

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

М.И. Перцовский, А.В. Ртищев, А.В. Яковлев  
(ООО "Лаборатория автоматизированных систем (АС)")

*Предлагаются методы и средства построения мобильных систем автоматизации промышленных установок, комплексов для экспериментальных исследований и испытательных стендов, в том числе проводимые в жестких и не стандартных условиях эксплуатации. Описывается опыт реализации таких систем "Лабораторией автоматизированных систем (АС)" – ведущего предприятия России в области промышленной и лабораторной автоматизации, коллектив, которого уже более 25 лет успешно разрабатывает и внедряет мобильные системы автоматизации. Дается краткое описание ряда мобильных систем измерений для задач испытаний разнообразных объектов в качестве примера практического использования разработанных методов и средств. Приводится описание ПО мобильных систем на базе универсального комплекса автоматизации АСTest.*

Задачи контроля и управления оборудованием и установок, как в промышленности, так и при проведении научных исследований или испытаний новой техники выдвигают все более высокие требования к системам автоматизации. Проведение работ в самых разнообразных условиях эксплуатации, в том числе и полевых, необходимость в подключении систем автоматизации к передвижным объектам или к различным точкам измерения и управления крупномасштабных или распределенных установок привело к возникновению нового класса систем автоматизации – мобильных систем. Распространенный подход к построению таких систем – это перенос стандартных программных средств на "мобильное железо", далеко не всегда оказывается эффективным. Как показывает опыт построения и эксплуатации мобильных систем автоматизации, они обладают рядом специфических черт, требующих комплексного подхода к построению программного и технического обеспечения таких систем непосредственно на этапе проектирования. В отличие от стационарных систем, которые жестко "привязаны" к заданному объекту или процессу и алгоритм функционирования которых, как правило, фиксирован, специфика мобильных систем, в первую очередь, определяется их "нестационарностью". Алгоритм функционирования таких систем априори четко не определен, отсюда возникает требование возможности проведения его легкой адаптации в зависимости от решаемой задачи и условий применения.



Рис. 1. Мобильная система для автоматизации экспериментов по исследованию спектрального состава радиосигналов (1981 г.)

По своему назначению мобильные системы можно достаточно условно разделить на две группы:

- бортовые системы и системы автоматизации для передвижных установок (встраиваемые системы), функционирующие в жестких условиях эксплуатации (в широком температурном диапазоне, при наличии ускорения, вибрации, электромагнитных помех и т.п.);
- портативные (носимые) системы контроля и измерения, являющиеся универсальным инструментарием при проведении испытаний и исследований на различных установках или для создания переносных диагностических комплексов промышленных объектов.

Рассмотрим методы построения и реализации мобильных систем обоих типов, а также их применение при работе с различными объектами. Коллективом "Лаборатории автоматизированных систем (АС)" накоплен большой опыт создания мобильных систем, начиная с конца 70-х гг. прошлого века. На рис. 1 представлена автономная система автоматизации образца 1981г. полевое спектрального эксперимента на основе аппаратуры КАМАК и микро-ЭВМ на базе процессора Intel 8080, разработанная под руководством и при непосредственном участии М.И.Перцовского [1]. Такая система предназначалась для исследования спектрального состава радиосигналов и устанавливалась на борту автомашины, корабля, самолета и т.п.

### Программное обеспечение мобильных систем

ПО мобильных систем должно обеспечивать, с одной стороны, максимальную универсальность при необходимости переноса системы на другой объект автоматизации и легкую адаптируемость к изменению алгоритма функционирования, с другой – поддерживать самый широкий спектр сетевых возможностей: обмен данных в распределенных системах сбора и обработки, представление рабочих органов и экранов в РВ на удаленных компьютерах, управление по сети процессами и приборами в РВ. В качестве базы такого ПО предлагается использовать комплекс АСTest, разработанный в "Лаборатории автоматизированных систем (АС)" и полностью отвечающий сформулированным требованиям. Комплекс АСTest изначально разрабатывался для автоматизации процессов подготовки, проведения измерений, визуализации, архивирования и обработки эксперименталь-

ных данных [2-3]. Он адаптирован для использования специалистом в предметной области, не являющимся программистом, который самостоятельно может настроить его для автоматизации испытаний с учетом меняющихся в зависимости от результатов предыдущих испытаний режимов сбора и визуализации данных.

