

СПЕЦИФИКА ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ РВ НА ПРИМЕРЕ СТЕНДА ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РЕДУКТОРОВ

А.А. Ураков, М.А. Рылов, Д.С. Шутов,
П.Г. Дорофеев (ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг")

На примере разработанного в ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг" стенда для периодических испытаний редукторов рассмотрена специфика построения автоматизированных систем испытаний (АСИ). Продемонстрирован подход к разработке АСИ, опирающийся на специализацию универсальных программно-аппаратных решений под типовой набор задач научных исследований и комплексных испытаний образцов новой техники.

Ключевые слова: испытания, крутящий момент, редуктор, автоматизированная система испытаний, система РВ.

Начиная примерно с 2003 г., в России идет интенсивный процесс автоматизации управления промышленным производством на всех его уровнях. Исторически наибольшее распространение в АСУТП получили системы управления объектами нижнего уровня, например, установка, агрегат, участок. Не обошел этот процесс и испытательное оборудование.

Испытания являются одним из важнейших этапов жизненного цикла продукта и основной объективной оценкой его технического уровня и качества изготовления. Автоматизация процессов испытаний позволяет:

- существенно сократить временные затраты на подготовку испытаний, настройку и наладку оборудования, проведение испытаний (особенно длительных), обработку результатов испытаний;
- обеспечить удобство хранения и обработки результатов (за счет возможности использования ЭВМ и пакетов прикладного ПО);
- автоматизировать процесс оформления протоколов испытаний;
- реализовать защитные функции (предотвращающие разрушение стенда в случае разрушения образца, превышения каких-либо параметров или неверно заданных настроек);
- обеспечить более высокий уровень безопасности для обслуживающего персонала.

Во время испытаний изделий бывает необходимым получать и обрабатывать большое количество информации (до 1000 параметров) и управлять режимами испытаний. Постоянное повышение требований к качеству продукции и увеличение трудоемкости испытаний приводит к необходимости все более широкого внедрения автоматизации.

Под автоматизированной системой испытаний (АСИ) понимают взаимосвязанный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе средств испытательной, измерительной и вычислительной техники.

- Автоматизация испытаний дает возможность:
- повысить степень объективности испытаний;
 - увеличить число измеряемых и контролируемых параметров;
 - увеличить точность измерений и управляющих воздействий;
 - проводить исследования быстротекущих процессов;
 - увеличить сроки службы оборудования;

Структура АСИ (как и АСУТП) обычно строится по трехуровневому принципу и имеет ряд общих черт [1].

Нижний уровень представляет собой различные датчики (сенсоры) и исполнительные механизмы.

Средний уровень состоит из ПЛК. Они принимают данные и выдают команды управления на нижний уровень. Управление осуществляется по заранее разработанному алгоритму, который выполняется циклически.

Верхний уровень – это визуализация и диспетчеризация. Оператор осуществляет контроль локальной или распределенной системой установок. В обоих случаях верхний уровень обеспечивает сбор, визуализацию и архивацию данных, поступающих от контроллеров.

Большинство подсистем АСИ критичны ко времени отклика на различные события процесса, поэтому строятся на базе систем РВ. Для них недопустимо опоздание в выдаче управляющего сигнала, поскольку это может привести к повреждению или даже разрушению испытываемого агрегата и самого стенда. Система РВ позволяет ограничить максимальное время отклика системы и тем самым избежать тяжелых последствий.

Техническое обеспечение АСИ – совокупность взаимодействующих и объединенных в единое целое технических устройств и их характеристик [2]. Это комплекс серийно выпускаемых технических средств. К таким средствам относятся: устройство для испытаний, датчики, ЦАП, АЦП, ЭВМ и другие устройства ввода/вывода и средства реализации управляющих воздействий автоматизированной системы испытаний.

По выполняемым функциям техническое обеспечение можно разделить на средства: воспроизведения внешних воздействующих факторов; контрольно-измерительные; управления, обработки и преобразования данных; оперативного взаимодействия оператора с системой; ввода/вывода информации.

