

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ACTest PLATFORM - ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАНИЙ

А.В. Ртищев, А.В. Баранов, В.А. Язынин (ООО «Лаборатория автоматизированных систем (АС)»)

Сформулированы требования к программному обеспечению для автоматизации измерений при проведении научных исследований и комплексных испытаний. Рассмотрены основные возможности отечественного программного комплекса ACTest Platform. Приведены практические примеры автоматизированных систем для проведения испытаний в различных областях науки и техники.

Ключевые слова: автоматизация измерений, научные исследования, комплексные испытания, информационно-измерительная система, калибровка.

При проведении современных научных исследований и экспериментальной отработке изделий новой техники необходимо проведение измерений различных физических параметров: температуры, давления, расхода, силы, вибрации, механических напряжений и деформаций, электрических токов и напряжений с обеспечением требуемой точности и быстродействия регистрирующей аппаратуры.

Основные проблемы, возникающие перед исследователем или испытателем:

- невозможно решить поставленные задачи с требуемой точностью или временным разрешением, используя оборудование одного производителя;
- сложность интеграции в единую систему программного обеспечения, поддерживающего работу аппаратуры различных производителей;
- сложность одновременного запуска и синхронизации различного оборудования.

В ходе проведения измерений некоторого набора параметров, их обработки и анализа исследователю часто приходится отвлекаться на решение проблем автоматизации измерений. В области научных исследований во всем мире активно применяются решения известного зарубежного разработчика устройств сбора данных и программное обеспечение. В этом программном обеспечении для решения различных задач измерения и управления процессами используется язык графического программирования, но для научных исследований и комплексных испытаниях достаточно часто приходится привлекать программиста на языке G.

Для устранения этого недостатка предлагается разделить

все работы, которые необходимо выполнить при создании автоматизированной измерительной системы в ходе испытаний сложных технических систем или научных исследований, на типовые задачи и создать инструментарий для их решения инженером-специалистом в предметной области без программирования.

К таким работам относятся:

- подготовка информационно-измерительной системы (ИИС) к работе (проведению измерений);
- настройка метрологического обеспечения ИИС;
- проведение измерений — сбор данных, первичная обработка, визуализация и регистрация данных;
- обработка результатов испытаний.

Для реализации этих задач без привлечения программиста был создан программный комплекс ACTest. Первая версия программного комплекса вышла уже в далеком 2001 г. [1], и с тех пор комплекс постоянно