Комплекс может функционировать на PC-совместимом компьютере промышленного, мобильного или офисного исполнения, оснащенного средствами сбора данных. Возможности комплекса по числу, составу и характеристикам измерительных каналов зависят от использованных устройств сбора данных и мощности применяемого компьютера.

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

Состав аппаратной части комплекса подбирается исходя из требований задачи. ПО позволяет работать с различными устройствами сбора данных отечественных (L-Card, "Руднев-Шиляев", 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, поиск нужного сценария в БД, запуск ПО эксперимента РВ, просмотр и анализ результатов.

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 медленно меняющихся 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.

Бортовые и портативные системы автоматизации

Рассмотрим две стендовые системы измерений, являющиеся типовым примером обеих видов мобильных систем автоматизации. Обе системы разработаны в 2001-2003 гг. и могут работать как единый

*Мобильные системы - это часть прошлого, которой мы помогаем перебраться в будущее...*

Журнал "Автоматизация в промышленности"

комплекс. Системы были использованы для испытаний линейного электропривода Московской моно-рельсовой дороги [4]. Одна — для проведения динамических испытаний линейного электропривода на стенде-вагоне в жестких условиях эксплуатации на базе автономного регистратора, вторая — для динамических и статических испытаний линейного электропривода и частотного преобразователя в нормальных (лабораторных) условиях эксплуатации на базе портативного компьютера. Измерительные системы унифицированы по интерфейсу с датчиками и созданы на базе универсального программного комплекса АСТest — автоматизации экспериментальных и испытательных установок. Стендовые системы измерений входят в единый комплекс подготовки, проведения, обработки и анализа результатов испытаний. Общая структура комплекса автоматизации испытаний показана на рис. 2.

На АРМ подготовки сценариев экспериментов проводится подготовка к проведению измерений. На этом компьютере установлена подсистема тарировки, интегрированная оболочка подготовки экспериментов и программа послесекансной обработки данных и БД сценариев и результатов эксперимента. При подготовке к измерениям производится настройка измерительной системы и описывается алгоритм (сценарий) проведения испытаний. Далее сценарий экспортируется по сети Ethernet в автономный регистратор или портативный компьютер. После этого компьютер, проводящий измерения, может быть отключен от сети и работать автономно без связи с сервером. По окончании серии измерений регистратор опять со-

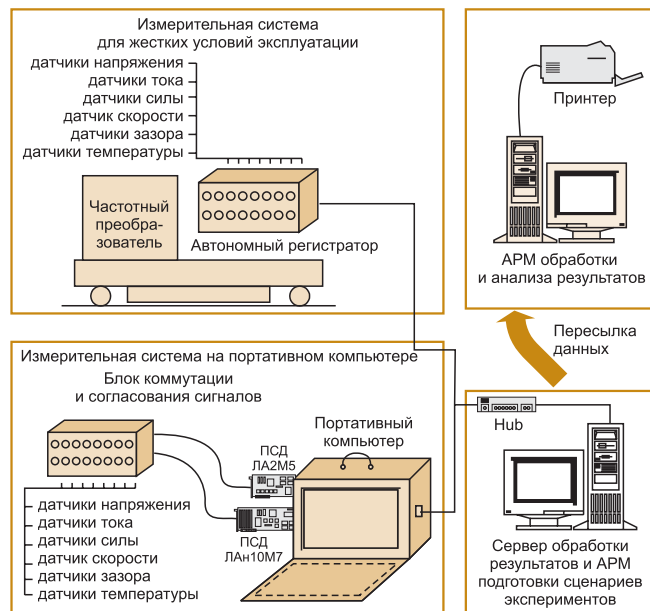


Рис. 2. Пример построения комплекса автоматизации испытаний на базе бортовой и портативной систем

