

# Автоматизированные информационно-измерительные системы испытаний авиационных двигателей

Леонид Хаит, Вадим Солдатов, Евгений Егошин, Дмитрий Сошин, Руслан Ямалов

Описана автоматизированная информационно-измерительная и управляющая система испытаний авиационных двигателей. Обосновывается выбор аппаратных и программных средств системы, описана структура программного обеспечения и принципы его функционирования.

## Введение

Информационно-измерительные системы для автоматизации испытаний авиационных двигателей (далее АИИС) начали создаваться в начале 80-х годов. Целью их внедрения являлось повышение точности и достоверности оценки параметров двигателей, а также уменьшение времени, требуемого для их испытаний. Не секрет, что моторист, ведущий испытание, мог «поразному» смотреть на стрелку манометра или столбик водяного пьезометра, чтобы получить «нужный» результат. Программа выпуска авиационных двигателей была в то время достаточно велика, причем скапливались двигатели для испытаний чаще всего в конце месяца.

АИИС строились в то время на базе отечественной вычислительной и измерительной техники — на ЭВМ типа СМ-4, СМ-1420, микрокомпьютерах «Электроника-60» и других средствах, почти не знакомых молодым разработчикам АСУ ТП. Так же широко практиковалось создание самодельных интерфейсов ввода-вывода, изготавливавшихся в единичных экземплярах. Интересно, что одна такая система, внедренная на нашем предприятии 14 лет назад для испытаний авиадвигателей к знаменитым

истребителям СУ-27, успешно работает до сих пор и обеспечивает выполнение испытаний. Правда, работоспособность этой системы сохранена не из-за высокой надежности отечественных ЭВМ, а во многом благодаря мастерству обслуживающего персонала и большим запасам ЗИП.

После снятия «железного занавеса» при разработке новых АИИС произошел естественный переход на использование импортных компьютеров, средств измерения и программного обеспечения, так как отечественное их производство (прежде копирующее западную продукцию с большим отставанием) просто перестало существовать. Зато в руках у российских разработчиков начали появляться разнообразные и современные аппаратные и программные средства.

При создании нового поколения АИИС испытаний авиадвигателей к ранее реализованным функциям добавились новые требования:

- измерение параметров двигателя и стендовых систем в реальном масштабе времени. Традиционно измерению подлежат аналоговые сигналы разного типа (вольтового, милливольтового уровня, токовые), частотные сигналы от датчиков враще-

ния роторов двигателя и измерителей расхода топлива и других жидкостей, дискретные сигналы ввода-вывода. Отдельную группу представляют сигналы от вибродатчиков в частотных диапазонах до 300 Гц и до 10 кГц. В современных двигателях появились сигналы от синусо-косинусных датчиков положения, а также цифровые каналы передачи информации из встроенных электронных систем управления двигателем по различным протоколам (ARINC и т. п.);

- оценка расчетных (приведенных, отнесенных, газодинамических) параметров авиадвигателя в темпе испытаний на установившихся режимах работы — так называемые контрольные точки двигателя;
- оценка динамических параметров двигателя (приемистость, сбросы, включения-выключения специальных режимов работы) в темпе испытания;
- отображение измеряемых и расчетных параметров на один или несколько видеомониторов в текстовом и графическом виде, а также ведение печатного протокола испытаний на принтере;
- аварийное слежение за особо ответственными параметрами двигателя,

оперативное предупреждение моториста о приближении аварийной ситуации;

- ведение баз данных испытаний, запись и хранение значений параметров двигателя в ходе всех испытаний и далее сохранение этой информации в долговременных архивах;
- реализация управления технологическим процессом испытаний в ручном, полуавтоматическом, и автоматическом режимах, что требует управления РУД (ручкой управления двигателя) и другими системами двигателя и стенда, а также наличия некоторого технологического языка описания хода испытания;
- выдача рекомендаций мотористу в ходе испытания (например рекомендаций по оптимальной отладке параметров двигателя).

### Аппаратные средства

При выборе аппаратных средств новых АИИС основными условиями были применение вычислительной и изме-

рительной техники промышленного исполнения, а также применение исключительно серийно выпускаемых комплектующих и изделий.