Математическое обеспечение АСИ – это методы, математические модели системы и испытываемых изделий, алгоритм функционирования АСИ и решения отдельных вычислительных задач в процессе испытаний [2].

Программное обеспечение АСИ – комплекс программ (общих и специальных), необходимый для реализации всех функций АСИ [2]. Общее ПО включает программы для управления и организации вычислительного процесса, обработки результатов, стандартных операций с набором данных, рассчитанных на широкий круг пользователей и поэтому ориенти-

рованных на решение часто встречающихся задач. Специальное ПО АСИ представляет совокупность программ, предназначенных для реализации одной функции или группы функций конкретной АСИ, что позволяет предусмотреть в нем все пожелания заказчика и специфику конкретного проекта, тем самым упростив интерфейс оператора и избавить его от сложной настройки программы во время работы.

Информационное обеспечение АСИ – нормативно-справочная документация, содержащая описание стандартных испытательных процедур, типовых управляющих решений, форму предоставления и организацию данных АСИ [2].

Типовой проект по разработке АСИ начинают с анализа недостатков существующей системы управления испытаниями и поиска путей их устранения. При разработке элементов системы стремятся к максимальной типизации решения, а также предусматривают условия ее дальнейшего развития и расширения после ввода в действие, что связано с расширением и усложнением спектра решаемых задач и с совершенствованием и обновлением используемых технических средств.

При разработки АСИ в каждом конкретном случае необходимо знать [2]: перечень контролируемых параметров; диапазоны измерения параметров; необходимую точность измерения; алгоритмы математической обработки данных; форму представления результатов измерения; требования к метрологическому обеспечению измерений и испытаний.

Специфику разработки АСИ рассмотрим более подробно на примере стенда, созданного ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг" (Москва) для проведения испытаний авиационных редукторов и карданных валов на крутящий момент. Данная разработка выполнена для ОАО "Воронежское акционерное самолетостроительное общество" (ОАО "ВАСО"). Задача заключалась в разработке механической конструкции, позволяющей производить быструю перенастройку стенда под различные типы редукторов и автоматизированной системы измерения и управления стендом, обеспечивающей гибкость в задании и выборе режима испытания. Стенд оборудован системой аварийной защиты от перегрузки образца испытаний по моменту, частоте вращения и температуре.

Техническое обеспечение АСИ включает привод с плавным изменением оборотов 0...500 об/мин и тормозное устройство, обеспечивающее нагрузку на изделие 0...20 кгс·м.

Математическое и программное обеспечение системы автоматического управления и регулирования обеспечивает выполнение закона (циклов) нагружения изделия по требуемой программе испытаний с максимальным допустимым отклонением $\pm 5\%$ от номинального значения частоты вращения и момента нагружения.

Архитектура системы

Рассмотрим нижний уровень системы. Измерение крутящего момента выполняется с использованием тензодатчика ТВ20К и усилителя-преобразователя

