

но. А используя Wi-Fi концентраторы можно создать беспроводное соединение с устройствами в случае невозможности или при неудобстве организации проводной линии связи с измерителем.

Испытательные стенды, по функциональности аналогичные разработке, описанной в статье, и созданные на базе АПК ZETLab, успешно функционируют во многих крупнейших учебных и научно-исследователь-

ских институтах, например, во Всероссийском научно-исследовательском институте физических и радиотехнических измерений, Институте космических исследований РАН, Научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта, Московском государственном университете путей сообщения и других, а также на многих предприятиях военно-промышленного комплекса и стратегического назначения.

Красовский Андрей Александрович — технический консультант компании "Электронные технологии и метрологические системы".

Контактный телефон (495) 744-81-60.

E-mail: KrasovskiyAndrey@mail.ru, info@zetms.ru Http://www.zetms.ru

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УЗЛОВ

**А.А. Елтаренко (Центральный институт
авиационного моторостроения им П.И. Баранова)**

Представлена структура и основная функциональность программной составляющей комплексной автоматизированной системы стендовых испытаний авиадвигателей и их узлов.

Ключевые слова: автоматизация стендовых испытаний, база данных, проведение испытаний, подготовка эксперимента, обработка результатов испытаний.

В настоящее время существует множество универсальных программных пакетов, предназначенных для автоматизации проведения испытаний. Как правило, это ПО хорошо функционирует с аппаратными средствами, разработанными на этой же фирме. Несмотря на то, что все эти пакеты программ претендуют на универсальное использование, по своим характеристикам и свойствам каждое из них наилучшим образом подходит только для конкретных применений и совершенно не удовлетворяет пользователей при проведении прочих испытаний. Так при автоматизации проведения испытаний авиадвигателей и их узлов имеющиеся сегодня на рынке программные средства в большинстве своем не способны удовлетворить всем специфическим требованиям данной области исследований. Некоторые программные пакеты предлагают слабо развитое и ограниченное представление получаемых экспериментальных данных на экране ПК, другие не позволяют получить требуемые при проведении испытаний авиадвигателей временные характеристики системы. Но самое главное, данные пакеты обычно ориентированы на работу с определенной аппаратурой и не имеют возможности работать с различными видами аппаратуры одновременно.

Таким образом, возникла необходимость разработки программного продукта, позволяющего успешно проводить разнообразные виды испытаний не только таких сложных объектов, как авиационные двигатели, но и их узлов, компрессоров, турбин, камер сгорания и т.д. Требования к проведению испытаний таких разнородных объектов весьма отличаются и требуют определенных условий как к сбору информации с объектов, так и к обработке и представлению информации на экране ПК. В результате в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ, Москва) раз-

работано ПО, предназначенное для комплексной автоматизации стендовых испытаний авиационных двигателей и их узлов на этапах проведения испытаний, подготовки к испытаниям, послепериментальной обработки, анализа и представления полученных данных. ПО функционирует на ПК соединенном с измерительным оборудованием и устройствами сбора данных следующих производителей: L-CARD (Россия, www.lcard.ru), НПП "Мера" (Россия, www.nppmera.ru), Hewlett Packard (США, www.hp.com), National Instruments (США, www.ni.com).

Основные функции, выполняемые ПО:

- проведение функции, выполняемые ПО:
- проведение разнообразных испытаний различных серийных и экспериментальных объектов;
- постоянный контроль состояния объекта, оперативная диагностика критических ситуаций, эффективный контроль экспериментатором измеряемых и вычисляемых параметров в ПВ;
- регистрация контрольных параметров при статических и динамических режимах испытываемого объекта, непрерывная регистрация выбранных параметров в БД в течение всего цикла испытаний (мониторинг проведения испытаний);
- обработка результатов по различным методикам и алгоритмам и визуализация результатов в различных формах представления данных;
- обмен информацией по сети с другими компьютерами, используемыми во время проведения испытаний;
- подготовка автоматизированной системы к проведению испытаний, включая подготовку перечня используемых параметров, градуировку измерительных каналов, регистрацию нулевых показаний, тестирование аппаратуры и т.п.;
- метрологические исследования и аттестация измерительных каналов;



Общая структура ПО

- послеэкспериментальная обработка и анализ экспериментальных данных;
- создание БД результатов испытаний для послеэкспериментального анализа полученных результатов;
- организация удобного интерфейса экспериментатор – компьютер;
- простота обслуживания, оперативность настройки системы на конкретный объект испытаний и открытость к развитию.