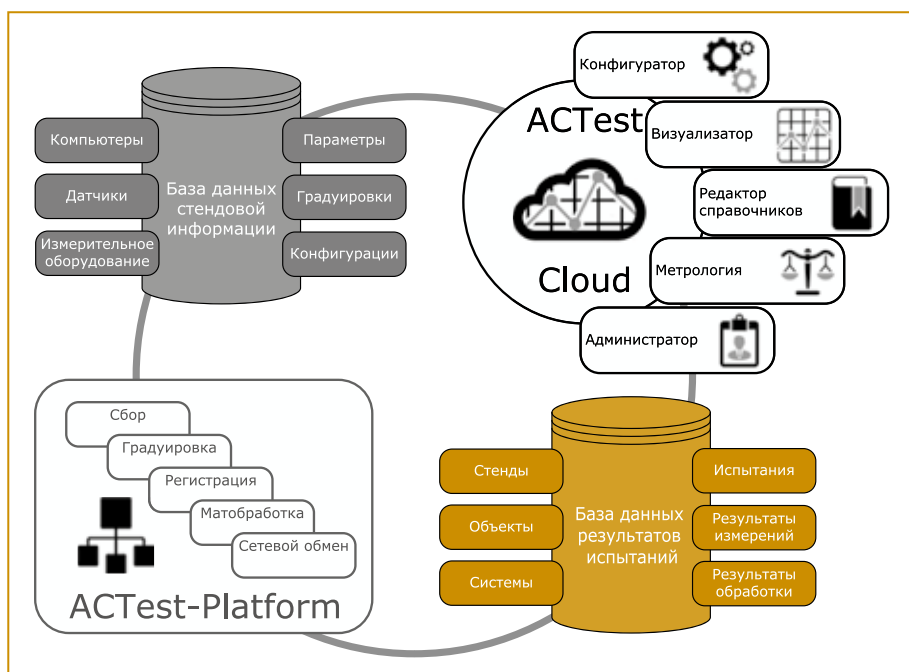


Рис. 1. Структурная схема комплекса ACTest Platform

развивается, совершенствуясь в ногу со временем [2]. Сегодня актуальной является версия ACSTest Platform — современное 64-битное приложение, предназначенное для создания распределенных, легко масштабируемых систем автоматизации испытаний.

При создании программного продукта (рис. 1) ставилось требование максимальной независимости от вида используемого измерительного оборудования. На сегодняшний день поддерживаются: оборудование производителей Л-Кард, Мера, НПП «Р-Технолоджи» (Россия), система MGSplus фирмы Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (Германия), оборудование фирмы National Instruments (США), датчики давления с интерфейсом Modbus RTU.

Для подключения нового устройства к системе необходимо только разработать интерфейсный модуль, обеспечивающий трансляцию команд от ACSTest к драйверу устройства. При этом возможно использование в одной системе оборудования разных производителей с обеспечением их синхронной работы.

ACSTest Platform поддерживает синхронизацию измерительных каналов от используемых меток времени, получаемых со спутников ГЛОНАСС/GPS. Точность синхронизации для медленно меняющихся каналов в основном определяется частотой выбранной дискретизации АЦП и составляет  $\pm 1$  отсчет, только для высокоскоростных каналов с частотой дискретизации порядка 1 мкс точность получения меток может быть заметна.

Структурная схема комплекса ACSTest Platform представлена на рис. 1. В состав программного комплекса входит база данных стендовой информации, в которой хранится информация об используемых измерительных параметрах, датчиках, модулях ввода данных, компьютерах, а также база данных результатов испытаний.

### Подготовка информационно-измерительной системы (ИИС) к работе

Конфигурирование системы начинается с ввода списка контролируемых по программе испытаний параметров. На этом этапе рекомендуется заполнить все предлагаемые поля: обозначение, наименование, диапазон измерений, допустимую погрешность, значения для допускового контроля. В дальнейшем при настройке системы можно контролировать, какие параметры еще не настроены, соотносить получаемую погрешность измерительного канала с требуемой.

Следующим шагом необходимо сконфигурировать архитектуру системы: используется один компьютер или несколько, к каким компьютерам подключены измерительные модули.

Настройку используемых модулей можно вести вручную, заносая их характеристики и расположение, но рекомендуется воспользоваться функцией автоопределения,

доступной для большинства поддерживаемых модулей сбора данных. Для этого необходимо подключить измерительный крейт к компьютеру и запустить функцию автоопределения.

Далее необходимо провести групповую и показную настройку измерительных модулей: режим работы дифференциальный или с общей землей, открытый или закрытый вход, работа фильтров, напряжение питания тензодатчиков и т. д. Для каждого из каналов АЦП можно настроить диапазон измерения, частоту дискретизации.

В системе используется понятие комплексного компонента измерительной системы (ККИС), определенное в ГОСТ Р 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем». ККИС представляет собой обобщенную модель совокупности всех компонентов измерительного канала за исключением датчика. Причем в состав ККИС могут входить как аппаратные компоненты (вторичные измерительные преобразователи, усилители, делители, фильтры, каналы АЦП), так и программные составляющие: цифровые фильтры, расчетные алгоритмы.

ККИС может иметь свою градуировочную характеристику, полученную как расчетным путем, так и методом проведения сквозной градуировки с использованием эталонов. ККИС может быть внесен в Государственный реестр средств измерения и подлежать дальнейшей поверке. Это удобно как частный случай покомпонентной поверки измерительного канала: отдельно поверяется ККИС с помощью электрического калибратора и отдельно поверяется датчик. В документации на систему при этом приводится способ расчета суммарной погрешности измерительного канала.

