс автоматизации экспериментальных и технологических установок «ACTest©» предназначен для автоматизации работ на исследовательских, технологических и контрольно-диагностических комплексах и экспериментальных установках различного назначения. Комплекс может функционировать на PC совместимом компьютере промышленного, мобильного или офисного исполнения, оснащенном средствами сбора данных. Возможности комплекса по количеству, составу и характеристикам измерительных каналов зависят от использованных устройств сбора данных и мощности применяемого компьютера.

Программное обеспечение комплекса позволяет проводить настройку на эксперимент, хранение сценариев эксперимента, проводить измерения в реальном масштабе времени с одновременной архивацией и визуализацией экспериментальных данных. В реальном масштабе времени производится первичная математическая обработка и допусковый контроль значений измеряемых параметров. Вся информация сохраняется в формате базы данных и легко доступна для последующей обработки и сравнительного анализа. В состав комплекса входит программное обеспечение вторичной обработки и визуализации результатов измерений. Комплекс функционирует под управлением ОС Windows.

Состав аппаратной части комплекса подбирается исходя из требований задачи. Программное обеспечение позволяет работать с различными устройствами сбора данных отечественных (Центр АЦП, L-Card, Fastwell) и импортных (Advantech, National Instruments) производителей различного конструктивного исполнения: вставные платы, внешние устройства с параллельным или последовательным интерфейсом.

Основу комплекса составляет интегрированная среда, позволяющая проводить настройку эксперимента или технологического процесса, поиск нужного сценария в базе данных, запуск программного обеспечения реального времени, просмотр и анализ результатов.

Программное обеспечение реального времени состоит из двух независимых частей, способных работать как единое целое на одном компьютере или поодиночке на отдельных компьютерах. Подсистема тарировки и информационного сопровождения измерительных каналов передает информацию другим подсистемам комплекса о составе и характеристиках имеющихся измерительных каналов и их элементах, позволяет формировать измерительные каналы и определять их метрологические характеристики.

Предлагаемый комплекс позволяет проводить измерения как медленно меняющихся, так и быстропеременных процессов. В составе комплекса применялись платы сбора данных с частотой сбора до 100 МГц.

Комплекс может функционировать как на одиночном компьютере, так и с использованием клиент-серверных технологий в рамках распределенной системы сбора и обработки данных. Подробно функционирование комплекса ACTest© описано в [4].

Пример построения локальной сети лабораторно-стендового комплекса показан на рис. 5. На рисунке показаны различные варианты использования комплекса.

Комплекс выполнен по модульному принципу. Основу комплекса составляет интегрированная среда, позволяющая проводить настройку эксперимента, поиск нужного сценария в базе данных, запуск программного обеспечения эксперимента реального времени, просмотр и анализ результатов. Программное обеспечение эксперимента реального времени состоит из двух независимых частей, способных работать как единое целое на одном компьютере или поодиночке на отдельных компьютерах. Подсистема тарировки и информационного сопровождения измерительных каналов передает информацию другим подсистемам комплекса о составе и характеристиках имеющихся измерительных каналов и их элементах, позволяет формировать измерительные каналы и определять их метрологические характеристики.

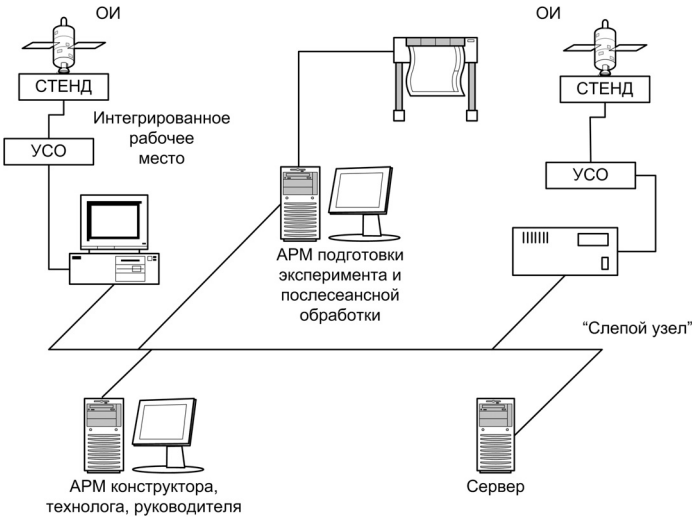


Рисунок 5

Построение локальной сети лабораторно-стендового комплекса

Состав комплекса ACTest©

Подсистема тарировки и информационного сопровождения измерительных каналов.