Эти условия диктовались самой жизнью: конечно, можно применять (и сейчас применяются) персональные компьютеры офисного исполнения на испытательных стендах. Но вероятность их отказа из-за повышенной вибрации, шума, перепадов температур, бросков питания, электромагнитных помех достаточно высока. И тогда потери от порчи самого объекта испытания стоимостью многие сотни тысяч долларов многократно перекрывают «экономии» на промышленном исполнении компонентов АИИС.

По очевидным соображениям дешевле применять только стандартные покупные комплектующие, т. к. содержат квалифицированных разработчиков аппаратных средств и изготавливать их своими силами много дороже, чем приобретать готовые серийно выпускаемые, которые к тому же имеют высокое

качество, надежнее и богаче по функциональным свойствам.

Реальный опыт показал, что в АИИС необходимо применять также защиту по входу для измерительных каналов и каналов дискретного ввода-вывода. Из-за ошибок персонала в ходе технического обслуживания на входы измерительных каналов могут подаваться сигналы, многократно превышающие по напряжению или току допустимые для интерфейсов ввода-вывода значения, что грозит «выгоранием» плат ввода-вывода и выходом из строя компьютеров.

В конечном итоге разработчики аппаратных средств АИИС остановили свой выбор на применении промышленных компьютеров и плат ввода-вывода фирмы Advantech, микроконтроллеров и интерфейсов фирмы Octagon Systems, модулей нормализации и защиты Analog Devices, модулей дискретного ввода-вывода Grayhill. Этот выбор оказался нам оптимальным по стоимости, производительности и надежности.