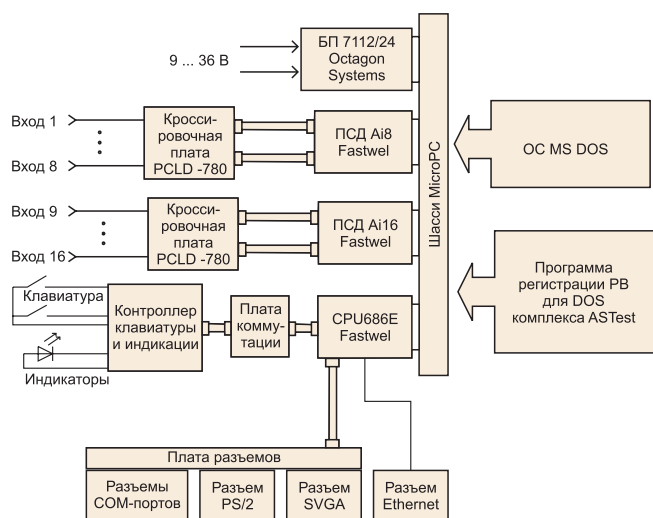


Рис. 3. Блок-схема автономного регистратора

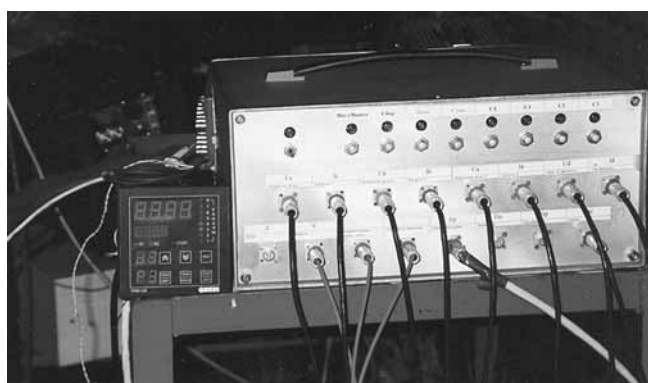


Рис. 4. Автономный PC-совместимый регистратор для жестких условий регистрации

единяют с сервером, и производится перекачка измеренных данных в БД результатов эксперимента.

Все ПО стендовых систем измерений реализовано на основе комплекса для автоматизации экспериментальных и испытательных систем AStest с необходимыми доработками библиотеки математической обработки сигналов.

Главным элементом системы измерений для жестких условий эксплуатации является автономный регистратор с широким рабочим температурным диапазоном  $-20...+70^{\circ}\text{C}$  и высокой стойкостью к вибрационным и ударным воздействиям (ударные ускорения до  $16g$ , синусоидальная вибрация до  $5g$ ) разработанный и изготовленный "Лабораторией автоматизированных систем (АС)" на основе оборудования производства фирм Octagon и Fastwel.

Регистратор обеспечивает сбор данных по 16 дифференциальным каналам. При этом восемь каналов платы Fastwel AI8S-5 синхронные, с персональным АЦП в каждом канале, а восемь каналов платы Fastwel AI16-5A — с мультиплексором и одним АЦП. Максимальная частота преобразования использованных АЦП  $100\text{ кГц}$ . Применение синхронных каналов АЦП позволяет с большой точностью исследовать фазовые характеристики испытуемого привода.

В регистраторе применена процессорная плата Fastwel CPU686E на основе процессора Cyrix 686 с производительностью, эквивалентной производительности процессора Intel Pentium 250 МГц. Плата имеет ОЗУ объемом 32 Мбайта, установленный FLASH диск объемом 8 Мбайт, разъем для установки памяти типа CompactFLASH, встроенный SVGA видеоадаптер и контроллер Ethernet. Используя такую высокоинтегрированную процессорную плату удобно строить достаточно компактную недорогую измерительную систему с широкими возможностями.

