

УДК 004.896, 533.6.071.4

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КООРДИНАТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Башуров Валерий Витальевич

Ведущий инженер, e-mail: bashurov@itam.nsc.ru

Губанов Дмитрий Андреевич

К.ф.-м.н., младший научный сотрудник, e-mail: gubanov@itam.nsc.ru

Запрягаев Валерий Иванович

Д.т.н., главный научный сотрудник, e-mail: zapr@itam.nsc.ru

Киселев Николай Петрович

К.ф.-м.н., научный сотрудник, e-mail: nkiselev@itam.nsc.ru

Певзнер Анна Самуиловна

Ведущий программист, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Аннотация. В статье описано автоматизированное координатное устройство, применяемое для позиционирования модели и перемещения зонда по заданной программе при экспериментальных исследованиях на вертикальной струйной установке. Подсистема сбора данных и управления позволяет задавать алгоритм перемещения датчика по двум координатам для конкретных экспериментов, в том числе по сложной траектории, как в ручном режиме от пульта управления, так и в автоматическом по заданной программе. Система управления координатным устройством является составной частью системы автоматизированного сбора экспериментальных данных на вертикальной струйной установке ИТПМ СО РАН.

Ключевые слова: автоматизация экспериментальных исследований, аэрогазодинамика, система позиционирования, сверхзвуковые струйные течения.

Цитирование: Башуров В.В., Губанов Д.А., Запрягаев В.И., Киселев Н.П., Певзнер А.С. Разработка автоматизированного координатного устройства для экспериментального исследования струйных течений // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 102–110. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-09

Введение. Зондовые измерения занимают значительную долю среди методов изучения газодинамических параметров потока, при этом результаты измерений имеют высокую точность. Для получения достоверных данных требуется обеспечить достаточное быстродействие для датчика, нужную погрешность измерения, надежность, малую чувствительность к внешним воздействиям (вибрация, изменение температуры окружающей среды). При проведении экспериментальных исследований струйных течений важным параметром является точность позиционирования приемника полного давления, нити датчика термоанемометра или другого чувствительного элемента, с помощью которого определяется значение термодинамического параметра потока.

В экспериментальных исследованиях сверхзвуковых струйных течений при зондировании потока необходимо пространственное перемещение измерительного зонда.

Элементы газодинамической структуры струи, такие, как скачки уплотнения, пограничные слои, слои смещения и т.д. при малых размерах, имеют большие градиенты газодинамических параметров, что накладывает достаточно высокие требования на точность позиционирования.

Исследование пространственной картины течения сверхзвуковой неизобарической струи при наличии искусственно введенных продольных вихрей требует измерения азимутальных профилей с переменным шагом по углу. Такая постановка задачи формирует требования к автоматизированному перемещению зонда в продольном и поперечном направлениях по заданной программе с переменным шагом по пространству.

Координатное устройство К2-19 (координатник) является составной частью системы автоматизированного сбора экспериментальных данных на вертикальной струйной установке (ВСУ) ИТПМ СО РАН. Разработанные алгоритмы и система управления созданы на основе опыта создания измерительного координатника для исследования структуры потока высокоскоростных струй, истекающих из сопел сложной формы с целью выявления пространственного распределения как средних, так и пульсационных газодинамических параметров. Результаты исследования, полученные с помощью аналогичного координатника, приведены в работах [3, 6, 7].

Автоматизированное координатное устройство К2-19. Координатное устройство К2-19 (координатник) предназначено для перемещения зонда по полю размером 500x200мм по заданной программе или в ручном режиме. Зонд перемещается по двум координатам X и Y, по взаимно перпендикулярным, линейным направляющим, снабженным шарико-винтовыми парами, соединенными с шаговыми двигателями (ШД). Электронный блок выполняет команды ПЭВМ (автоматический режим) или пульта (ручной режим) и управляет ШД, то есть вырабатывает сигналы для направления вращения и количества шагов для достижения зондом заданной координаты.

С учетом имеющегося опыта создания координатников в ИТПМ СО РАН был выбран вариант контроллера на базе микропроцессора (МП) ATmega328 (рис. 1).

