

Создание систем автоматизированного сбора экспериментальных данных на аэродинамических трубах*

В. И. ЗАПРЯГАЕВ², В. В. ГАРКУША¹, В. М. ГИЛЕВ², А. С. МИШНЕВ¹,
Г. М. СОБСТЕЛЬ¹, В. В. ЯКОВЛЕВ¹

¹Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН
Новосибирск, Россия

²Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: zapr@itam.nsc.ru, vgarkusha@kti.nsc.ru, gil@itam.nsc.ru

Рассмотрены разработки, выполненные КТИ ВТ СО РАН и ИТПМ СО РАН: автоматизированные системы управления и сбора экспериментальных данных для научных исследований, выполняемых на сверх- и гиперзвуковых аэродинамических трубах ИТПМ СО РАН, автоматизированная система управления технологическими процессами турбокомпрессорной станции.

Ключевые слова: система сбора данных, магистрально-модульная система, сбор экспериментальных данных, управление аэродинамической трубой, автоматизация научного эксперимента.

Введение

В Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (ИТПМ СО РАН) ведутся экспериментальные исследования в области современной сверх- и гиперзвуковой аэродинамики. Один из основных методов исследований — моделирование изучаемых процессов и явлений в аэродинамических трубах. Для эффективного проведения экспериментов в ИТПМ СО РАН более 40 лет назад стали создаваться системы автоматизации научных исследований сначала на мини- и микроЭВМ, а затем на персональных компьютерах. Значительная часть этих систем выполнена в популярном ранее стандарте КАМАК, позволяющем благодаря широкой номенклатуре модулей создавать гибкие и эффективные информационно-измерительные комплексы.

К 2000 г. стандарт КАМАК морально и физически устарел, модули выходили из строя, для их ремонта требовались значительные материальные и людские ресурсы. В то же время на рынке появились более совершенная элементная база, измерительные устройства, современное программное обеспечение. Был поднят вопрос о модернизации существующих систем и выработке новых подходов к созданию перспективных систем автоматизации с широким применением микропроцессорной техники, средств телекоммуникационной связи, опирающихся на современные программные средства и технологии.

*Работа выполнена при поддержке Интеграционных проектов СО РАН № 91 и № 179, РФФИ (гранты № 07-07-00134, № 10-07-00469, № 11-07-00483, № 13-07-00440), программ Импортзамещение СО РАН 2006, 2010, 2011 и 2012 гг.

Для развития средств автоматизации экспериментальных исследований в области аэродинамики была создана объединённая комиссия ИТПМ СО РАН и Конструкторско-технологического института вычислительной техники СО РАН (КТИ ВТ СО РАН). На основе сформированных принципов построения автоматизированных систем и с учётом возможности приобретения технических средств зарубежного производства было принято решение провести в КТИ ВТ СО РАН новые разработки, которые позволили бы последовательно реализовать все требования исследователей по созданию автоматизированных систем управления аэродинамическим экспериментом.

Актуальность проведения работ по модернизации и унификации систем автоматизации комплекса аэрофизических экспериментальных установок обусловлена следующими обстоятельствами:

- стремлением поддержать на современном уровне международную значимость имеющегося в ИТПМ СО РАН комплекса аэродинамических труб, обеспечивающих широкий диапазон реализуемых параметров потока (чисел Маха и Рейнольдса);
- необходимостью повышения точности и достоверности получаемой экспериментальной информации;
- моральным и физическим старением используемых средств автоматизации;
- необходимостью увеличения информационной ёмкости проводимых экспериментов, что вызвано потребностью сокращения времени работы установок для уменьшения объёма расходуемых энергоресурсов;
- стремлением к увеличению гибкости используемых систем автоматизации научного эксперимента для уменьшения времени подготовки эксперимента.

За прошедшие 10 лет создано несколько автоматизированных комплексов для различных экспериментальных установок ИТПМ СО РАН.