Проведение испытаний таких сложных объектов, как авиационные двигатели и их узлы характеризуется разнообразными видами экспериментов, большим количеством регистрируемой информации, применением различных методик и алгоритмов обработки данных во время проведения испытаний. В ходе испытаний используется множество первичных преобразователей и различные источники управляющих сигналов. Поэтому основой разработанного ПО является БД, в которой помимо результатов испытаний содержится и хранится вся информация об испытуемом объекте, информация о схемах измерения, перечень измеряемых и вычисляемых параметров, информация об измерительном оборудовании и т.д.

Общая структура ПО представлена на рисунке.

В состав ПО входит несколько БД:

- *изделий*, включающая перечень измеряемых и вычисляемых параметров исследуемого объекта (изделия). В таблицы БД "Изделие" входят наименования параметров, их единицы измерения, предельно допустимые значения параметров во время проведения испытаний, коэффициенты аппроксимирующих полиномов и различные табличные значения для перевода электрических величин в физические и т.д. БД содержит таблицы с перечнем параметров, регистрируемых во время проведения эксперимента, для всех режимов работы испытываемого изделия. Кроме того, здесь же хранятся различные атрибуты выводимых на экран изображений (цвета, размер шрифта, тексты и т.д.);
- *аппаратных установок*, включающая все установочные данные аппаратных средств, предназначенных для приема информации в ПК. Это коэффици-

енты усиления, диапазоны измерения, пороги срабатывания, частоты опроса, номера каналов и т.д.;

- *метрологии*, содержащая результаты метрологической аттестации измерительных каналов;

- *сети*, в которой запоминаются сетевые настройки для передачи информации между компьютерами по локальной сети, таблицы с перечнем параметров, принимаемых по сети при обмене данными между компьютерами;

- *результатов испытаний*, запоминающая значения параметров, зарегистрированные во время проведения испытаний как в физических, так и в электрических величинах;

- *документации*, содержащая всю документацию об испытываемых объектах: программа проведения испытаний, методика обработки, схема препарирования и т.д. Кроме того, для каждого дня испытаний в ней запоминаются время наработки испытываемого изделия, количество затраченной электроэнергии т.д.

Общеизвестно, что ПО для систем автоматизации обычно решают основные задачи, возникающие на этапах *проведения испытаний, подготовки к эксперименту и послеэкспериментального анализа результатов испытаний.*

Функциональность программ, работающих в режиме РВ (проведение испытаний)

Сбор информации. Для всех применяемых аппаратных средств разработаны программы, позволяющие принимать информацию с этих устройств и передавать ее в компьютер. Эти программы осуществляют циклический сбор данных с задаваемой частотой опроса и распределение полученных данных в память компьютера. Принимаемая информация поступает с устройств в виде цифрового кода.

Обработка. Производится перевод полученных данных из цифрового кода в электрические значения согласно коэффициентам усиления аппаратных каналов. Электрические значения переводятся в физические величины, используя коэффициенты аппроксимирующих полиномов или введенные табличные значения соответствия электрических величин в физические. Для температурных измерений производится учет температур холодного спая, если это необходимо. Также производится учет нулевых значений параметров в случае смещения нулевых показаний датчиков.

Вычисления. Используя полученные значения параметров в физических величинах, производятся вычисления требуемых расчетных параметров по методике, применяемой в проводимом конкретном эксперименте.

Допусковой контроль. Осуществляется непрерывный допусковой контроль получаемых данных и сообщается о приближении к аварийному режиму. Ведется двойной допусковой контроль: значения параметров

приближаются к предаварийному значению; значения параметров превышают аварийные значения.

Индикация. Производится представление значений требуемых параметров на экране компьютера в виде:

- таблицы, включающей наименование параметра, его значения и размерности (для каждого параметра отдельно);

- временного или параметрического графиков в зависимости от текущего времени или от значений какого-либо параметра;

- гистограммы (вертикальной, горизонтальной) или текста, стрелочного прибора;

- активной кнопки с изображением и надписью для оперативной смены изображений во время проведения испытаний;

- списка, включающего наименование параметров, их значения и размерности единым списком;

- цветового уровня — отображение прямоугольника, изменяющего в процессе испытаний цвет в зависимости от значений какого-либо параметра;

- прямоугольника с заданными атрибутами;

- кнопки для выполнения каких-либо действий (запуск программы, изменения значений параметра и т.д.);

- изображения уровня — отображения прямоугольника (картинки), изменяющего в процессе испытаний вид изображения в зависимости от величины значения какого-либо параметра;

- прибора событий, отображающего текст, соответствующий отдельному биту значения параметра и изменяющий фон в зависимости от состояния бита.