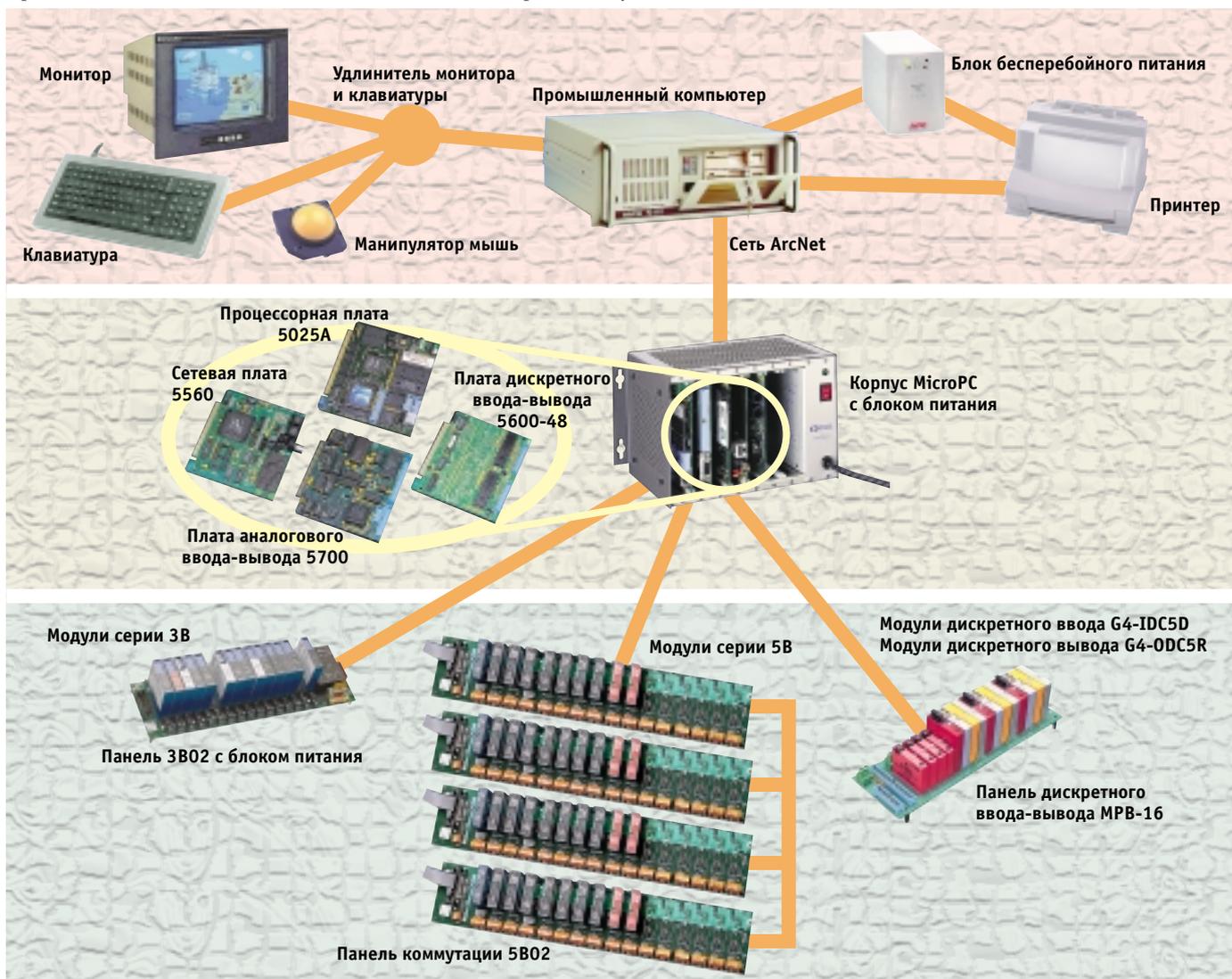


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы для испытаний авиационных двигателей



**Испытательная станция на юге Вьетнама**

Одна из спроектированных нами АИИС для испытаний двигателя P13-300 для известного истребителя МиГ-21БИС является двухуровневым комплексом (рис. 1).

На нижнем уровне применен контроллер MicroPC производства Octagon Systems в 6-позиционном крейте 5206 ТМ с процессорной платой 5025-486, платой аналогового ввода-вывода 5700, и сетевой платой ArcNet 5560 с ПЗУ. Аналоговые сигналы АИИС подключаются к плате АЦП-5700 посредством плоского кабеля САВ-1 через блоки коммутации 5В02 и установленные на них модули защиты и нормализации Analog Devices серии 5В. К параллельному порту LPT1 процессорной платы 5025А посредством плоского кабеля SMA-20 подключен блок дискретного ввода-вывода МРВ-16РС с установленными на нем модулями дискретного ввода-вывода IDC5D и ODC5R. Частотные сигналы от датчиков частоты вращения и расхода топлива подключены через модули преобразования «частота — аналоговый выход» 3В45-00 и 3В46-00, установленные на плату 3В02 с блоком питания АС1300Е.

Верхний уровень реализован на промышленном компьютере производства Advantech в корпусе IPC 610/350-14 с процессорной платой РСА-6146, сетевой платой ArcNet и видеоадаптером. Все оборудование, включая блок бесперебойного питания, размещено в одном шкафу. Видеомонитор, клавиатура и манипулятор мышь вынесены на панель пульта испытательного стенда с помощью стандартного удлинителя монитора/клавиатуры длиной 15 метров. Матричный принтер размещен на столике возле шкафа.

Данная АИИС смонтирована и запущена на испытательном стенде в г. Биень-Хоа, Вьетнам. В ходе монтажных, пусконаладочных работ и метрологической аттестации АИИС комплекс технических средств работал практически без серьезных сбоев и потерь данных.

### Программное обеспечение

Не менее ответственным был выбор системного и разработка прикладного программного обеспечения (ПО) АИИС.

на смену подходу «решить проблему любой ценой» приходит понимание того, что большие системы должны строиться на основе абсолютно стандартных и по возможности независимых «кубиков» (как выдержавший века способ кирпичной кладки).

Необходима операционная среда, поддерживающая многозадачность, обеспечивающая быструю реакцию программ на аппаратные прерывания и поддержку программных таймеров, а также объединяющая работу задач на нескольких компьютерах в одну программную систему.

Сделанный шесть лет назад выбор в пользу многозадачной сетевой операционной системы реального времени QNX оказался удачным и многократно себя оправдал.