1. Система автоматизации эксперимента в сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-313

Аэродинамическая труба Т-313 является наиболее крупной сверхзвуковой аэродинамической трубой не только в ИТПМ СО РАН, но и в Российской академии наук. Эта установка периодического действия с диапазоном чисел Маха от 1.75 до 7.0 составляет основу экспериментальной аэродинамической базы для проведения исследований в области фундаментальной и прикладной аэрогазодинамики. Учитывая большую значимость этой установки и проводимых на ней исследований, было принято решение начать разработку системы автоматизации именно для неё. Структура системы разрабатывалась с учётом возможности расширения круга решаемых задач, удобства её эксплуатации и надёжности. Вследствие этого в системе чётко выделены шесть отдельных подсистем, объединённых внутренней локальной сетью передачи данных в единое информационное пространство [1]. На рис. 1 представлена структура окончательного варианта системы автоматизации аэродинамической трубы Т-313, на рис. 2 приведены внешний вид пульта управления этой трубой и шкафы нескольких реализованных подсистем сбора данных, созданных в рамках выполнения совместных работ. В состав пульта входит автоматизированное рабочее место (АРМ) инженера-исследователя и АРМ оператора, управляющего работой установки во время проведения эксперимента, а также несколько подсистем.

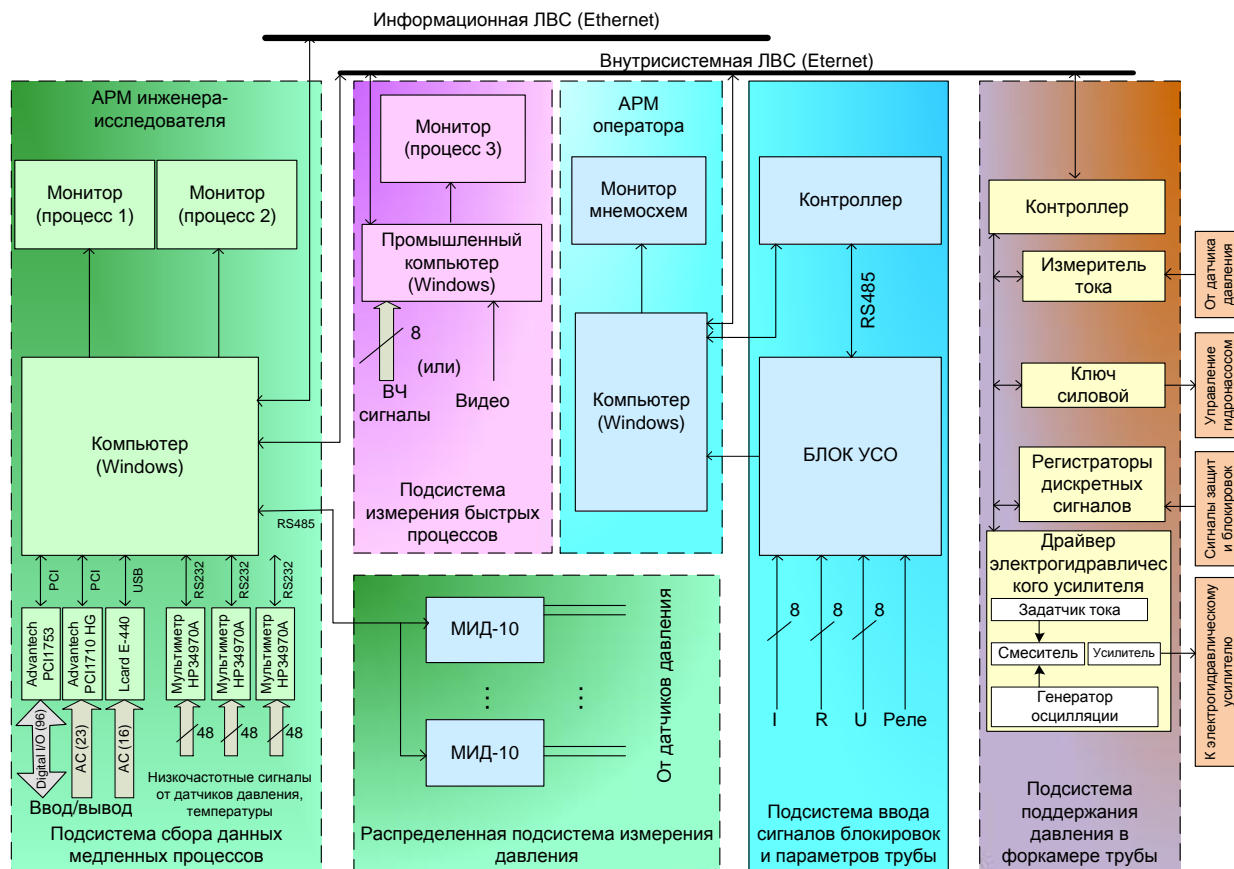


Рис. 1. Структура системы автоматизации трубы Т-313



а



б

Рис. 2. Пульт управления трубой Т-313 (а) и шкафы сбора данных (б)