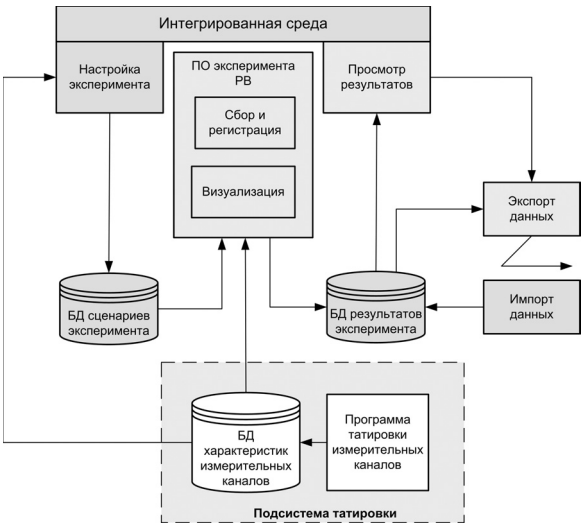


Рисунок 6

Состав программного комплекса ACTest©

Подсистема тарировки и информационного сопровождения измерительных каналов предназначена для конфигурирования измерительных каналов автоматизированных систем с заданными метрологическими характеристиками или определения метрологических характеристик для уже существующих каналов.

Позволяет осуществлять получение тарировочных характеристик измерительных каналов, проводить их корректировку при замене элементов измерительных каналов, отслеживать историю поведения тарировочных характеристик, рассчитывать суммарную точность измерительного канала, состоящего из многих элементов, синтезировать передаточные функции всего измерительного канала по данным о его элементах.

Обеспечивает хранение характеристик как измерительных каналов в целом, так и отдельных его элементов в базе данных, в том числе:

1. Хранение, просмотр данных о существующих измерительных каналах, в том числе:
   - общие характеристики канала, а также состав и характеристики его элементов;
   - метрологические характеристики всего канала и его компонентов (тарировочная функция, история ее поведения и т.д.).
2. Ввод в базу данных новых элементов измерительных каналов (в базовом варианте поставки компоненты каналов делятся на три группы: «Датчики», «Устройства согласования сигналов», «Модули АЦП»).
3. Формирование новых каналов из хранящихся в базе данных элементов.
4. Ввод новых тарировочных характеристик канала и/или его элементов:
   - ввод тарировочных уравнений и их коэффициентов;
   - получение тарировочных уравнений и их коэффициентов из тарировочных таблиц;
   - просмотр и первичная обработка экспериментальных тарировочных таблиц;
   - синтез тарировочных функций ИК из тарировочных функций его элементов.
5. Проведение тарировки всего ИК или его компонента.
6. Расчет суммарной погрешности измерительного канала по погрешностям его элементов.