Помимо вышеперечисленных типов представления информации, ПО производит отображение различных изображений на экране компьютера (мнемосхема, разрез двигателя и т.д.).

Оперативные изменения. Во время проведения испытаний возможно оперативное добавление изображений значений параметров на экран компьютера в различных представлениях. Кроме того, с клавиатуры компьютера возможно оперативное изменение атрибутов выводимых на экран параметров, изменение параметров опроса и регистрации параметров, смена изображений и т.д.

Регистрация контрольных точек при проведении испытаний как при статических, так и при динамических режимах работы испытываемого изделия. Также производится непрерывная регистрация значений параметров в течение всего времени эксперимента.

Сетевой обмен. Производится прием и передача требуемых параметров между компьютерами, объединенными в единую локальную сеть. Межзадачный обмен между компьютерами позволяет строить взаимодействие пользовательских компьютеров с сервером по известной технологии клиент-сервер. Все АРМ (клиенты), которые подключены в системе по сети, самостоятельно могут определять необходимые параметры, используемые во время проведения испытаний. Для этого клиенты шлют серверу сообще-

ния о выбранных параметрах и в ответ получают значения требуемых параметров.

Видеорегистрация. В систему комплексной автоматизации при испытаниях авиадвигателей и их узлов почти всегда входит система видеонаблюдения за состоянием испытываемого объекта. Поэтому всегда необходимо иметь временную "привязку" значений параметров с получаемым видеоизображением для совместного анализа видеоизображения и значениями требуемых параметров. Разработанное ПО позволяет производить регистрацию сформированного на экране компьютера изображения и изображений получаемых с видеокамер.

Функциональность ПО подготовки к эксперименту

Подготовка параметров. Экспериментатор вводит перечень параметров для испытываемого изделия, которые ему необходимы при проведении испытаний. В перечень включаются все измеряемые параметры и параметры, рассчитываемые по методике, используемой в данном эксперименте:

- имена параметров и их размерности: измеряемым и расчетным параметрам присваиваются имена (идентификаторы) и физические размерности для последующей работы с ними, их отображения и получения протоколов испытаний;

- номера линий опрашиваемых параметров, которому соответствует номер линии используемого аппаратного обеспечения;

- максимальные и минимальные значения параметров для сравнения их при допусковом контроле, максимальные и минимальные аварийные значения для допускового контроля при подходе к аварийным значениям — эти значения находятся внутри диапазона минимальных и максимальных значений измеряемой величины;

- коэффициенты градуировочной зависимости: вводятся значения коэффициентов аппроксимирующих полиномов $Y = A_0 + A_1 \times X + A_2 \times X^2 + A_3 \times X^3 + A_4 \times X^4$ для получения измеряемой величины в физических размерностях. Значения этих коэффициентов определяют и вводятся при градуировке измерительных каналов;

- принадлежность измерения: для каждого параметра указывается, в каком узле производится измерение физического параметра (компрессор, турбина, камера сгорания, сопло и т.д.);

- тип измерения: для каждого параметра указывается, какой физический параметр измеряется (давление, температура и т.д.);

- параметры для учета температуры холодного спая: отмечаются параметры, для которых необходимо производить учет температуры холодного спая;

- число осреднений для скользящего среднего: имеется возможность для параметров указывать число осреднений для получения скользящего среднего значения параметра;

- комментарии вводятся для каждого параметра. Обычно это описание параметра (где производится измерение, схема подключения и т.д.).

Формирование изображений. В подготовку к проведению испытаний входит формирование различные изображений и представление результатов испытаний на экранах компьютеров, которые используются во время проведения испытаний. Могут быть подготовлены различные схематические изображения объектов и исследуемых узлов, разнообразные мнемосхемы и любые другие изображения. Изображения готовятся любым графическим редактором. На эти изображения налагают получаемые значения измеряемых и вычисляемых параметров.

В ПО представление информации на экране компьютера реализовано в виде разнообразных типов приборов, которые из предлагаемого меню выбирает пользователь. Из перечня типов представления параметров выбирается необходимое, которое маркером мышки помещается в требуемую часть экрана монитора. Выведение параметров на экран осуществляется как на этапе подготовки к эксперименту, так и во время проведения испытаний. Число создаваемых изображений неограничено. Выбор изображений во время проведения испытаний производится оперативно из представленного меню или по кнопке смены изображений. Для каждого прибора возможно изменение его атрибутов (цвета, размеры и т.д.).