При создании регистратора для жестких условий эксплуатации было решено отказаться от использования монитора и полнофункциональной клавиатуры, а использовать 8-кнопочную клавиатуру с многофункциональными кнопками и светодиодную индикацию режимов работы. Во время работы регистратора этих органов вполне достаточно, и удобно использовать их при работе в перчатках (в условиях эксплуатации при отрицательных температурах). При настройке регистратора к нему можно подключить внешнюю PS/2 клавиатуру и обычный VGA монитор через разъемы установленные на задней панели и прикрытые крышкой.

Автономный регистратор функционирует под управлением ОС MS DOS 6.22. Выбор ОС определило то, что автономный регистратор должен работать по жестко определенному алгоритму в режиме РВ с учетом минимальных требований к ресурсам. Так как нет реальных требований по многозадачности и обработке прерываний, то все необходимые операции по управлению устройством сбора данных, самим процессом сбора и сохранению данных, удобно реализовать по циклическому алгоритму. Использование знакомой пользователю еще по эре 286-х ПК ОС вызывает намного меньше трудностей при его обучении и самостоятельной работе по сравнению с такими ОС РВ, как QNX или OS9.

Для реализации сетевого обмена использовалось расширение Microsoft Network Client+Server для DOS с протоколом NetBEUI, а виртуальный диск создавался штатным средством MS-DOS 6.22 RAMDRIVE. Из-за несовместимости ОС FDOS 6.00 (штатно поставляемой вместе с процессорной платой) с Microsoft Network Client+Server от нее пришлось отказаться.

Так как процессорная плата способна перезагружаться за время  $\sim 1,5\text{ с}$ , то на компьютере было создано две конфигурации ОС: одна с поддержкой сети для обмена файлами сценариев эксперимента и данными, другая с поддержкой виртуального диска и автоматическим запуском программы регистрации. Выбор и переход к требуемой конфигурации осуществляется с помощью клавиатуры регистратора. Управление программой регистрации РВ осуществляется с помощью клавиатуры регистратора двумя кнопками "пуск" и "стоп". Для отметки характерных точек во время проведения испытаний доступны четыре кнопки событий, при нажатии на которые возможно создать до четырех типов отличающихся друг от друга отметок.

Из состава ПО комплекса АСTest на автономном регистраторе используется только программа регистратор под DOS. На рис. 4 представлен пример одного из конструктивного исполнения автономного регистратора, выпускаемого "Лабораторией автоматизированных систем (АС)".

#### Система измерений на основе портативного компьютера

При проведении испытаний в условиях лабораторного стенда для измерения и контроля разнообразных процессов используется мобильная измерительная система на базе компьютера класса Portable – чемоданчика с ЖК экраном, полнофункциональной клавиатурой и возможностью установки плат расширения PCI и ISA (рис. 5).

Другим исполнением такой системы измерений является система на базе ноутбука и отдельного чемоданчика, в котором расположены необходимые средства сбора данных, согласования сигналов и защиты (рис. 6).

#### Функционирование ПО комплекса автоматизации испытаний Настройка измерительной системы

Работа с программным комплексом начинается с настройки измерительной системы, для этого используется подсистема тарировки измерительных каналов. При настройке измерительной системы определяется конфигурация измерительной системы и проводится калибровка (тарировка) измерительных каналов.

В первую очередь необходимо занести в БД информацию об элементах измерительных каналов, таких, как датчики, устройства согласования сигналов и АЦП. Заносится, как общая информация (наименование, серийный номер, тип измеряемой величины), так и метрологическая информация (диапазон измерений, точность, передаточная (калибровочная) характеристика), а также необходимые комментарии.

Далее работая с программой тарировки отдельные элементы собирают в измерительный канал, для формирования которого необходимо ввести установочные данные этого канала (наименование, назначение, диапазон измерений и т.д.) и указать из каких ранее введенных в БД элементов он будет состоять. При этом программа позволяет рассчитать суммарную точность измерительного канала и результирующую передаточную характеристику.