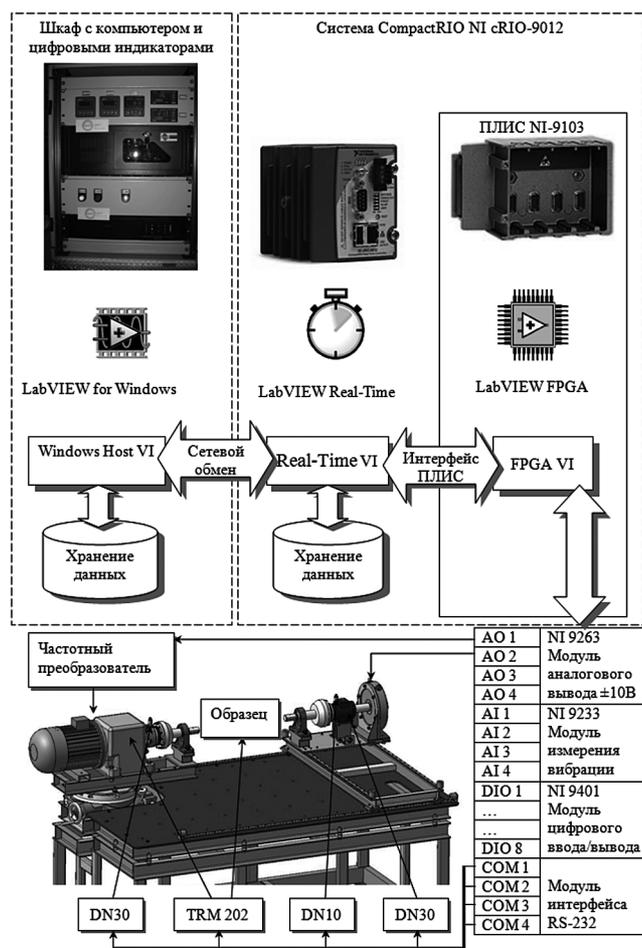


Рис. 1. Архитектура АСИ для проведения испытаний на крутящий момент

DN-10 производства DACELL. Частота вращения на выходе мотор-редуктора и испытуемого образца производится с помощью индуктивного датчика Холла подключенного к цифровому индикатору DN-30. Для измерения температуры в различных участках стенда используются термопары К-типа и измерители регуляторы ТРМ-202 производства ОВЕН. Данные, измеренные цифровыми индикаторами, через интерфейс RS-232 передаются в контроллер для дальнейшей обработки, сохранения и отображения. Использование пяти индикаторов с интерфейсом RS-232 оказалось достаточно для измерения данных с частотой дискретизации 10 Гц. Все используемые датчики и индикаторы внесены в Государственный реестр средств измерения, что существенно упростило дальнейшую аттестацию стенда.

Управление столь сложной системой нетривиально и требует применения ОС РВ. Средний уровень системы управления стендом (рис. 1) построен на платформе CompactRIO со встроенным контроллером РВ cRIO-9012 производства National Instruments. Система CompactRIO работает с четырехслотовым шасси NI-9103, содержащим программируемую ПЛИС, и поддерживает горячую замену промышленных модулей ввода/вывода.

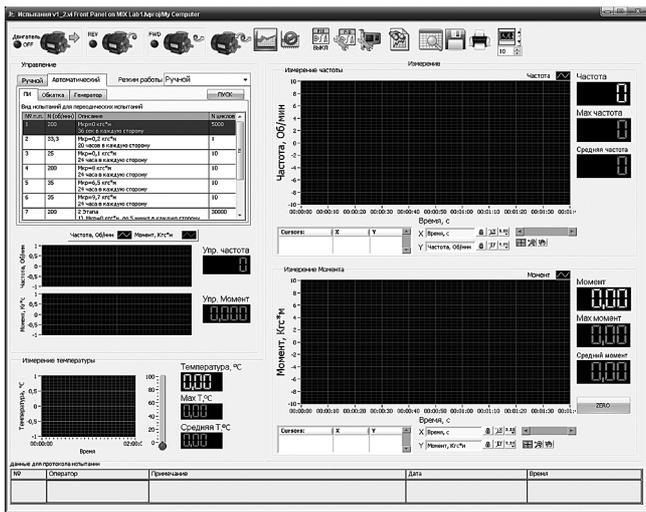


Рис. 2. Проведение испытаний

Эта недорогая архитектура предоставляет пользователям открытый доступ к низкоуровневым аппаратным ресурсам ПЛИС. В контроллере cRIO-9012 используется промышленный процессор класса Pentium II, работающий на частоте 400 МГц. Для резервного хранения измеренных данных к USB-хост порту контроллера подключена флэш-память объемом в 8 Гб. Контроллер управляется через локальную сеть Ethernet ПК с ОС Microsoft Windows XP.

Управляющие сигналы на частотный преобразователь и магнитопорошковый тормоз выдаются модулем аналогового выхода NI 9263 (± 10 В) и модулем цифрового ввода/вывода NI 9401 (TTL).

Контроллер, цифровые индикаторы и ПК собраны в компактный 19" шкаф.