Регистрация нулевых значений. Для некоторых используемых первичных преобразователей часто характерно непостоянство выдаваемых электрических значений в ненагруженном состоянии (уход нулевых значений). Это обычно связывают с внешними факторами эксплуатации датчиков, поэтому для учета ухода нулевых показаний перед началом проведения испытаний в ненагруженном состоянии запоминают значения, выдаваемые датчиками, которые затем вычитают из текущих значений получаемых во время проведения испытаний. С этой целью ПО предусматривает опрос в ненагруженном состоянии требуемых параметров и регистрацию их значений в БД для учета полученных нулевых значений во время проведения испытаний.

Градуировка измерительных каналов. В ПО в процессе подготовки к испытаниям предусмотрена градуировка измерительных каналов, которая позволяет получить полиномиальные зависимости физической величины от напряжения (электрической величины). Для выбранных параметров осуществляется регистрация электрических значений в БД. Затем по методу наименьших квадратов производится аппроксимация градуировочных зависимостей, и определяются коэффициенты полиномов для 1-, 2-, 3- и 4-ой степени аппроксимации. Для каждой степени аппроксимации вычисляется погрешность, отнесенная к максимальному диапазону в каждой точке. Экспериментатор выбирает необходимую степень аппроксимации полинома с удовлетворяющей его погрешностью. Полученные коэффициенты полиномов автоматически заносятся в БД, которые затем используются для перевода электрических величин в физические во время проведения испытаний.

Метрологическая обработка. В состав ПО входит программа метрологической обработки для аттестации измерительных каналов. Для выбранных параметров осуществляется сбор и хранение значений каждого опроса в БД. Градуировка и аппроксимация осуществляется аналогичным образом так же, как и при градуировке измерительных каналов. Производится вычисление вариации, случайной и систематической погрешностей, ошибки измерения, отнесенной к максимальному диапазону и к измеряемой величине. На основании проведенной аттестации определяется ошибка измерения каждого измерительного канала совместно с первичным преобразователем.

Установка сетевых параметров. Устанавливается один из режимов работы используемого компьютера: клиент или сервер. При работе компьютера в качестве клиента выбираются параметры для передачи их на сервер и выбираются параметры для приема с сервера. После установки связи с сервером выбранные параметры передаются на сервер и принимаются с сервера клиентом. При работе компьютера в качестве сервера определяются номера ячеек памяти, в которые попадают значения параметров при приеме от каждого из клиентов.

Настройка аппаратуры. Применяемая аппаратура сбора данных должна быть согласована с первичными преобразователями, используемыми в системе автоматизации. С этой целью вводятся различные технические параметры аппаратных средств. Это обычно коэффициенты усиления при приеме аналоговых сигналов, пороги срабатывания компараторов при измерении частотных сигналов и т.д. С введенными аппаратными установками осуществляется тестирование аппаратуры отдельно для каждого используемого аппаратного модуля.

Общие настройки системы. Вводятся некоторые общие служебные данные для работы программы. Устанавливаются некоторые признаки работы программы в режиме проведения испытаний:

- признак звукового сопровождения при записи контрольной точки статика;
- определяется размер окна, в которое выводится требуемая информация во время проведения испытаний;
- задается число прореживаний при регистрации в режиме "непрерывно" и в режиме "динамика" и пр.

Функциональность ПО, работающего после эксперимента

Анализ результатов испытаний. После проведения испытаний ПО позволяет производить подробный анализ полученных результатов, который включает: поиск необходимой информации в БД; просмотр и протоколирование результатов испытаний; полученные графических зависимостей зарегистрированных параметров; просмотр графических зависимостей как всего процесса, так и его части в подробном (увеличенном) виде; послеэкспериментальная обработка

полученных результатов по алгоритмам пользователя; передача значений параметров в программу EXCEL; удаление ненужных результатов из БД.

Воспроизведение испытаний. После проведения испытаний возможно полное воспроизведение эксперимента, используя в качестве входных данных зарегистрированную в течение всего эксперимента информацию. Воспроизведение и повторение испытаний необходимо при проведении исследовательских работ и для анализа экспериментальных данных. Все функции ПО, реализованные для проведения испытаний, сохранены и при воспроизведении эксперимента.

Помимо хранения информации с результатами испытаний, разработанный программный пакет включает программы, позволяющие ввод и хранение всей документации об испытываемом объекте. В документацию могут входить программы испытаний, сменные задания, схемы компоновки изделий и стенда, схемы препарировок, различная документация о программах обработки и их алгоритмах и т. д. Кроме того, в БД хранятся сведения о получаемых затратах во время проведения испытаний. Для изделия — это общая наработка, наработка на малом газу, максимале, форсаже, авторотации. Для каждого дня испытаний хранится суммарная наработка по этим параметрам. Для стенда вводится время работы воздушно-компрессорной станции, вспомогательных систем, затраты топлива, электроэнергии, прочие затраты.