ОС QNX является сетевой операционной системой, т.е. поддержка локальной сети на нескольких типах

интерфейсов встроена в саму ОС и не требует какого-либо специального ПО. В описанной АИИС связь между контроллером MicroPC и компьютером верхнего уровня поддерживается ОС QNX, причем MicroPC работает в бездискковой конфигурации. В момент включения контроллера управление передается в специальную программу ПЗУ сетевой платы ArcNet, которая контролирует загрузку ОС QNX с жесткого диска компьютера верхнего уровня и далее производит



**Кабина наблюдения**

Первый опыт работы на IBM PC совместимых ЭВМ и создание ПО одной из АИИС в среде DOS показал, что разработка сложных и многофункциональных систем в однозадачной среде не имеет перспектив: невозможно в одном исполняющем модуле совместить столь объемные и разноплановые функции, как измерение параметров в реальном времени, их обработка, индикация, протоколирование и архивирование данных и др. Применение «нанизанных» на программное прерывание модулей может понравиться только начинающему энтузиасту, со временем



**Шкаф с аппаратурой УСО**

автоматическую загрузку ОС QNX в контроллер MicroPC по сети. После загрузки ОС в компьютеры верхнего и нижнего уровня автоматически стартует прикладное программное обеспечение.

ОС QNX обеспечивает многозадачный режим работы прикладных программ с поддержкой приоритетной диспетчеризации задач и жесткое реальное время. Наконец, ОС QNX поддерживает механизм обмена сообщениями между задачами, в том числе между задачами, работающими на разных узлах сети. Межзадачные сообщения в ОС QNX позволяют строить взаимодействие задач по известной технологии клиент-сервер. Причем для прикладной программы неважно, расположена ли задача, с которой ведется обмен сообщениями, на том же компьютере (узле) или на любом другом узле сети QNX. Задачи-клиенты шлют сообщения известного формата задачам-серверам и в ответ получают сообщения с нужными им данными. Таким образом, объединенные в сеть компьютеры и контроллеры образуют единую многопроцессорную информационно-измерительную систему.

Кроме операционной среды, для разработки прикладного программного обеспечения применялась графическая система QNX Windows, обеспечившая интерфейс оператора АИИС, и СУБД Raima Data Manager RDM3.21, известная ранее как Db\_Vista.

Прикладное программное обеспечение АИИС, так же как аппаратуру, можно

условно разделить на несколько уровней (рис. 2). В центре прикладной системы работают задачи-серверы данных.

Сервер данных параметров АИИС **db\_param** отвечает на запросы всех других задач о текущей конфигурации АИИС. Запросы могут быть разнообразными: выдать главные записи всех параметров АИИС (содержащие имя параметра, формат индикации, цвета индикации, тип параметра по способу его измерения или вычисления



Испытательный бокс с двигателем

Второй сервер АИИС — сервер текущих значений параметров АИИС **receiver**. Его назначение — принимать сообщения от задач-измерителей о текущих цифровых кодах значений параметров, пересчитывать их в физические значения, а также отвечать на запросы всех других задач системы о текущих значениях параметров АИИС. Понятно, что в момент старта задача **receiver** обращается к задаче **db\_param** для первоначальной инициализации и настройки на текущую конфигурацию параметров АИИС.

На нижнем уровне ПО АИИС функционируют задачи-измерители. Их назначение — обслуживать соответствующие типы интерфейсов, обеспечивая измерения и отправку в **receiver** значений параметров в реальном времени. Перед началом работы задачи-измерители обращаются в **db\_param** за аппаратной конфигурацией нужных параметров. Каждая из задач-измерителей присоединяет один или несколько программных таймеров ОС QNX и далее выполняет измерения каждый раз, когда приходит сигнал от собственного таймера. Таким образом, выполнение измерений с заданной частотой и отправка их в сервер текущих значений параметров АИИС выполняются по инициативе самих измерителей. В описываемой АИИС работают программа-измеритель **m\_analog**, обеспечивающая соответственно ввод-вывод аналоговых сигналов, и задача **m\_sample**, обеспечивающая ввод-вывод дискретных сигналов.