2. Система автоматизации эксперимента гиперзвуковой аэродинамической трубы Т-326

На гиперзвуковой аэродинамической трубе Т-326 проводятся исследования по решению ряда важных технических задач, таких как струйные течения воздушно-реактивных и ракетных двигательных установок, применение их в промышленных эжекторах и др.



Рис. 3. Система автоматизации трубы Т-326

Возникают задачи, в которых струйные течения могут иметь сложную трёхмерную структуру. Такие течения сопровождаются интенсивными пульсациями газодинамических параметров потока, что существенно затрудняет его изучение методами численного моделирования и вызывает необходимость проведения экспериментального исследования с перемещением измерительного зонда по заданной пространственной сетке с целью получения детальной картины течения в исследуемой области.

Труба Т-326 существенно меньше по габаритам и количеству исследуемых параметров, чем Т-313, и поэтому все аппаратные средства системы управления и сбора данных этой аэродинамической установки реализованы компактно в одном шкафу (рис. 3), включая рабочее место экспериментатора. Одним из важных компонентов системы автоматизации трубы Т-326 является высокоточная подсистема трёхосевого позиционирования, применяемая для позиционирования и перемещения зонда в рабочей части аэродинамической трубы по заданной программе [2]. Данная подсистема позволяет задавать алгоритм перемещения зонда по трём координатам для конкретных экспериментов, в том числе по сложной траектории одновременно по всем трём координатам, как в ручном режиме от ручного пульта управления, так и в автоматическом от рабочего места экспериментатора. Механическая часть подсистемы представляет собой смонтированную на жёстком основании конструкцию из трёх взаимно-перпендикулярных узлов — координаты X , Y и Z .

Перемещение данных узлов относительно друг друга осуществляется на прецизионных рельсовых направляющих качения с помощью привода перемещения, выполненного в виде шариковинтовой пары и шагового двигателя. Сочетание прецизионных рельсовых направляющих качения в качестве опоры конструкций координат и шариковинтовой пары в качестве привода перемещения, а также высокоточное определение позиции по координатам позволило обеспечить точность позиционирования ± 20 мкм по координатам X , Y , Z в диапазоне перемещения ± 100 мм.

3. АСУ ТП турбокомпрессорной станции

Турбокомпрессорная станция (ТКС) ИТПМ СО РАН является значимым объектом в инфраструктуре ННЦ СО РАН. Она обеспечивает организации СО РАН сжатым воздухом и оборотной водой, поэтому важно иметь надёжную автоматизированную систему контроля за технологическим оборудованием ТКС и налаженный достоверный учёт выработки объёмов сжатого воздуха и оборотной воды, который производился ранее вручную с большой погрешностью вычислений. Для организации эффективной работы станции специалистами КТИ ВТ СО РАН и ИТПМ СО РАН создана автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) ТКС [3], построенная иерархически по распределённому принципу и состоящая из трёх уровней: верхний уровень — представление информации на экранах автоматизированных рабочих мест, архивация данных и технологических сообщений; средний уровень — ввод сигналов от датчиков, их обработка и трансляция в АРМы — шкафы программируемых контроллеров сбора данных; нижний уровень — формирование сигналов от первичных датчиков, соответствующих значениям измеряемых физических параметров. Разработка программного обеспечения АРМ осуществлялась на операционной системе Microsoft Windows, прикладное программное обеспечение среднего уровня реализовано на операционной системе реального времени QNX 4.25.

На рис. 4, *а* представлены шкафы программируемых контроллеров сбора данных АСУ ТП ТКС, включая подсистему резервной индикации, на рис. 4, *б* приведён внешний вид АРМ оператора.

