

УДК 681.518.3

ТЕСТИРОВАНИЕ КАУПЕРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ АДИАБАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

¹Гилев В.М., ¹Шпак С.И., ²Гаркуша В.В., ²Шакиров С.Р., 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 представлено описание и результаты тестирования каупера создаваемой в ИТПМ СО РАН гиперзвуковой аэродинамической трубы адиабатического сжатия. Рассмотрены функции, выполняемые каупером, приведена его структура, методика проведения измерений температуры. Представлены результаты тестирования каупера, выполненные с использованием создаваемой системы управления аэродинамической трубой.

Ключевые слова: Гиперзвуковая аэродинамическая труба, каупер, система управления трубой, аппаратно-программный комплекс

TESTING OF CAUPER OF A HYPERSONIC WIND TUNNEL OF ADIABATIC COMPRESSION

¹Gilyov V.M., ¹Shpak S.I., ²Garkusha V.V., ²Shakirov S.R., ²Yakovlev V.V.

¹Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, e-mail: gil@itam.nsc.ru;

²Design Technological Institute of Digital Techniques SB RAS, Novosibirsk, e-mail: vgarkusha@kti.nsc.ru

The description and results of testing of a cauper created at ITAM of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science on hypersonic wind tunnel of adiabatic compression is submitted. The functions which are carried out by a cauper are considered, his structure, a technique of carrying out measurements of temperature is given. Results of testing of the cauper executed with use of the created control system of a wind tunnel are presented.

Keywords: Hypersonic wind tunnel, cauper, control system of the wind tunnel, hardware-software complex

Для проведения научных исследований в области сверх- и гиперзвуковой аэродинамики в Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) им. С.А. Христиановича СО РАН создается новая оригинальная экспериментальная установка – гиперзвуковая аэродинамическая труба адиабатического сжатия АТ-304 [1, 2], позволяющая моделировать обтекание перспективных летательных аппаратов вплоть до космических скоростей полета. Чтобы обеспечить такие условия рабочий газ должен иметь в форкамере давление до 3000 атм и температуру до 3000 К. Нагрев газа осуществляется в два этапа – сначала в омическом подогревателе (каупере) и далее в адиабатическом нагревателе. В данной статье рассматривается тестирование первой системы подогрева газа – Каупера [2, 3].

Каупер аэродинамической трубы. Каупер аэродинамической трубы представляет собой полый цилиндрический объем, через который проходит рабочий газ (воздух) перед тем, как поступить в адиабатический подогреватель газа. Корпус, через который проходит рабочий газ, выполнен в виде трубы из нержавеющей стали. Внутренний объем корпуса заполнен плоскими вкладышами с от-

верстиями, равномерно распределенными по площади вкладыша. Вкладыши сделаны из нихромового сплава и установлены последовательно друг за другом с небольшим зазором так, чтобы была возможность для прохождения газового потока через объем, заполненный вкладышами. Внешний вид каупера на стадии его технологических испытаний представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид каупера аэродинамической трубы