Подсистема тарировки позволяет провести сквозную калибровку всего измерительного канала, подавая на его вход воздействия, калиброванные или контролируемые образцовым прибором, и непосредственно записывая коды АЦП в память компьютера. Построенная таким образом таблица, может быть обработана методом наименьших квадратов с целью получения уравнения регрессии, которое будет использоваться для пересчета кодов АЦП в значения параметров измеряемых физических величин. Пользователь может самостоятельно выбрать, какое из предлагаемого набора уравне-



Рис. 5. Мобильная измерительная система на базе компьютера класса Portable



Рис. 6. Мобильная измерительная система на базе ноутбука и переносного блока согласования с объектом

ний наилучшим образом описывает измерительный канал, а программа поможет ему, показывая графики измеренных точек и уравнения математической модели, описывающих измерительный канал, а также давая величину суммы квадратов отклонений для каждого из рассчитанных уравнений регрессии.

Пользователь может сохранить результаты тарировки и уравнения регрессии в БД для их последующего использования и анализа дрейфа характеристик измерительных каналов и их элементов в процессе эксплуатации.

Из измерительных каналов формируется конфигурация измерительной системы, при этом ведется контроль того, чтобы датчик с одним и тем же серийным номером или один и тот же канал АЦП не использовался дважды в одной и той же конфигурации измерительной системы.

Подсистема тарировки позволяет распечатать протоколы конфигураций измерительной системы, характеристики измерительных каналов и их элементов, а также результаты их тарировок, что позволяет документально учитывать состав и характеристики измерительной системы на момент проведения измерений.

#### Подготовка к испытаниям – создание сценария эксперимента

До проведения испытаний необходимо составить сценарий проведения измерений, в котором необходимо указать, какие каналы из состава измеритель-

ной системы будут использоваться, с какой частотой будет проводиться дискретизация сигналов, какие уставки будут применяться для четырех уровневых допускового контроля (min, max предаварийный, min, max аварийный), каким образом будет проводиться визуализация во время проведения измерений. В сценарии проведения измерений необходимо дать набор полей априорной информации, которая будет использоваться для идентификации эксперимента и описания его результатов. Типовой набор таких полей: наименование стенда, наименование объекта испытания, режим эксперимента, дата и время проведения, фамилия ведущего и т.д.

### Проведение измерений и визуализация в масштабе РВ

При проведении измерений в масштабе РВ возможна визуализация получаемых данных с помощью виртуальных осциллографов, самописцев, цифровых (табличных) и столбчатых элементов. Число одновременно отображаемых элементов ограничено главным образом разрешающей способностью применяемого монитора и возможностью человека-оператора к восприятию информации.

В ходе проведения измерений в соответствии со сценарием эксперимента можно рассчитывать целый ряд параметров на основе измеряемых данных. Например, действующее значение тока по его мгновенным значениям, частота и период сигнала, сдвиг фаз, произведения, суммы, разности и отношения двух сигналов, статистические функции (среднее, min, max, дисперсию) и др. При этом рассчитываемые данные равноправны с измеряемыми данными с точки зрения их визуализации и сохранения.

Любые данные могут: сохраняться всегда или по какому-либо условию; не сохраняться никогда, а использоваться только для визуализации в масштабе РВ или быть источником для какого-либо расчетного канала. По окончании испытаний экспериментатор может ввести свое субъективное мнение о проведенном опыте в окне специального текстового редактора (например, "объект поскрипывал и сильно искрил"). Эта информация будет сохранена в поле апостериорная информация базы экспериментальных данных.

### Обработка и анализ результатов испытаний

ПО позволяет просматривать и проводить послеаналитический анализ полученной информации. Одновременно могут обрабатываться данные различных испытаний, хранящихся в БД результатов экспериментов; можно выбирать любые результаты измерений, просматривать идентификационную и дополнительную информацию.

Многооконный графический виртуальный "графопостроитель" позволяет просматривать результаты измерений в виде графиков  $Y = f(t)$ ,  $Y = f(x)$ . Имеется возможность масштабирования и прокрутки графиков. Для просмотра мелких областей графиков используется "графическая лупа".

Графики из всего объема БД свободно выбираются и накладываются друг на друга, позволяя их визуально сравнивать, в т.ч. графики 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).

ПО 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.