Далее настраиваются измерительные параметры, к ним добавляются экземпляры датчика из базы данных стендовой информации и канал ККИС. При этом для канала ККИС автоматически подтягивают-

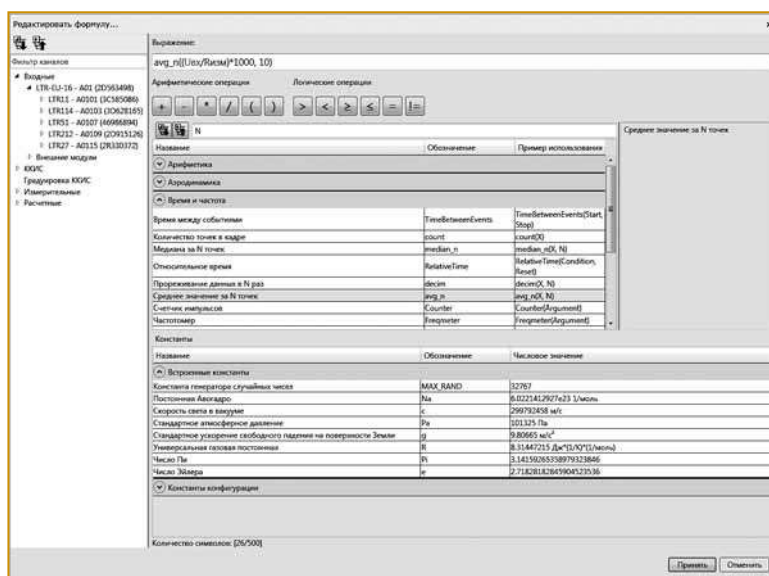


Рис. 2. Внешний вид окна настройки расчетного канала

ся значения допускового контроля, ведется контроль сроков поверки компонентов, рассчитывается суммарная погрешность.

При необходимости настраиваются расчетные параметры, используя поле ввода формул и библиотеку функций (рис. 2).

Следующим шагом настраивается процедура регистрации данных. Возможна регистрация всей информации в один файл. Этот способ хорош для систем с небольшим объемом данных и коротким временем работы. В случае продолжительной работы рекомендуется использовать многофайловый сбор данных, когда через заданное время первый файл закрывается и ведется регистрация в другой файл и т. д. Система послесансного анализа позволяет работать с набором файлов как с едиными данными.

Возможна настройка регистрации по условию и разделение каналов в разные файлы по их типу: параметры в физических величинах и телеметрические данные в единицах измерения, получаемых с АЦП.

Сохранение результатов измерений производится в бинарный файл, в заголовок которого в момент записи помещается контрольная сумма файла, а в момент его чтения происходит ее проверка.

### Визуализация данных

Для визуализации данных при проведении измерений используется программный модуль Визуализатор — позволяющий отображать получаемые и рассчитываемые данные.

Для отображения данных доступен достаточно широкий набор элементов визуализации: цифровой и стрелочные элементы, горизонтальные (номинал) и вертикальные столбчатые элементы, мнемосхема, виртуальные осциллограф, самописец, параметрический график, спектроанализатор.

Из набора этих элементов пользователь создает профиль (экран) визуализации который может быть сохранен для дальнейшего использования в базу данных или в файл (рис. 3).

Важным удобством визуализатора АСTest Platform является возможность его настройки не только при подготовке к проведению измерений, но и непосредственно в момент проведения измерения, включая возможность добавления на визуализацию данных из "дерева" собираемых каналов без остановки сбора данных. Все элементы масштабируемы, перетаскиваемы по экрану.