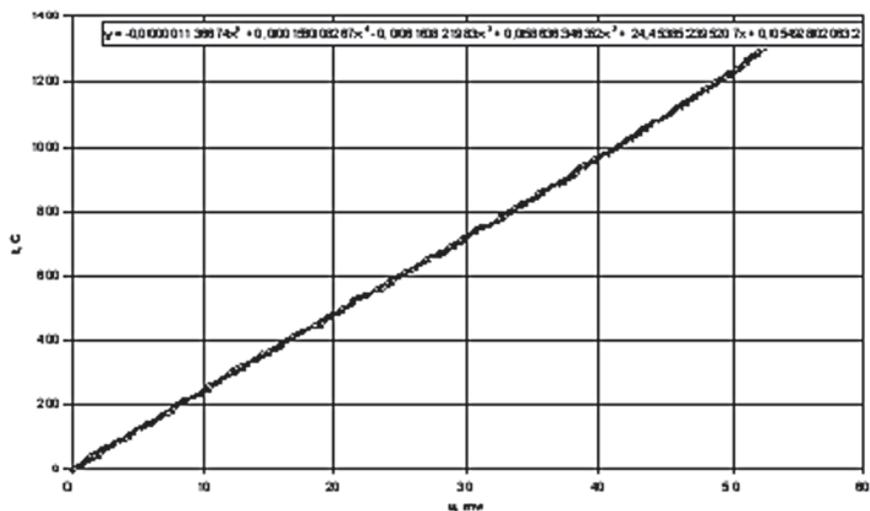


Рис. 2. Градуировочная кривая термопары каупера

Электрическая цепь, обеспечивающая питание каупера – трехфазная, изолированная от корпуса. Спираль через электрический контактор подключается к силовой электрической сети 380 В. Для измерения температуры газа, протекающего через каупер, на его стенках в разных точках установлены четыре термопары («хромель-капель»). При этом в качестве контрольной температуры используются показания выбранной оператором термопары.

Управление каупером. Управление каупером аэродинамической трубы осуществляется АСУ АТ-304 [2, 6] с использованием аппаратно-программного комплекса АПК-2010, который разработан в КТИ ВТ совместно с ИТПИМ СО РАН и предназначен для управления источником рабочего газа аэродинамической трубы [5]. Комплекс АПК-2010 построен на основе магистрально-модульного принципа, предложенного коллективом разработчиков [4]. В состав АПК-2010 входят измерительные модули – аналого-цифровые преобразователи (АЦП), а также модули дискретных сигналов, которые позволяют по команде программы, выполняющейся в компьютере, включить/выключить подачу напряжения на электрическую спираль каупера. Алгоритм регулирования построен таким образом, что при достижении заданной температуры подается сигнал на выключение контактора, а при спаде температуры ниже определенного уровня по команде компьютера контактор вновь включается и силовое питающее напряжение подается на электрическую спираль каупера. Таким способом произ-

водится непрерывное автоматическое поддержание температуры газа в каупере аэродинамической трубы.

Измерение температуры рабочего газа. Измерение температуры рабочего газа в каупере осуществляется с помощью встроенных термопар. Напряжение на выходе каждой термопары измеряется с использованием соответствующих каналов АЦП. Полученные значения переводятся в температуру с использованием построенной аппроксимации табличных данных (рис. 2), и отображаются на мониторе АРМ оператора аэродинамической трубы в числовом, а также в графическом виде. Таким образом, на экране монитора можно визуально наблюдать весь процесс нагрева рабочего газа в каупере во времени.

Текущие значения температуры в точках установки термопар каупера заносятся в базу данных эксперимента. Это позволяет анализировать результаты работы аэродинамической трубы после завершения эксперимента и использовать эти данные в процессе обработки результатов проводимых исследований [6]. Кроме того, эти данные могут помочь обслуживающему персоналу при разборе нештатных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации аэродинамической трубы.

Тестирование каупера. По завершении разработки и изготовления каупера, а также аппаратно-программных средств АСУ, использующихся, в том числе и при измерении температуры газа, проводилась проверка работоспособности каупера, а именно: измерялось время нагрева до заданной

температуры и возможность длительной работы без перегрева конструкции и нагревательных элементов. Кроме этого осуществлялась проверка работоспособности создаваемой АСУ АТ-304 в приближенных к рабочим условиям эксплуатации. Тестирование проводилось в двух режимах.

1) Тестирование и калибровка термодатчиков каупера. Для этой цели термодатчики опускались в сосуд с водой, которая подвергалась нагреву с помощью электроплитки. На рис. 3 представлена диаграмма изменения температуры при таком способе тестирования термодатчиков. Видно, что измерительная система правильно отражает процесс нагрева. Термодатчик Т2 располагалась над

нагреваемым сосудом, а термодатчик Т3 опускали в уже кипящую воду. Термодатчики Т1 и Т4 в эксперименте не участвовали.

2) Тестирование каупера в режиме без теплоизоляции. Результаты тестирования представлены на рис. 4. Сначала идет процесс нагрева (около 40 минут). Термодатчики установлены в таком порядке: Т1 и Т3 – в середине (по высоте) каупера, Т2 – сверху и Т4 – внизу. Рабочий газ через каупер в этих испытаниях не пропускаться, поэтому шел обычный процесс конвективного теплообмена с окружающей средой, что и отражено на графике. Затем фиксируется длительный процесс остывания всей конструкции.