Данные, полученные в результате проведения измерений, могут обрабатываться с помощью имеющейся математической библиотеки: проводится регрессионный, спектральный, корреляционный анализ, фильтрация данных, расчеты вторичных параметров. Математическая библиотека выполнена в виде DLL файлов, формат математической библиотеки является открытым, и ее состав может легко расширяться программистами разработчиками комплекса либо самими пользователями.

Предусмотрена возможность документирования результатов измерений: режим печати графиков с текстом сопровождения (на любом принтере, использующем драйвер Windows) или экспорт графических зависимостей через буфер обмена Windows в файлы отчета, выполненные с помощью общепринятых средств Word или Excell.

### Заключение

С использованием мобильных систем автоматизации двух описанных типов и программного комплекса испытательных и экспериментальных установок АСТест, были проведены:

- весь цикл испытаний линейного электропривода Московской монорельсовой дороги, начиная от их подготовки и заканчивая обработкой и представлением полученных результатов. При этом проводились, как статические, так и динамические (ходовые) испытания для отработки конструкции, подтверждения расчетных характеристик привода;

- полевые испытания различных теплоогнезащитных покрытий, применяемых на газозаправочных станциях, нефтяных скважинах, в туннелях и на других объектах, разрушения которых в случае пожара может вызвать катастрофические последствия;

- регистрация визуализация и обработка данных короткоимпульсных процессов в полевых условиях;
  - контроль качества передвижных электростанций на базе тепловозного дизеля при их производстве;
  - мониторинг работы прессов 2000, 3500, 5000, 10000 и 30000 тонн: контроль за соблюдением ТП и противоаварийной защиты технологического оборудования. Система позволяет определять отклонения в установке пресс-форм, проводить контроль усилий прессования, следить за уровнем напряжения в колоннах пресса и выдавать команду на аварийный останов пресса при возникновении аварийных ситуаций;
  - система диагностирования прокатного стана позволяет отслеживать износ рабочих органов технологических установок. На одном рабочем месте можно следить за пятью технологическими установками одновременно или подробно анализировать работу каждой из них.
- В настоящее время подобные мобильные системы и комплекс АСТест используются для автоматизации измерений, испытаний, проведения экспериментальных работ и контроля готовой продукции в более чем в 60 организациях, в том числе: ЦНИИ МО РФ; РКК "ЭНЕРГИЯ"; "ОКБ "Сухого"; РФЯЦ-ВНИИЭФ; РФЯЦ-ВНИИТФ; "Корпорация "Фазатрон-НИИР";

Российская академия наук; Московский Государственный университет им. Ломоносова (МГУ); Московский государственный авиационный институт (МАИ); "МАТИ" – Российский Государственный технологический университет; РОСТЕСТ-Москва; НПФ "Электропровод"; "Котласский целлюлозно-бумажный комбинат"; "Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат"; "Коломенский тепловозостроительный завод", "Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение", "Выксунский металлургический комбинат" и др.

#### Список литературы

1. Вуколиков В.М., Олейников А.Я., Перцовский М.И. Автоматизация полевого спектрального эксперимента на основе аппаратуры КАМАК и микро-ЭВМ. В книге: "Новые методы спектрального анализа". Изд. "Наука". 1983.
2. Ртищев А.В. Программный комплекс "АСТест" автоматизации экспериментальных установок // Мир компьютерной автоматизации, 2001. № 3.
3. Ртищев А.В. "Комплекс "АСТест" – комплексный подход к автоматизации испытаний и экспериментальных исследований" // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика (ПИКАД). 2005 . № 1.
4. Перцовский М.И., Ртищев А.В., Яковлев А.В., Мирошкин И.И. Автоматизация испытаний линейного электропривода Московской монорельсовой дороги // Современные технологии автоматизации, 2003. №3.

*Перцовский Михаил Изидорович – канд. физ.-мат. наук, директор,*

*Ртищев Алексей Викторович – начальник отдела,*

*Яковлев Александр Владимирович – начальник сектора "Лаборатории автоматизированных систем (АС)".*

*Контактный телефон/факс (095) 730-36-32 (многоканальный).*

*E-mail: office@actech.ru Http: www.actech.ru*