

$$H(\eta, \xi_1) = \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} - \frac{\partial}{\partial \eta_1} \right) R(\xi_1, \eta_1; \alpha(\eta), \eta) \Big|_{\xi_1 = \eta_1} - 2(a(\xi_1, \eta_1) - b(\xi_1, \eta_1))R(\xi_1, \xi_1; \alpha(\eta), \eta).$$

Если выполняется условие

$$\Delta_2(\eta) = a_2(\eta) a_2[\alpha(\eta)] - b_2(\eta) b_2[\alpha(\eta)] \neq 0,$$

или это тоже, самое условие (8), то функциональное уравнение (16) имеет единственное решение вида

$$\tau(\xi) = \psi(\eta) + \int_{\alpha(\alpha(\eta))}^{\eta} G(\eta, \xi_1) \tau(\xi_1) d\xi_1, \quad 0 \leq \eta \leq 1, \quad (17)$$

$$\psi(\eta) = \left[f(\eta) \exp \int_{\alpha(\eta)}^{\alpha(\alpha(\eta))} b(\eta_1, \alpha(\eta)) d\eta_1 - f(\alpha(\eta)) \exp \int_{\alpha(\eta)}^{\eta} a(\alpha(\eta), \eta_1) d\eta_1 \right] / \Delta_2;$$

$$G(\eta, \xi_1) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta_2} H(\alpha(\eta), \xi_1) \exp \int_{\alpha(\eta)}^{\eta} a(\alpha(\eta), \eta_1) d\eta_1, & \alpha(\alpha(\eta)) \leq \xi_1 \leq \alpha(\eta), \\ -\frac{1}{\Delta_2} H(\eta, \xi_1) \exp \int_{\alpha(\eta)}^{\alpha(\alpha(\eta))} b(\eta_1, \alpha(\eta)) d\eta_1, & \alpha(\eta) \leq \xi_1 \leq \eta, \end{cases}$$

при этом $\max_{[0,1]} |\psi(\eta)| = m_2$; $|G(\eta, \xi_1)| \leq M_2$.

Решение интегрального уравнения (17) будем искать в виде ряда

$$\tau(\eta) = \sum_{k=0}^{\infty} \tau_k(\eta),$$

для которого имеет место неравенство

$$|\tau(\eta)| \leq m_2 \exp M_2.$$

Таким образом, интегральное уравнение (17) (а также (16)), при выполнении условия (8), однозначно разрешимо.

Следовательно, задача (4), (6) имеет единственное решение вида (9), в которой $\tau(\xi)$ определяются из уравнений (17).

Отметим, что, если $A(x, y) = B(x, y) \equiv 0$, то условие (8) не выполняется. В этом случае уравнение (16) имеет вид

$$\tau(\eta) + \tau(\alpha(\eta)) = f(\eta) + \int_{\eta}^{\alpha(\eta)} \tau(\xi_1) H(\eta, \xi_1) d\xi_1; \quad (18)$$

$$H(\eta, \xi_1) = \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} - \frac{\partial}{\partial \eta_1} \right) R(\xi_1, \eta_1; \alpha(\eta), \eta) \Big|_{\xi_1 = \eta_1}.$$

Так как интегральный оператор, стоящий в правой части равенства (18), вполне непрерывен, то, как показано в [4], функциональное уравнение (18) имеет единственное решение.

Таким образом, и в этом случае задача (4), (6) однозначно разрешима.

Теорема для задачи (1), (3) доказана.

Список литературы

1. Бицадзе А.В. Уравнения смешанного типа. – М.: Изд. АН СССР, 1959. – 164 с.
2. Бицадзе А.В. Некоторые классы уравнений в частных производных. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
3. Алдашев С.А. Краевые задачи для многомерных гиперболических и смешанных уравнений. – Алматы: Гылым, 1994. – 170 с.
4. Литвинчук Г.С. Краевые задачи и сингулярные интегральные уравнения со сдвигом. – М.: Наука 1977. – 448 с.
5. Нахушев А.М. Уравнения математической биологии. – М.: Высшая школа, 1995. – 301 с.

К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Башуров В.В., Гилев В.М., Запрягаев В.И., Киселев Н.П.

ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН», Новосибирск, e-mail: gil@itam.nsc.ru

В работе приведено обоснование необходимости создания автоматизированной системы сбора и первичной обработки данных на экспериментальном стенде, предназначенном для исследования сверхзвуковых струйных течений. С помощью системы будет производиться сбор данных эксперимента непосредственно в ЭВМ, их накопление и обработка.

В настоящее время, как в России, так и за рубежом большое внимание уделяется проведению научных исследований по изучению структуры и характеристик струйных течений. Это связано с широким распространением течений такого типа в практических приложениях. В частности, в системах ракетно-космической техники [1–2], газодинамических системах напыления различных материалов на твердую поверхность [3] и т.д.