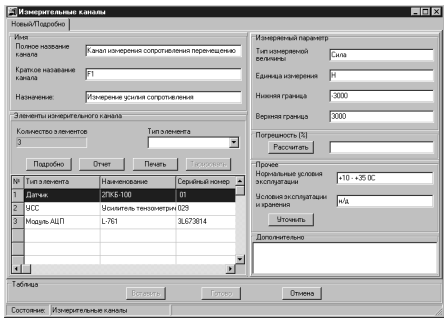


Рисунок 7

Форма вывода данных об измерительном канале подсистемы тарировки

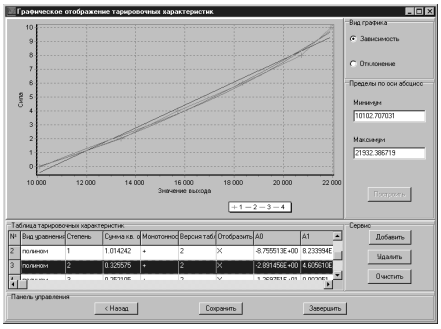


Рисунок 8

Форма выбора аппроксимирующего полинома для данных тарировки

Таким образом, вся информация об измерительном канале хранится в соответствующей таблице базы данных. Для добавления нового измерительного канала, его элементов или изменения характеристик существующего канала или элемента необходимо воспользоваться подсистемой тарировки.

Программное обеспечение настройки системы измерений

Предназначено для настройки системы измерений или выбора из базы сценариев экспериментов. Настройка в данном случае заключается в конфигурировании параметров сбора, первичной математической обработки, системы визуализации и архивации данных.

Позволяет осуществлять следующие функции:

- конфигурирование сбора данных (какие каналы опрашивать, частота сбора, время эксперимента, время усреднения медленных параметров, настройки сохранения данных);
- настройка визуализации в реальном масштабе времени (распределение на экране виртуальных осциллографов, самописцев, столбчатых и цифровых элементов, количество трендов на одной оси, настройки оцифровки по осям, настройки цветов);
- получение тарировочных характеристик измерительных каналов из базы данных характеристик измерительных каналов;
- настройка сопутствующей информации, необходимой для идентификации сценария эксперимента (наименование, краткое описание, изделие, испытательный стенд и т.д.).

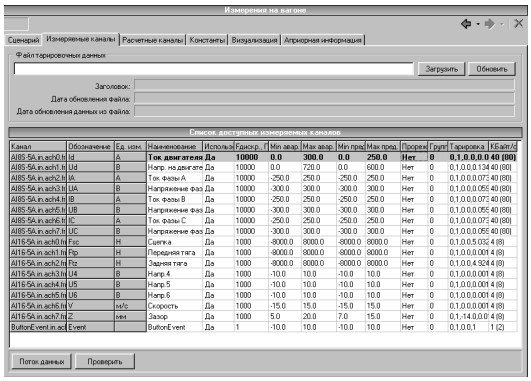


Рисунок 9

Форма конфигурирования параметров сбора данных интегрированной среды

Программное обеспечение проведения эксперимента в режиме реального времени

Программное обеспечение реального времени считывает данные из файла сценария и осуществляет проведение измерений в соответствии с выбранным сценарием.

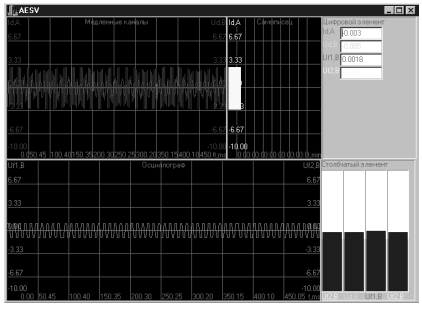


Рисунок 10

Внешний вид окна визуализации реального времени во время измерений

При проведении измерений осуществляется первичная обработка, допусковый контроль и сохранение результатов в виде файлов данных.

Визуализация в темпе эксперимента измерительных данных осуществляется в соответствии со сценарием эксперимента в виде графиков, цифровых панелей или столбчатых элементов. Результаты измерений отображаются в заданных при тарировке единицах физических величин.

В режиме реального времени осуществляется 4-пороговый (нижний и верхний аварийный предел, нижний и верхний предаварийный предел) допусковый контроль с отображением результатов с помощью цвета, подачей звукового сигнала и/или выдачей управляющего воздействия. Возможно ведение журнала аварийных событий.

До начала и по окончании эксперимента оператором заносится дополнительная информация (характеристики процесса, объекта, замечания проводившего измерения и т.д.).

Программное обеспечение просмотра и анализа результатов

Программное обеспечение просмотра и анализа результатов предназначено для послесеансной работы с экспериментальными и теоретическими данными. Одновременно могут обрабатываться данные различных испытаний, хранящихся в базе данных результатов экспериментов.