### Метрологическое обеспечение ИИС

Метрологическое обеспечение ИИС должно осуществляться на всех стадиях жиз-

ненного цикла ИИС и для его обеспечения необходимо автоматизировать следующие типовые задачи:

- расчет суммарной погрешности измерительного канала по известным метрологическим характеристикам его компонентов и соотнесение их с заданными требованиями. При этом погрешности для компонентов и всего измерительного канала могут быть заданы в виде: приведенной, относительной или абсолютной погрешности;
- экспериментальное определение метрологических характеристик измерительного канала;
- проведение автоматизированной поверки, калибровки или проверки измерительного канала;
- отслеживание сроков поверки измерительного канала или его компонентов;
- обеспечение защиты программного обеспечения и зарегистрированных данных от случайного или преднамеренного изменения метрологически значимой информации;
- обеспечение информационной целостности — сохранение исходных данных (телеметрической информации), градуировок (рис. 4), физических параметров, полученных в результате наложения градуировок или расчетным путем.

Обеспечение защиты для программного обеспечения осуществляется путем проверки цифровой подписи и контрольной суммы для установленного программного пакета в момент запуска.

Отметим многообразие элементов визуализации: работа в многооконном режиме, сохранение профилей в файлы и базу данных, переключение единиц измерения, просмотр информации о канале и значений связанных каналов.

### Послесансная обработка

Модуль программный послесансной обработки АСTest Analyzer предназначен для просмотра, математической обработки, экспорта и импорта данных зарегистрированных экспериментальных данных.

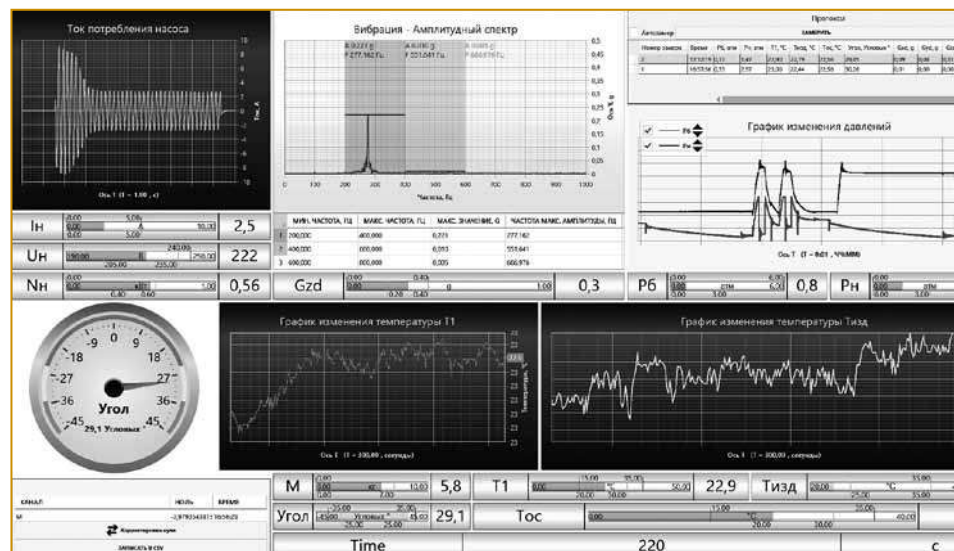


Рис. 3. Внешний вид окна визуализации данных (вариант настройки)



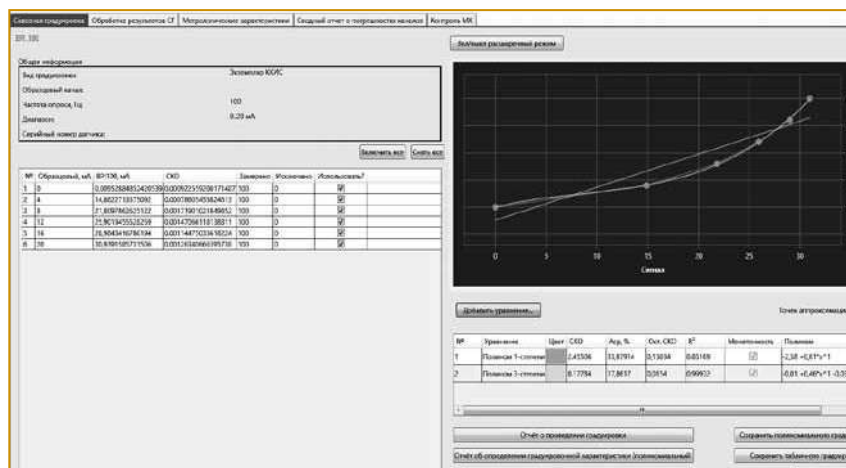


Рис. 4. Окно проведения сквозной градуировки

### Примеры практического использования ACTest Platform

Рассмотрим примеры практического использования программного комплекса ACTest Platform:

