

3. Baturin A.A., Gilyov V.M., Dobrovolskaya T.N., Klinkov S.V., Kosarev V.F., Sova A.A. Computerization system for investigation of cold gasdynamic spraying processes // Intern. Conf. on the Methods of Aerophys. Research: Proc., Pt. III. Novosibirsk, 2007. – P. 22–26.

4. Гаркуша В.В., Запрягаев В.И., Певзнер А.С., Яковлев В.В., Яковлева Н.В. Автоматизированная система сбора, хранения и обработки экспериментальных данных // 16th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2012) (Kazan–Novosibirsk, Russia, 19–25 Aug., 2012): Abstracts. Pt. 1. – Kazan, 2012. – P. 102–103.

### АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОМ РАБОЧЕГО ГАЗА ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

<sup>1</sup>Гилев В.М., <sup>1</sup>Звегинцев В.И., <sup>1</sup>Шиплюк А.Н.,  
<sup>1</sup>Шпак С.И., <sup>2</sup>Гаркуша В.В., <sup>2</sup>Мишнев А.С.,  
<sup>2</sup>Яковлев В.В.

<sup>1</sup>Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск,  
e-mail: gil@itam.nsc.ru;

<sup>2</sup>Конструкторско-технологический институт  
вычислительной техники СО РАН, Новосибирск,  
e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru

В данной работе представлена система управления источником рабочего газа новой оригинальной установки – создаваемой в ИТПМ СО РАН гиперзвуковой аэродинамической трубы адиабатического сжатия АТ-304. Рассмотрена структура системы управления, построение её программного обеспечения, показаны основные информационные потоки.

Для проведения научных исследований в области сверх- и гиперзвуковой аэродинамики в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН в настоящее время создается новая уникальная экспериментальная установка кратковременного действия – гиперзвуковая аэродинамическая труба адиабатического сжатия АТ-304, которая позволит моделировать обтекание перспективных летательных аппаратов вплоть до космических скоростей полета [1]. Данная установка после ввода ее в эксплуатацию будет иметь рекордные аэродинамические характеристики, существенно превосходя по ряду параметров многие не только отечественные, но и зарубежные установки подобного класса.

Важной составной частью установки является система подготовки рабочего газа, обеспечивающая получение рабочего газа (воздуха) с давлением 3000 атм. и температурой 2500 К. Технологический процесс подготовки рабочего газа заключается в следующем. Рабочий газ перед началом эксперимента через электрический подогреватель кауперного типа подается в адиабатический нагреватель, представляющий собой два цилиндра, с поршнями, соединенными штоком. После прохода поршней по цилиндрам адиабатического нагревателя весь рабочий газ оказывается в силовом цилиндре. Далее открывается затвор, и поршни силового цилиндра на-

чинают сближаться и сжимать газ до значений в 2000–3000 атм. и температуры 2500 К.

Во время подготовки рабочего газа в реальном времени необходимо производить автоматическое измерение нескольких десятков физических параметров (давления, температуры, тепловые потоки и т.п.) в различных технологических точках установки. В процессе подготовки установки к эксперименту необходимо управлять ее различными исполнительными механизмами: клапанами, задвижками, вентилями и др., а также производить измерения технологических параметров. Для этих целей была разработана представленная в данном проекте автоматизированная система подготовки и проведения эксперимента, с помощью которой обеспечивается управление источником рабочего газа данной аэродинамической трубы.

**1. Структура автоматизированной системы.** Система автоматизации источника рабочего газа (ИРГ) на аэродинамической установке АТ-304 состоит из следующих элементов:

- физическая установка ИРГ с датчиками и исполнительными механизмами;
- сигнальные линии связи;
- аппаратно-программный комплекс АПК-2010;
- локальная сеть Ethernet;
- АРМ оператора (рабочее место оператора и сервер баз данных БД).

Информационные и управляющие сигналы с датчиков и исполнительных механизмов по сигнальным линиям связи поступают в модули ввода-вывода аппаратно-программного комплекса АПК-2010.

В рамках данного проекта авторами из КТИ ВТ СО РАН совместно со специалистами ИТПМ СО РАН был предложен магистрально-модульный подход [2] и на его основе разработан аппаратно-программный комплекс (АПК), предназначенный для построения систем автоматизации нового поколения. Система подготовки рабочего газа аэродинамической трубы содержит два уровня, которые связаны между собой посредством локальной компьютерной сети. На нижнем уровне размещается аппаратура, как для измерения текущих технологических параметров установки, так и для управления исполнительными механизмами аэродинамической трубы.