Рисунок 11

Настройка отображения файла с экспериментальными данными

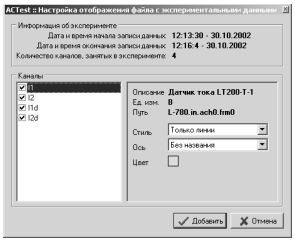
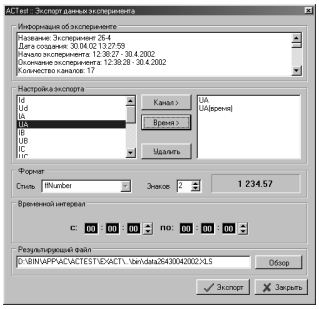


Рисунок 12

Форма выбора данных для конвертации в текстовый файл

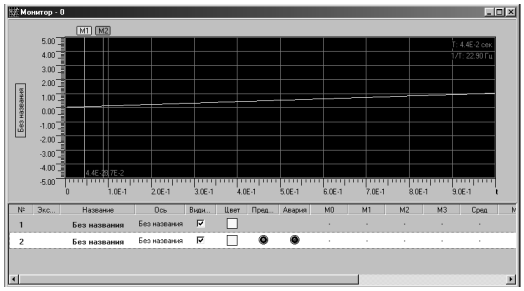


Графики выбираются из базы данных и могут накладываться друг на друга, позволяя визуально сравнивать графики, в том числе разной длины. Для удобства сравнения возможно оперативное включение/отключение режима отображения любого из графиков. Имеется возможность отображения графиков элементарных функций и аппроксимации экспериментальных данных графиками элементарных функций.

Виртуальный «графопостроитель» обеспечивает маркерные измерения (система поточечных и интервальных измерений), позволяющие измерить расстояния между любой парой точек графической плоскости, определить значения сигнала в характерных точках, экстремумы. Могут быть рассчитаны дополнительные характеристики сигнала (среднее значение, min и max, определенный интеграл и т.п. по согласованию с заказчиком).

Рисунок 13

Форма вывода графической информации просмотра и анализа информации



Программное обеспечение позволяет проводить экспорт данных в текстовые файлы для сервисных режимов вторичной обработки данных (конвертеры в файлы данных Matlab, Excel и др.); и обратное преобразование (импорт данных) для хранения и визуализации.

Предусмотрена возможность документирования результатов измерений (режим печати графиков с текстом сопровождения, на любом принтере, использующем драйвер Windows).

Представленные в статье методы и программно-аппаратные средства автоматизации являются обобщенным опытом разработчиков «Лаборатории автоматизированных систем (АС)» по созданию систем автоматизации в различных отраслях, начиная от чисто исследовательских систем (например, система измерений для испытаний электродвигателей на сверхпроводимости), кончая системами для промышленности (например, система мониторинга бумагоделательной машины).

Разработанные и выпускаемые фирмой АС изделия:

- Комплекс «ACTest©»;
- семейство «Логических анализаторов»;
- «Генератор логических сигналов»;
- «Контроллер канала общего пользования»

являются лауреатами МОСКОВСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ФОРУМА – MIIF 2002.

В 2002 году комплекс «ACTest©» награжден медалью «ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ» конкурса «НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Перцовский М.И.** «Автоматизация в промышленности и лабораторных исследованиях». – «Промышленные АСУ и контроллеры», 2001, №1.
2. **Перцовский М.И., Воробьев Е.А., Трифонов А.А.** Применение логических анализаторов в тестировании цифровой техники. – «Современные технологии автоматизации», 2000, №2.
3. **Перцовский М.И., Воробьев Е.А., Баканов В.В., Батьянов В.В.** «Многоканальный временной контроль в сложных технических системах» – «Промышленные АСУ и контроллеры», 2001, №4.
4. **Ртищев А.В.** «Инструментальный интегрированный комплекс «ACTest©»» – «Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика», 2002, №2.