- система информационно-измерительная для огневых испытаний ЖРД на криогенных компонентах (стенд В2 ФКП «НИЦ РКП» г. Пересвет) [3,4];
- система измерения параметров для аэродинамических испытаний (ФГУП ЦНИИмаш);
- система измерений для испытания плунжерных насосов (АО «Ливгидромаш»);
- системы для испытания солнечных батарей и контроля для регламентных работ по обслуживанию аккумуляторов космического назначения (НПО «Машиностроения»).

Эти системы иллюстрируют возможности комплекса в области масштабируемости, применимости для реализации принципиально разных задач.

### Система информационно-измерительная для огневых испытаний ЖРД

На момент создания в состав системы входило 1224 канала с полным дублированием регистрирующей аппаратуры. Система включает 10 измерительных стоек, две стойки обработки данных, серверную стойку, 18 крейтов сбора данных, восемь ПК регистрации данных, два ПК обработки данных, четыре АРМ подготовки и обработки данных, 12 АРМ визуализации данных. Эффективная работа такой системы невозможна без современного программного обеспечения, обеспечивавшего ведение базы данных всех датчиков и другой измерительной аппаратуры, хранение градуировок, настроек всех измерительных каналов. В этой системе в полной мере используются возможности ACTest Platform по централизованному управлению распределенной системой, сетевому обмену, распределенной обработкой и регистрацией данных. Особенно пригодились широкие возможности по централизованной настройке профилей визуализации.

### Система измерения параметров для аэродинамических испытаний

Система предназначена для проведения измерений при весовых и дренажных экспериментах.

Особенностью весовых измерений являются высокие требования к точности измерений значений силы и моментов шестикомпонентных тензочувствительных весов, связанные с применением в аэродинамических трубах уменьшенных геометрических моделей и необходимостью пересчета результатов для реальных размеров изделий. Для измерения значений силы и моментов использовалось оборудование MGCplus фирмы HBM (Германия), обеспечивающее работу с тензометрическими датчиками с высочайшей точностью за счет питания переменным током и применения высококачественных усилителей.

При проведении дренажных экспериментов необходимо измерение значений давления на поверхности летательного аппарата как можно в большем числе точек. Для 750 каналов измерения давления требования к точности не столь высоки, допустимая погрешность регистратора 0,1%, а не 0,03% как для тензометрических модулей, поэтому было использовано оборудование отечественного производителя Л-Кард, что позволило существенно снизить стоимость системы. Благодаря возможностям программного комплекса не возникло проблем с обеспечением работы оборудования разных производителей в одной системе, их взаимной синхронизации.

При создании этой системы понадобилось расширить набор готовых математических функций для выполнения аэродинамических вычислений, и в состав комплекса ACTest Platform была включена библиотека для аэродинамики.

### Система измерений для испытания плунжерных насосов

С использованием ACTest удобно автоматизировать и небольшие стенды, например, для испытания насосов. Стенд для испытания насосов не отличается решением каких-либо сложных измерительных задач, имеет утилитарный набор параметров: давления, температуры, расхода, перемещения. Поэтому для поставки оборудования понадобилось всего 5 нед. от момента заключения договора, а монтаж, пусконаладка и обучение заказчика за счет применения готовых решений и дружественного интуитивно понятного интерфейса программного комплекса заняли всего 4 дня.

### Системы для испытания солнечных батарей и контроля регламентных работ по обслуживанию аккумуляторов космического назначения

В настоящее время большое внимание уделяется развитию современных источников электроэнергии, активно развивается солнечная электроэнергетика, и используются аккумуляторные батареи.