В качестве средства разработки верхнего уровня системы была выбрана среда визуального программирования LabVIEW 8.5 (National Instruments). Этот пакет удачно подходит для разработки систем управления с большим числом каналов, сложной структурой и функционированием [3].

Разработанное ПО состоит из модулей: настройки стенда; проведения испытаний; просмотра данных и составления протокола испытаний.

Окно настройки включает следующие закладки: индикаторы (в данной закладке происходит настройка подключения индикаторов к контроллеру); сохранение; аварийное отключение; информация для протокола; настройка ПИД-регулятора.

Окно проведения испытаний изображено на рис. 2. Система управления автоматически стартует после запуска испытательного стенда и по запросу оператора выдает необходимые управляющие воздействия на агрегаты. Интерактивное управление стендовыми механизмами (мотор-редуктором и тормозом) реализовано в ручном и автоматическом режиме. В ручном режиме пользователь может проверять функционирование агрегатов стенда и выполнять их настройку.

Автоматическое управление процессом испытания обеспечивает подачу на исполнительные меха-

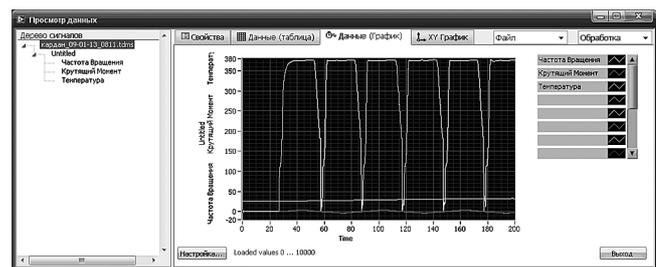


Рис. 3. Программа просмотра результатов измерений

низмы стенда требуемых по ходу испытания последовательностей управляющих команд и реализует циклы нагружения образца. Полностью автоматизированы процессы подготовки стенда и испытания: запуск двигателя, вывод стенда на заданный режим и останова стенда. При этом программа отслеживает управляющее воздействие по ПИД-закону и проводит контроль возможных аварийных ситуаций.

В БД законов нагружения находится около 20 готовых программ испытаний, для формирования дополнительных законов нагружения существует подпрограмма "Генератор".

Текущие уровни измерительных параметров отображаются на экране в виде цифровых индикаторов и графиков. Протокол испытания автоматически формируется в процессе испытаний и записывается на флэш-память контроллера и жесткий диск ПК.

Архив протоколов испытаний. Измеренные параметры представляются в табличном и графическом виде. В графической форме (рис. 3) представлены графики зависимости измеренных параметров от времени.

Подпрограмма просмотра данных позволяет производить обработку результатов измерений (фильтрацию, статистический анализ, построение спектра) и сохранение протокола испытаний в текстовом формате и формате электронных таблиц, например, Excel. Для детального исследования графиков служат функции масштабирования и межкурсорных измерений. Функция вывода на печать обеспечивает выдачу графических и табличных зависимостей на стандартные листы формата А4.

На примере рассмотренного решения видно, что при создании программно-аппаратных комплексов для АСИ используется типовая трехуровневая структура системы.

Отличительной чертой рассмотренного проекта от решений, применяемых в АСУТП, является специализация программно-аппаратного комплекса, оптимизированного на управление конкретным стендом и отработки необходимых пользователю программ испытаний. Причиной подобной специализации является то, что одной из основных задач, поставленных заказчиком, при разработке АСУ испытательного стенда являлось создание простого и интуитивно понятного интерфейса, отражающего привычный порядок взаимодействия оператора с конкретными техническими средствами испытательного стенда.

Конечный пользователь, как правило, старается избегать сложных настроек и конфигурирования ПО под

используемое оборудование, рассматривая ПО и алгоритм функционирования установки жестко привязанными к особенностям конкретного оборудования. Универсальность и гибкость настроек ПО в данном случае рассматривается как избыточная, так как функционал технических средств АСИ весьма ограничен и привязан к конкретным объектам и задачам испытаний.

С другой стороны, с точки зрения минимизации затрат разработчику системы выгодно использовать типизацию и унификацию объектов автоматизации на более высоком уровне, теряя в результате такой абстракции непосредственную связь с конкретными физическими объектами и наглядность.