Для обеспечения необходимого быстродействия в рамках создания АПК разработана оригинальная магистраль каркаса с параллельными шинами адреса и данных, и все аппаратные устройства сбора данных и управления (модули) системы автоматизации, установленные в каркас, подключаются к этой магистрали. Управление модулями осуществляются с использованием программного обеспечения, устанавливаемого на любом компьютере или рабочей станции, работающей под любой операционной системой, через Контроллер Управления

(КУ) каркаса. В магистрали так же присутствуют общие сигналы, которые могут использовать все модули, такие как: общая тактовая частота; сигнал синхронизации, формируемый от внешнего события и другие, по желанию пользователя. Минимальная длительность цикла обмена по магистрали каркаса – 1 мкс.

Другой отличительной особенностью АПК является возможность управления оборудованием по заранее заданным алгоритмам с установленными временными интервалами (так называемые «цепочки команд»). Дискретность задания временного интервала составляет 1 мс. Абсолютная погрешность формирования временной метки исполнения команды не превышает 300 мкс.

Основой АПК являются модули ввода/вывода, устанавливаемые в каркас евростандарта 6U (евромеханика), который может использоваться и в настольном исполнении, и располагается в 19-дюймовом шкафу.

В АПК-2010 помимо КУ используются также следующие типы модулей:

- 16-канальный приемник дискретных сигналов напряжением до 220 В;
- 16-канальный модуль управления, предназначенный для коммутации сигналов тока не более 5 А при напряжении до 220 В;
- 8-канальный модуль измерения аналоговых сигналов, предназначенный для 16-разрядной оцифровки сигналов напряжения в диапазоне от –1 до +1 В, при полосе пропускания 10 кГц, частота выборки до 100 кГц, с программной настройкой множителя предварительного усилителя 1x, 10x, 100x, 1000x, буферная память 32 кСл/канал;
- 8-канальный модуль приема сигналов с кодовых датчиков, предназначенный для приема числоимпульсных сигналов;
- модуль таймера, предназначенный для ввода/вывода внешних сигналов синхронизации, а также формирования общих сигналов синхронизации магистрали.

**2. Программное обеспечение АПК.** Программное обеспечение (ПО) АПК состоит из пользовательского ПО, работающего на АРМ и ПО контроллера управления каркасом.

Программное обеспечение верхнего уровня (АРМ) может быть создано с использованием любого языка программирования и работать под любой операционной системой, удобной пользователю, включая такие программные пакеты автоматизации научного эксперимента, как система LabView, без использования дополнительных библиотек. Через локальную сеть по протоколу UDP пользователю предоставляется унифицированный доступ к каркасу АПК с подробным описанием регистров управления каждого типа модуля.

Для удобства доступа к АПК-2010 также был реализован **ОПС-сервер** с поддержкой OPC

DA (Data Access) v.2 (v.1) для взаимодействия с OPC клиентом, в данном случае с АРМ оператора. В этом стандарте была введена поддержка асинхронного обмена данными, который позволяет продолжать выполнение программы без ожидания ответа от интерфейса контроллера, снижая тем самым, нагрузку на ПО АРМ оператора. Однако, практическая эксплуатация показала нецелесообразность применения данного подхода для решения задач автоматизации научного эксперимента, вследствие чего протокол обращения к OPC-серверу был заменен на протокол прямого доступа к шине модулей АПК.

Программное обеспечение нижнего уровня (контроллера управления) работает под операционной системой Linux и состоит из следующих функциональных блоков:

- модуль интерфейса «UDP-сервер»;
- модуль логического уровня протокола «UDPBUS»;
- драйвер шины каркаса «USOBUS»;
- диспетчер цепочек команд;
- управляющая подпрограмма.

Модуль интерфейса «UDP-сервер» после установки соединения с управляющим компьютером передает принятые данные управляющей подпрограмме.

Модуль логического уровня протокола «UDPBUS» получает от UDP-сервера пакет данных, интерпретирует команду и параметры обращения и, выполнив соответствующие действия, управляет ответный пакет обратно в модуль интерфейса UDP-сервера.

Диспетчер цепочек команд в выделенный ему управляющей подпрограммой квант времени проверяет наличие исполняемых цепочек команд, декрементируя счетчик ожидания исполнения следующей команды цепочки, и при достижении нужного момента времени передает текущую задачу и информацию о клиенте, установившего эту цепочку, в модуль логического протокола «UDPBUS» для исполнения. Максимальное количество одновременно исполняемых цепочек – 16.

Управляющая подпрограмма осуществляет синхронизацию всех программных модулей, формирует вектор собственных обработчиков команд логического протокола, включая заполнение цепочек команд.