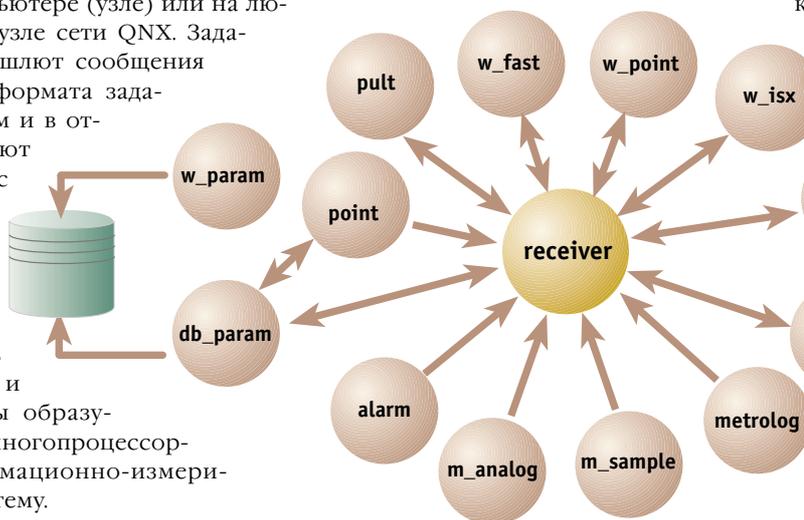


Рис. 2. Структура программного обеспечения АИИС

и др.), выдать метрологическую информацию (коэффициенты нормирующего полинома, способ учета температуры холодного спая для термопары и др.), выдать значения допуска параметра по техническим условиям испытаний (ТУ), а также границы его предаварийного и аварийного значений на разных режимах работы двигателя, выдать информацию о номере канала коммутатора, номере усилителя, номере дискретного канала ввода-вывода для организации измерения параметров.



Двигатель в режиме «Полный форсаж»



На условном верхнем уровне ПО АИИС работают задачи, выполняющие отдельные технологические функции испытательного авиадвигателя. Каждая из таких задач работает по сигналам от присоединенных к ним программных таймеров ОС QNX либо от сообщений, поступающих от оператора АИИС (с клавиатуры или от манипулятора мышь).

Задача **pult** является объединяющей программой АИИС. Она поддерживает запуск и активизацию всех других задач АИИС, а также вывод и «оживление» основных мнемосхем отображения параметров АИИС. Благодаря графической системе QNX Windows, каждый параметр может быть представлен в виде цифрового табло, слайдера, ползунка, стрелки и т.п. Цвет и фон индикации параметра задаются в базе данных параметров и получаются в момент инициализации задачи **pult** из задачи **db\_param**.

Специализированные задачи **point**, **w\_point**, **w\_fast** обеспечивают расчет параметров, оценку параметров на контрольных точках и переходных режимах работы двигателя в темпе испытаний. Задача **alarm** выполняет слеже-

ние за аварийными параметрами двигателя и вывод предупреждающих и аварийных сообщений на экран монитора и в протокол испытаний. Задача **db\_jet** обеспечивает ведение архива испытаний, запись текущих значений параметров, результатов обработки всех контрольных точек и переходных режимов, а также вывод аварийных и предупреждающих сообщений на протяжении всего хода испытаний двигателя. Задача **recorder** позволяет просматривать результаты испытаний, «прокручивать» их в нормальном или ускоренном темпе, в прямом или обратном направлении так, как будто выполняются реальные испытания. Задача **metrolog** обеспечивает выполнение градуировок и исследований метрологических характеристик измерительных каналов АИИС. Задача **w\_isx** обеспечивает ввод исходных данных испытаний.

### Что дальше?

Время не стоит на месте, и на рынке появляются все новые программные и аппаратные средства для построения АИИС. Приятным для нас открытием

стало появление модулей 5B45, 5B46 для преобразования «частота - аналог», а также активных модулей серии 5B, обеспечивающих ввод токовых сигналов 4-20 мА и одновременно питающих датчики давления типа «Сапфир», «Метран» и др. Вообще применение модулей серии 5B кажется нам более предпочтительным, т.к. модули серии 5B обеспечивают высокую точность преобразования не хуже 0,025%, а архитектура системы становится стройной, т.к. до 64 аналоговых сигналов можно коммутировать на одну плату аналогового ввода-вывода.

В ОС QNX появилась новая мощная графическая система Photon, не уступающая по красоте и гибкости интерфейсу Windows 95, но обеспечивающая работу приложений в реальном времени. А Raima выпустила новую 32-разрядную версию СУБД RDM++4.5.1 для ОС QNX. Все это позволяет разработчикам автоматизированных информационно-измерительных систем предлагать пользователям решения с улучшенными технико-экономическими показателями. ●