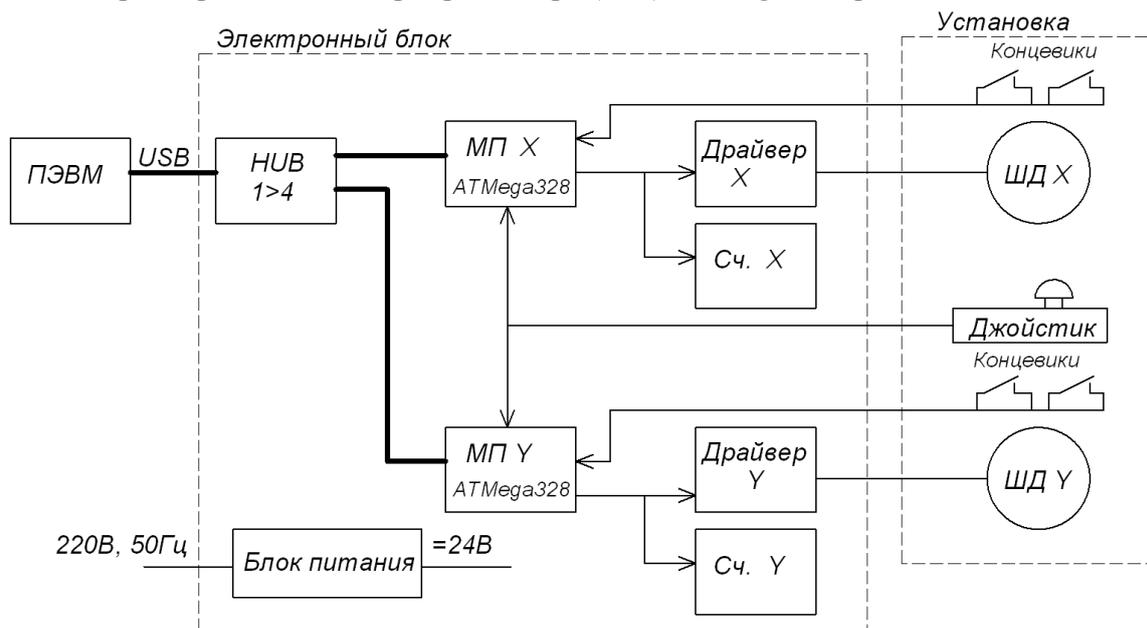


Рис. 1. Структурная схема блока электроники (БЭ) координатного устройства

Алгоритм работы К2-19. Проводя исследования, экспериментатору надо пройти определенную траекторию с остановкой и проведением измерений в нужных точках. Поскольку исследования проводятся в потоке, необходима обработка ситуации, когда по разным причинам нужная точка не достигается – то есть оператор ПЭВМ должен иметь возможность вмешаться в процесс.

Проанализировав опыт разработки подобных систем [2, 4, 8], мы постарались минимизировать обмен данными между ПЭВМ и микропроцессорами (МП) координат; выбранная система команд приведена в табл. 1.

Таблица 1. Система команд К2-19.

Название команды	Код	Входные параметры	Выходные параметры
Подать синхроимпульс	1	байт	-
Перемещение в заданную координату	2	-	4 байта данных счетчика, байт регистра статуса
Стоп	3	-	-
Сброс счетчика шагов (команда верхнего уровня)	4	-	-
Чтение счетчика шагов и состояния регистра статуса	5	-	4 байта данных счетчика, байт регистра статуса
Задать скорость	6	байт	байт

На рис. 2 приведен алгоритм работы МП. Работа начинается с анализа положения переключателя режима на передней панели БЭ. В ручном режиме, в зависимости от положения джойстика, выбираются направление и скорость перемещения. В автоматическом режиме МП ждет команды от ПЭВМ, полученная команда анализируется и выполняется. Во время перемещения в автоматическом режиме запрещены команды сброса и другого перемещения, остальные - возможны. Поскольку координаты независимы, то для каждой координаты подается отдельная команда. Так, например, для полного останова в аварийной ситуации надо послать команду «стоп» для каждой из координат отдельно - после этого доступна любая другая команда.

Координатное устройство и система автоматизированного сбора экспериментальных данных на ВСУ ИТПМ СО РАН. ВСУ используется для исследования газодинамической структуры, как затопленных сверхзвуковых струй, так и струй, взаимодействующих с преградами. Эксперименты, как правило, заключаются в проведении измерений в заданных точках.

Система сбора данных вертикальной струйной установки [2] предназначена для автоматизации калибровок датчиков и сбора экспериментальных данных; контроля измерений в течение эксперимента, а также для обеспечения хранения данных в БД «Архив экспериментальных данных» [5].