Выходом из сложившегося противоречия, найденным ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг", является разработка специализированного ПО под определенные типовые задачи. Так, например, задача по крутящему моменту является типовой вне зависимости от того, в какой сфере она решается. Задача испытаний в сфере крутящего момента в целом сводится к решению задач:

- создание вращающего момента на испытуемом образце (задача управления приводом);
- измерение создаваемого в ходе испытания момента и частоты вращения (основных параметров);
- измерение дополнительных параметров (расходов, температур, давлений, вибраций и т.п.);
- обработка информации (интерфейс пользователя, отображение, хранение, построение зависимостей и т.п.).

Типовое решение по крутящему моменту может быть использовано вне зависимости от сферы деятельности заказчика (авиационная промышленность, автомобилестроение, космос, железнодорожный транспорт, кораблестроение, промышленность и т.д.).

Если типовое решение ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг" не позволяет полностью удовлетворить требования заказчика, возможна доработка решения под конкретную задачу.

Использование среды визуального программирования благодаря модульному принципу построения дает возможность унифицировать отдельные модули системы и характер их взаимодействия, а также позволяет быстро в отличие от традиционных способов программирования создавать приложения, обеспечивая возможность доработки типовых решений в минимальные сроки.

Блочная структура программно-аппаратных решений, используемых ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг", позволяет не только быстро и эффективно решать прикладные задачи, поставленные заказчиками, но и легко состыковывать типовые решения, обеспечивая переход в новое качество. Так, например, решение по крутящему моменту, описанное в статье, может быть аппаратно и программно состыковано с решениями по телеметрии, обеспечивая возможность бесконтактного съема измерительных данных с труднодоступных объектов.

Список литературы

1. Машиностроение. Энциклопедия. / Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др. III-7: Измерения, контроль, испытания и диагностика. / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; под общ. Ред. В.В. Клюева // М.: Машиностроение. 1996.
2. *Шишкин И.Ф., Сергушев Г.Ф.* Испытания и испытательное оборудование. Уч. пособие. СПб.: СЗТУ, 1999.
3. Технология виртуальных приборов – революционный подход к системам измерений и автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2004. № 10.

Ураков Алексей Анатольевич – ведущий инженер-программист,

Рылов Михаил Андреевич – инженер-программист,

Шутов Дмитрий Станиславович – канд. техн. наук, исполнительный директор,

Дорофеев Петр Григорьевич – канд. физ. мат. наук, менеджер ЗАО "НПП "МИКС Инжиниринг".

Контактный телефон (495) 276-04-72. E-mail: info@mix-eng.ru Http://www.mix-eng.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

**В.И. Клепиков, Д.С. Подхватилин, Ю.Н. Дудоров,
Г.В. Шарапов, Н.А. Захаров (ИТМ и ВТ им. С.А. Лебедева РАН)**

Описан программно-аппаратный комплекс для конфигурирования, сопровождения и диагностики систем управления авиационных двигателей и смежных устройств. Рассмотрено применение комплекса алгоритмов на основе банка фильтров Калмана для диагностирования параметрических отказов датчиков и исполнительных механизмов (ИМ).

Ключевые слова: контроллер интерфейсов, диагностический комплекс, система автоматического управления, контроллер шины, модель.

Развитие цифровых систем управления авиационным оборудованием и, в частности, силовой установкой самолета открыло новые возможности для их диагностики и сопровождения в эксплуатации. В процессе создания современной аппаратно-программной платформы для разработки САУ в ответственных приложениях [1] ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН разработан диагностический комплекс (ДК), пред-

назначенный для обеспечения эксплуатации систем управления, базирующихся на данной платформе.

ДК используется на аэродроме при обслуживании самолета. В его основу положен отечественный ноутбук в защищенном исполнении (рис. 1). Для подключения ДК к САУ двигателей и смежных устройств в его состав включен контроллер интерфейсов (КИ), построенный на основе процессорного модуля [1] и