Система для испытания солнечных батарей была выполнена с использованием импульсного осветителя — аналог фотовспышки с мощностью в десятки раз боль-

шей и временем действия около 1,3 мс. Такое решение по воспроизведению солнечного освещения в момент испытаний позволят не только многократно экономить электроэнергию по сравнению с использованием традиционных ламп, но и более точно воспроизвести спектральный состав. Поэтому измерительная задача характеризовалась достаточно высокими требованиями по быстродействию. Для построения вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи потребовалось за 1 мс провести измерения  $\geq 100$  точек освещенности, значений тока и напряжения. Для снятия ВАХ был разработан быстродействующий блок нагрузок, способный изменять свое сопротивление в диапазоне  $10^6 \dots 0,1$  Ом за 1 мс. С использованием отдельного скрипта для управления ЦАП была решена задача синхронного управления импульсного осветителя и блока нагрузок.

От примера с проведением быстрых измерений перейдем к решению задачи, связанной с регистрацией данных через весьма значительные промежутки времени.

При хранении аккумуляторных батарей ответственного назначения необходимо их периодическое (раз в полгода) техническое обслуживание с проведением циклов их разряда и заряда. При проведении этих тренировок требуется ведение протокола по установленной форме с фиксацией показаний через заданные промежутки времени (сначала каждые 30 мин, потом через каждые 5 мин от момента начала процесса), а также фиксацией момента достижения заданного напряжения.

Задача решалась с использованием элемента визуализации "Протокол" в режиме протоколирования по сигналу управляющего канала. Элемент «Протокол» выгружает при наступлении заданного условия или команде оператора заданный набор параметров в MS Excel. Для реализации заданных временных промежутков использована специальная функция математической обработки. Для оформления бумажного протокола по заданному формату использовался макрос в MS Excel.

### Заключение

Таким образом, программный комплекс АСTest Platform зарекомендовал себя как эффективный инструмент для автоматизации измерений при проведении научных исследований и комплексных испытаний образцов новой техники, выполнении приемо-сдаточных испытаний и регламентных работ при выпуске серийной продукции.

За последние годы были реализованы десятки систем на основе АСTest Platform в различных отраслях промышленности и науки. Так, например, возможности программного комплекса в области анализа сигналов в частотной области, проведения цифровой фильтрации и спектрального анализа хорошо раскрылись при решении гидроакустических задач. Вопросы обработки тензометрических сигналов, определения главных векторов напряжений — при создании систем для теплопрочностных испытаний. Расчет достаточно большого числа вторичных параметров в темпе проведения испытаний очень важен при испытаниях различного вида современных электроприборов с частотными преобразователями и при оценке качества электропитания.

### Список литературы

1. Ртищев А.В. Программный комплекс АСTest автоматизации экспериментальных установок // Мир компьютерной автоматизации. 2001. №3.
2. Перцовский М.И. Стратегия развития и модернизации экспериментально-испытательной базы крупных промышленных предприятий // Автоматизация в промышленности. № 6. 2009.
3. Перцовский М.И., Ртищев А.В. Чтобы «что-то» хорошо летало, нужно это «что-то» хорошо испытать! // Аэрокосмический курьер. 2013. №5(88).
4. Перцовский М.И., Ртищев А.В. Комплексная система реального времени испытания сложного технического объекта: от теории к практике // Автоматизация в промышленности. 2014. №2.

*Ртищев Алексей Викторович — директор, главный конструктор  
ООО «Лаборатория автоматизированных систем (АС)», старший преподаватель МАИ,  
Баранов Артем Викторович — начальник сектора проектирования комплексных систем  
Язынин Владимир Александрович — начальник сектора внедрения комплексных систем  
ООО «Лаборатория автоматизированных систем (АС)».*

*E-mail: rav@actech.ru*

*Контактный телефон (495) 730-36-32.*

*Как можно раньше вступаите на протофельную стезю: не изменяйте своим привычкам. Накапливайте идиомы. Стандартизируйте. Единственная разница между Шекспиром и вами состоит не в объеме словаря, а в количестве идиом.*

*Алан Джей Перлис — американский учёный в области информатики.*