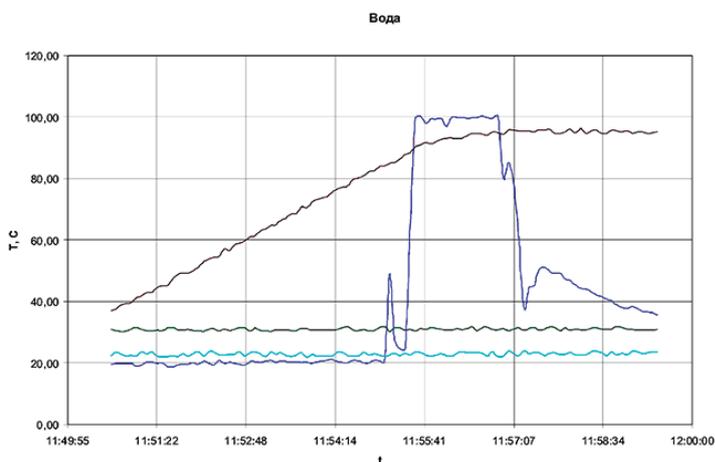


Рис. 3. Результаты тестирования термодатчиков аэродинамической трубы

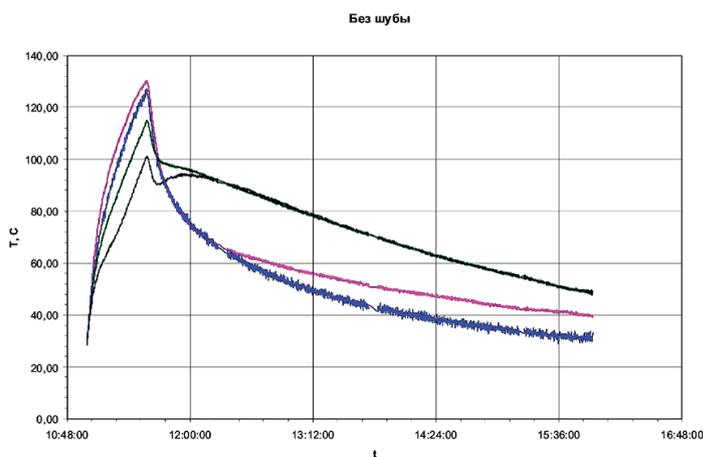


Рис. 4. Результаты тестирования каупера в режиме без теплоизоляции

Заключение

Проведенные тестовые испытания каупера показали работоспособность как самого устройства (каупера), так и создаваемой АСУ АТ-304 и соответствие их заданным параметрам. В настоящее время ведутся работы по отладке системы и дальнейшей привязке её к реальным условиям эксперимента.

Выполнение данного проекта осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-07-00483-а и 12-07-00548-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zvegintsev V.I., Shpiyuk A.N., Shpak S.I. Mathematical model of the working gas source for hypersonic wind tunnel АТ-304 // 15th International conference on the methods of aerophysical research (ICMAR'2010) (Novosibirsk, Russia, 1-6 nov., 2010): abstracts. Pt.1. -Novosibirsk, 2010. – P. 261–262.
2. Gilyov V.M., Garkusha V.V., Zvegintsev V.I., Shpiyuk A.N., Shpak S.I., Yakovlev V.V. Structure of data acquisition

system of experimental researches in the hypersonic wind tunnel // 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.

3. Гилев В.М., Шпак С.И. Управление каупером гиперзвуковой аэродинамической трубы // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5. – С. 109–111.

4. 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. Том 4. – Одесса: Куприненко, 2012. – ЦИТ: 212-259. – С. 40–43.

5. Гилев В.М., Гаркуша В.В., Мишнев А.С., Шевченко Д.О., Яковлев В.В. Аппаратно-программный комплекс для создания систем автоматизации // Датчики и системы. – 2012. – № 4. – С. 6–9.

6. Гилев В.М., Суродин С.П., Шакиров С.Р., Шевченко Д.О., Шпак С.И. Автоматизированная система управления гиперзвуковой аэродинамической трубой адiabатического сжатия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 11. – С. 38–40.