**3. Автоматизированное рабочее место оператора.** Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора представляет собой пульт управления работой системы с удаленного компьютера. Основное окно интерфейса оператора разделено на три функциональных блока и содержит следующие компоненты:

- мнемосхему, на которой отображается текущее состояние всех основных узлов АТ-304 – давлений и температур в емкостях и трубопроводах воздушных и жидкостных магистралей, положение подвижных частей (поршней цилиндров), состояние задвижек и электроклапанов;

– блок вызова дополнительных процедур, определяющих текущие настройки системы и выполняющих функции просмотра и контроля результатов;

– блок обслуживания процессов подготовки АТ-304 к очередному эксперименту.

Программа-интерфейс оператора выполнена в системе LabView, которая позволяет достаточно просто осуществлять работу с модулями ввода-вывода АПК и сервером БД на уровне встроенных стандартных блоков, и имеет большой набор готовых «виртуальных инструментов» для задач автоматизации научного эксперимента.

**4. Сервер баз данных.** В качестве сервера баз данных используется СУБД SQLite v. 3.7.5. Эта СУБД позволяет с помощью SQL запросов и команд создавать, редактировать и заполнять как сами базы данных, так и их отдельные элементы непосредственно из программ пользователя или с удаленных компьютеров. В Базе данных в виде таблиц содержится вся информация по физическим устройствам, включенным в состав АСУ.

Технически сервер БД и АРМ оператора располагаются на одном компьютере с достаточно большой производительностью и ресурсами, связанного с АПК-2010 и с локальной компьютерной сетью института.

#### Заключение

Таким образом, в данной работе представлена система управления источником рабочего газа аэродинамической установки АТ-304 ИТПМ СО РАН, реализованная на базе разработанного в КТИ ВТ универсального АПК, объединяющего в себе высокую производительность сбора данных и гибкую настройку под конкретную задачу научного эксперимента. Подключение системы управления к физической установке позволило управлять процессом подготовки рабочего газа в автоматическом режиме работы, по заранее заданным исследователем алгоритмам.

При этом на практике проверена идея разработчиков АПК о возможности дальнейшего масштабирования и наращивания системы автоматизации аэродинамического эксперимента, построенного на базе АПК, включая возможность создания больших распределенных систем синхронного высокоскоростного сбора данных) с иерархическим управлением объектом автоматизации. Обеспечена возмож-

ность дальнейшего расширения номенклатуры устройств сопряжения с объектом, а также применения серийно выпускаемого оборудования сторонних производителей без необходимости разработки программ-драйверов доступа к вновь интегрированным устройствам. Заложена возможность применять КУ также как автономный вычислитель, выполняющий локальные задачи сбора и обработки данных и исполнение управляющих команд без использования связи с управляющим компьютером.

К текущему моменту с использованием финансовых средств грантов РФФИ № 11-07-00483-а и № 12-07-0548-а был выполнен первый важный этап работы по созданию системы автоматизации гиперзвуковой аэродинамической трубы АТ-304 – исследование и создание системы управления источником рабочего газа для данной физической установки [4]. К настоящему времени все работы по созданию системы управления полностью закончены.

Следующий (завершающий) этап данного проекта будет посвящен непосредственному созданию автоматизированного информационно-измерительного комплекса (ИИК), предназначенного для сбора данных в описываемой физической установке на этапе проведения научных экспериментов. Для обеспечения финансовой поддержки при выполнении этих работ в РФФИ подана соответствующая заявка (грант № 14-07-00426-а).

#### Список литературы

1. Structure of data acquisition system of experimental researches in the hypersonic wind tunnel / V.M. Gilyov, V.V. Garkusha, V.I. Zvegintsev, A.N. Shiplyuk, S.I. Shpak, V.V. Yakovlev. // 16th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2012) (Kazan–Novosibirsk, Russia, 20–26 Aug., 2012): Abstracts. Pt. 1. – Kazan, 2012. – P. 110–111.
2. Гаркуша В.В., Гилев В.М., Мишнев А.С., Собстель Г.М., Шевченко Д.О., Яковлев В.В. Магистрально-модульный подход к созданию унифицированной системы автоматизации научных исследований и управления технологическими процессами // Сборник научных трудов Sworld. Материалы международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте'2012». – Вып. 2, Т. 4 – Одесса: КУПРИНЕНКО, 2012. – ЦИТ: 212-259. – С. 40–43.
3. Аппаратно-программный комплекс для создания систем / В.М. Гилев, В.В. Гаркуша, А.С. Мишнев, Д.О. Шевченко, В.В. Яковлев. автоматизации // Датчики и системы. – 2012. – № 4. – С. 6–9.
4. Гилев В.М., Суродин С.П., Шакиров С.Р., Шевченко Д.О., Шпак С.И. Автоматизированная система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой адиабатического сжатия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 11. – С. 38–40.