Отображение на автоматизированных рабочих местах состояния технологического оборудования ТКС в виде мнемосхем, таблиц и графиков позволяет получать качественную и своевременную информацию о работе оборудования, повышает эффективность принятия управленческих решений, снижает вероятность появления ошибок при пуске и эксплуатации оборудования ТКС и, как следствие, повышает оперативность принятия решений в экстренных ситуациях.

Выполнение проекта позволило реализовать не только современную автоматизированную информационно-измерительную систему, но и оснастить агрегаты ТКС самыми современными надёжными первичными датчиками взамен устаревшего КИПиА, установленного более 30 лет назад и имеющего низкую надёжность и ремонтпригодность.

*а**б*

Рис. 4. Шкафы сбора данных АСУ ТП ТКС (*а*) и АРМ оператора (*б*)

4. Система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой адиабатического сжатия АТ-304

Гиперзвуковая аэродинамическая труба адиабатического сжатия АТ-304 — установка кратковременного действия со временем проведения эксперимента в несколько сотен миллисекунд. Она позволяет моделировать движение различных летательных аппаратов вплоть до космических скоростей полёта.

Для создания систем управления и высокоскоростных синхронизированных средств сбора данных для этой трубы нужны были новые аппаратные средства. Применяемые в вышеупомянутых системах уже не удовлетворяли требованиям по быстродействию, поэтому для создания аппаратуры сбора данных нового поколения в КТИ ВТ был предложен магистрально-модульный подход [4], который вобрал в себя опыт используемых стандартов автоматизации, таких как КАМАК, CompactPCI, VME и др. В результате реализации этого подхода в рамках программы «Импортозамещение СО РАН» разработан аппаратно-программный комплекс АПК-2010 и, как развитие его, информационно-измерительный комплекс ИИК-2011, составившие основу новых информационно-измерительных и управляющих систем, в частности, для аэродинамической трубы АТ-304 [5, 6]. В составе этих комплексов уже разработана большая номенклатура измерительных и управляющих модулей, которая может быть расширена при возникновении новых задач. Непосредственное управление модулями производится по магистрали с помощью контроллера управления, принимающего команды через интерфейс Ethernet от АРМ инженера-исследователя. В настоящее время завершены работы по созданию системы управления источником рабочего газа данной установки на базе АПК-2010 и системы сбора экспериментальных данных на базе ИИК-2011.

На рис. 5 приведена структура системы на основе аппаратно-программного комплекса АПК-2010. Разработанная аппаратура и программное обеспечение являются универсальным средством создания систем автоматизации современного уровня.

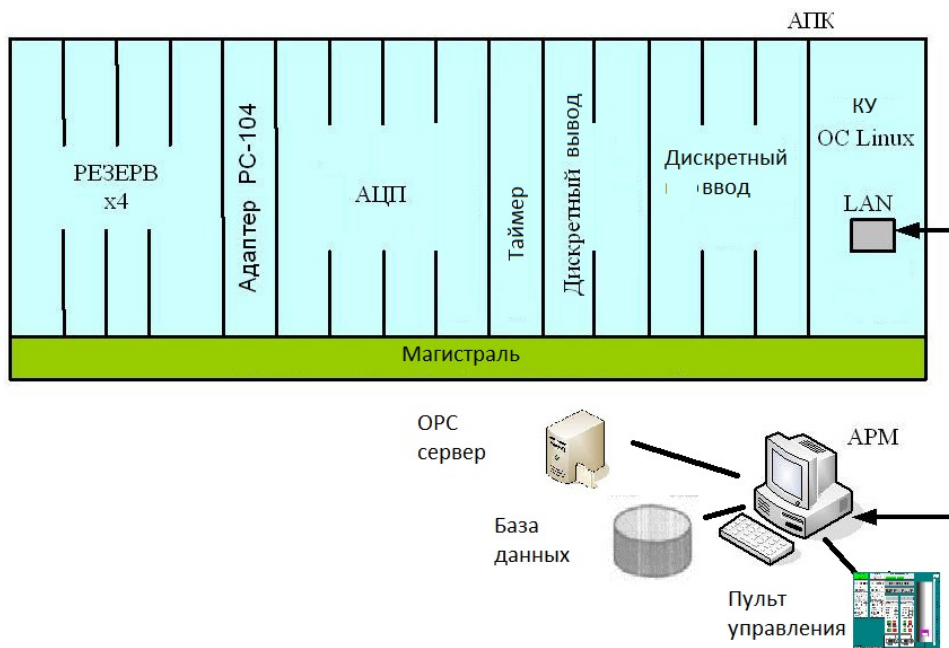


Рис. 5. Структура АПК-2010

5. Система управления и сбора данных аэродинамической трубы кратковременного действия “Транзит-М”