Воспроизведение видеоизображений. После регистрации видеоизображения и сопровождающего его

сформированного изображения экрана компьютера разработана программа для воспроизведения всего цикла испытаний, которая позволяет производить анализ и сравнение в каждый момент времени регистрации значений параметров и видеокадров с видеокамер. Также реализована возможность воспроизводить изображения с использованием стандартной программы Windows Media.

Таким образом, достоинствами разработанного ПО является многофункциональность и открытая архитектура, возможность подключения различных аппаратных средств, используемых для приема данных и передачи их в ПК. Данное ПО позволяет проводить испытания не только авиадвигателей и их узлов, но и автоматизировать процесс испытаний автомобильных двигателей, морских и железнодорожных дизелей и генераторов и других изделий транспортного и тяжелого машиностроения.

Разработанное ПО внедрено и эксплуатируется более 10 лет практически на всех экспериментальных установках и испытательных стендах ЦИАМ и его филиала. В течение этого времени ПО постоянно развивается и совершенствуется для решения новых задач, возникающих при проведении испытаний авиадвигателей и их узлов. С целью расширения функциональных возможностей ПО в настоящее время ведется работа, которая направлена на интеграцию в его состав модулей, основанных на современных методиках анализа результатов испытаний и на использование математических моделей исследуемых объектов.

Елтаренко Алексей Алексеевич — начальник сектора Центрального института авиационного моторостроения им П.И. Баранова.

Контактный телефон (495) 361-53-11. E-mail: eaa@ciam.ru

В Москве обсудили перспективы встраиваемых технологий QNX

22 апреля 2010 г. в Москве под девизом "Технологии будущего для реального времени" прошла XI международная конференция QNX-Россия-2010. Центром внимания конференции стали встраиваемые технологии и технологии PV. Перспективы их развития обсудили более 350 представителей ведущих российских и международных компаний.

Организаторами мероприятия выступили компании SWD Software и "СВД Встраиваемые системы". Генеральным партнером конференции по традиции стала компания QNX Software Systems. Спонсорскую поддержку мероприятия оказало рекордное число компаний, среди которых признанные лидеры индустрии встраиваемых систем — Freescale Semiconductor, FASTWEL, IBM, Connect Tech, Kontron, Texas Instruments, PRQA и многие другие.

Ключевым событием конференции стало выступление генерального директора и президента компании QNX Software Systems (QSS). Центральной темой его презентации стал обзор трех ключевых для QNX Software Systems событий: 30-летия компании, ее планируемого перехода из семейства компаний Harman International в компанию Research In Motion (RIM) и ожидаемого выхода новой версии OCPB QNX 6.5.

Переход в RIM позволит компании QNX Software Systems активно развиваться не только на традиционных для нее рынках, но и охватывать своими технологиями новые сферы деятельности. Способствовать этому, по мнению президента QSS, будет, в том числе, и выход новой версии ОС QNX, планируемый в июне. Ключевыми нововведениями QNX 6.5 будут: вне-

дрение технологии PPS (Persistence Publish Subscribe), поддержка архитектуры ARMv7 и соответствие стандарту IEC 61508 по наивысшему уровню устранения риска (SIL3).

Значительный интерес аудитории вызвали доклады, посвященные технологиям QNX, программным и аппаратным технологиям экосистемы QNX, отраслевым решениям и решениям на базе защищенной ОС PV. На мастер-классах сотрудники компаний SWD Software и "СВД Встраиваемые системы" рассказали коллегам о собственном опыте решения типовых задач, а также дали практические рекомендации по администрированию ОС PV QNX и использованию QNX для построения ЧМИ, целевых систем и сетей IP-телефонии.

Традиционно в рамках конференции состоялась выставка ПО и аппаратных платформ, входящих в экосистему QNX. Компания QSS впервые представила две новые отладочные платформы: HVAC (Heating, Ventilation, & Air Conditioning) — для систем управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха, и Smart Energy — для систем управления энергопотреблением. Компании Freescale Semiconductor, FASTWEL, Kontron, Argosy Technologies, ConnectTech, PRQA, Texas Instruments, Simecs, QNX Software Systems, SWD Software и "СВД Встраиваемые системы" представили свои уникальные разработки для рынка встраиваемых систем и систем PV.

С большим успехом прошла презентация новой книги С. Зыля "Проектирование, разработка и анализ ПО систем реального времени". Участники конференции получили экземпляр книги с автографом из рук автора.

[Http://www.qnx-russia.ru](http://www.qnx-russia.ru)