Для моделирования струйных течений в Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) СО РАН в настоящее время модернизируется вертикальная струйная установка (ВСУ) [4]. На установке будет исследоваться структура сверхзвуковой струи при вытекании ее из сопла, при различных режимах работы установки. Также будут исследоваться процессы взаимодействия сверхзвуковой струи с жесткой преградой (в частности, моделирующей условия старта/посадки космических летательных аппаратов).

Конструкция ВСУ. Установка ВСУ представляет собой вертикально расположенную форкамеру, в центре верхнего фланца которой имеется узел присоединения сменных сопел. Форкамера – сосуд с внутренним диаметром 330 мм – содержит хонейкомб на входе и детурбулизирующую сетку для выравнивания воздушного потока. Вход в канал, подводящий воздух к соплу из форкамеры, выполнен по лемнискате.

ВСУ подключена к системе воздуха высокого давления (до 200 атм.) трубопроводом с условным диаметром 100 мм, обеспечивающим значительный расход газа (до 50 кг/с), и оборудована устройством регулирования для поддержания постоянного давления в форкамере. На трубопроводе высокого давления установлены запорная задвижка и регулирующий пневмодроссель (запорно-регулирующий клапан). Верхний фланец форкамеры объединен с установочной плитой, на которой закреплены вертикальные направляющие штанги. Последние служат для крепления к ним подвижной траверсы, имеющей возможность перемещаться по вертикали (по оси x_{II}) с помощью ходовых винтов и двигателя, на которую монтируется преграда. Управление запуском установки, поддержание газодинамического режима и перемещение преграды осуществляется с пульта установки, находящегося в отдельном помещении (пульте ВСУ).

Назначение системы автоматизации. Создание системы автоматизации ВСУ обусловлено необходимостью решения следующих задач:

- контроль за измерением давления и температуры в форкамере и помещении установки;
- регистрация положения x_{II} и угла наклона α преграды.

Измеряемые параметры. При выполнении исследований струйных течений производится измерение различных параметров:

1. Газодинамические параметры, измеряемые во время эксперимента

P_{of} – давление в форкамере;

P_c – давление в помещении установки;

T_{of} – температура в форкамере;

T_c – температура в помещении.

2. Измерение положения преграды

В процессе проведения экспериментов производится перемещение преграды вдоль координаты x с шагом 0,05 мм. При этом максимальное верхнее положение составляет величину – 1000 мм. В процессе проведения эксперимента производится измерение величины x_{II} – перемещение преграды вдоль координаты x .

3. Измерение угла наклона преграды

В процессе проведения экспериментов производится изменение угла наклона преграды α , диапазон $\pm 30^\circ$ с точностью по углу $0,1^\circ$. Такие исследования позволяют моделировать взлет/посадку летательного аппарата с наклонной поверхностью.

Сопряжение датчиков с ПЭВМ. Сопряжение датчиков с ПЭВМ осуществляется с использованием модулей распределенной системы сбора и обработки данных серии I-7000 ICP-DAS. В состав системы входят:

– модуль I7019 – 8-канальный, 12-разрядный АЦП с поканальным программированием диапазона от ± 150 мВ до ± 10 В и $0 \dots 20$ мА;

– 4-канальный реверсивный счетчик для подсчета импульсов энкодера x_{II} с учетом направления вращения последнего;

– модуль I7043 – модуль вывода, служит для управления вводом данных счетчика и его сброса;

– модуль I7053 – модуль ввода, служит для считывания данных счетчика.

Модули серии I7000 объединены по интерфейсу RS485, имеют общее питание 24 В и через модуль I7520 (преобразователь интерфейсов) подсоединены к СОМ-порту ПЭВМ. Управление магистральной задвижкой, запорно-регулирующим клапаном и положением преграды осуществляется дистанционно с пульта управления и не связано с ПЭВМ.

Заключение

К настоящему времени смонтированы и отлажены все основные технические средства создаваемой системы. Ведутся работы по разработке и отладке необходимого программного обеспечения. Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-07-00548.

Список литературы

1. Дядькин А.А., Сухоруков В.П., Трашков Г.А., Волков В.Ф., Запрягаев В.И., Киселев Н.П. Структура течения в окрестности перспективного возвращаемого аппарата вблизи посадочной поверхности при наличии сверхзвуковых тормозных струй // Сб. трудов XXIII семинара по струйным, отрывным и нестационарным течениям. – Томск, 2012. – С. 122–123.

2. Экспериментальное исследование влияния вихрегенераторов и подвода жидкости на шум высокоскоростных струй / В.И. Запрягаев, Н.П. Киселев, Д.А. Губанов // Ученые записки ЦАГИ. – 2012. – Т. 43, № 4. – С. 57–68.

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

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

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

²Конструкторско-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