Аэродинамическая труба “Транзит-М” — установка кратковременного действия. От предыдущих труб её отличают значительно меньшие энергозатраты (на несколько порядков) и более простое обслуживание (обслуживающий персонал 1–2 чел). Продолжительность эксперимента в ней составляет всего 0.1–0.5 с, однако в связи с кратковременным режимом работы к аппаратно-программным средствам системы управления и сбора данных предъявляются существенно более жёсткие требования.

Идеологической основой для создания системы автоматизации данной установки послужили аппаратно-программные комплексы АПК-2010, ИИК-2011 гиперзвуковой аэродинамической трубы АТ-304 и пульт управления сверхзвуковой аэродинамической трубой Т-313, разработанные КТИ ВТ по программе “Импортозамещение СО РАН” в предыдущие годы. Эти заделы позволили создать в короткое время и в полном объёме пульт управления и сбора данных для импульсной аэродинамической установки “Транзит-М”, который полностью совместим на аппаратном и программном уровне с системами подготовки и проведения эксперимента для гиперзвуковой аэродинамической трубы адиабатического сжатия АТ-304, выполненной на базе вышеупомянутых комплексов. Для автоматизации этой установки разработано несколько дополнительных модулей к имеющимся в номенклатуре АПК. На рис. 6 представлен пульт управления установкой “Транзит-М”, в котором располагаются все аппаратные средства системы управления и сбора данных.



Рис. 6. Пульт управления установкой “Транзит-М”

Заключение

За 10-летний период сотрудничества КТИ ВТ СО РАН и ИТПМ СО РАН совместными усилиями специалистов обоих институтов создан целый спектр информационно-измерительных комплексов, предназначенных для автоматизированного сбора экспериментальных данных и управления различными экспериментальными установками. Предложенные магистрально-модульные средства могут найти применение в самых разнообразных сферах науки и техники и, таким образом, повысить эффективность создания и использования перспективных систем автоматизации.

Список литературы

- [1] ЗАПРЯГАЕВ В.И., ГИЛЕВ В.М., ПЕВЗНЕР А.С. и др. Автоматизированные системы сбора и обработки экспериментальных данных в аэродинамических трубах периодического действия // Проблемы и достижения прикладной математики и механики: к 70-летию акад. В.М. Фомина: сб. науч. тр. / ред. кол.: А.В. Федоров (отв. ред.) и др. Новосибирск: Параллель, 2010. С. 183–192.
- [2] ЗАПРЯГАЕВ В.И., ПЕВЗНЕР А.С., ТЮТИН А.А. и др. Подсистемы позиционирования, используемые в аэродинамических установках периодического действия // Информационные и математические технологии в науке и управлении: Тр. XV Байкал. Всерос. конф. Ч. 3. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2010. С. 172–179.
- [3] ГАРКУША В.В., СОБСТЕЛЬ Г.М., СУРОДИН С.П. и др. АСУ ТП турбокомпрессорной станции ИТПМ СО РАН // Пробл. информатики. 2009. № 3. С. 85–93.
- [4] ГАРКУША В.В., ГИЛЕВ В.М., МИШНЕВ А.С. и др. Магистрально-модульный подход к созданию унифицированной системы автоматизации научных исследований и управления технологическими процессами // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2012: сб. науч. тр. Вып. 2. Т. 4. Одесса: КУПРИНЕНКО, 2012. С. 40–43.
- [5] ГИЛЕВ В.М., ГАРКУША В.В., МИШНЕВ А.С. и др. Аппаратно-программный комплекс для создания систем автоматизации // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 6–9.
- [6] GILYOV V.M., GARKUSHA V.V., ZVEGINTSEV V.I. ET AL. Structure of data acquisition system of experimental researches in the hypersonic wind tunnel // 16th Intern. Conf. on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR'2012). Kazan, 2012. P. 110–111.

Поступила в редакцию 29 ноября 2013 г.