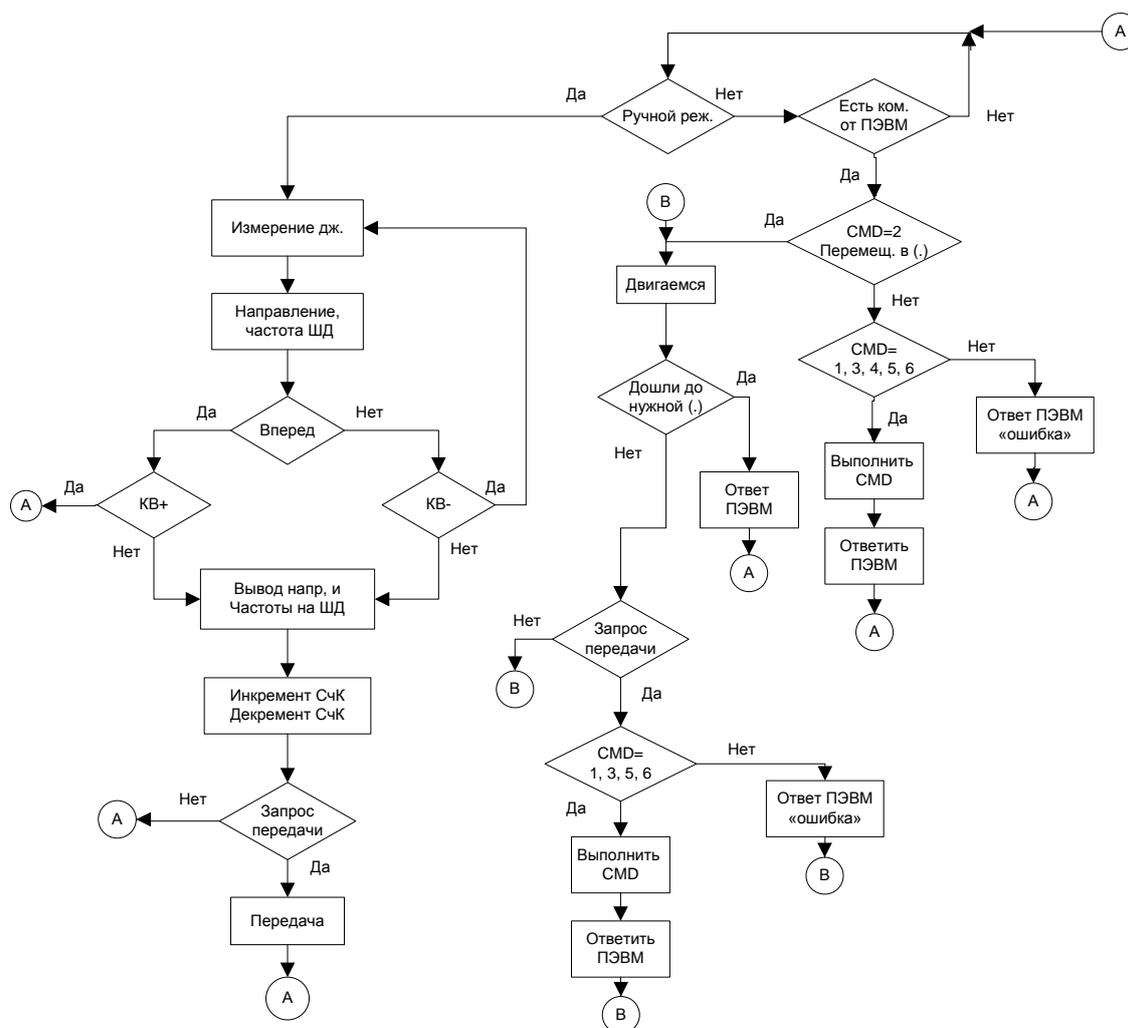


Рис. 2. Алгоритм работы МП

Для перемещения зонда в ходе эксперимента необходимо координатное устройство. Работа системы сбора данных с координатником K2-19 возможна 2-мя способами:

- включить K2-19 в систему сбора данных в качестве нового устройства;
- использовать K2-19 на отдельном рабочем месте, используя систему синхронизации.

Имеется опыт разработки и использования обоих вышеописанных вариантов систем сбора данных: на наших установках обычно используется 1-й вариант [1], а в рамках работы с РРК «Энергия» был разработан координатник, основанный на втором подходе. Первый вариант удобен тем, что все данные будут в едином протоколе, второй – позволяет связать координатник с любой (имеющей внешний запуск) системой. Пользователь может перемещаться по точкам (кнопка «перемещение в точку (X,Y)») и фиксировать в таблице значения координат (кнопка «отсчет»). Удобней и быстрее предварительно приготовить текстовый файл, который содержит план для прохождения координатником определенной траектории и содержит:

- значения координат X и Y,
- задержку на установление режима,
- наличие синхроимпульса,
- задержка на работу пользовательской системы,
- число измерений после данного перемещения.

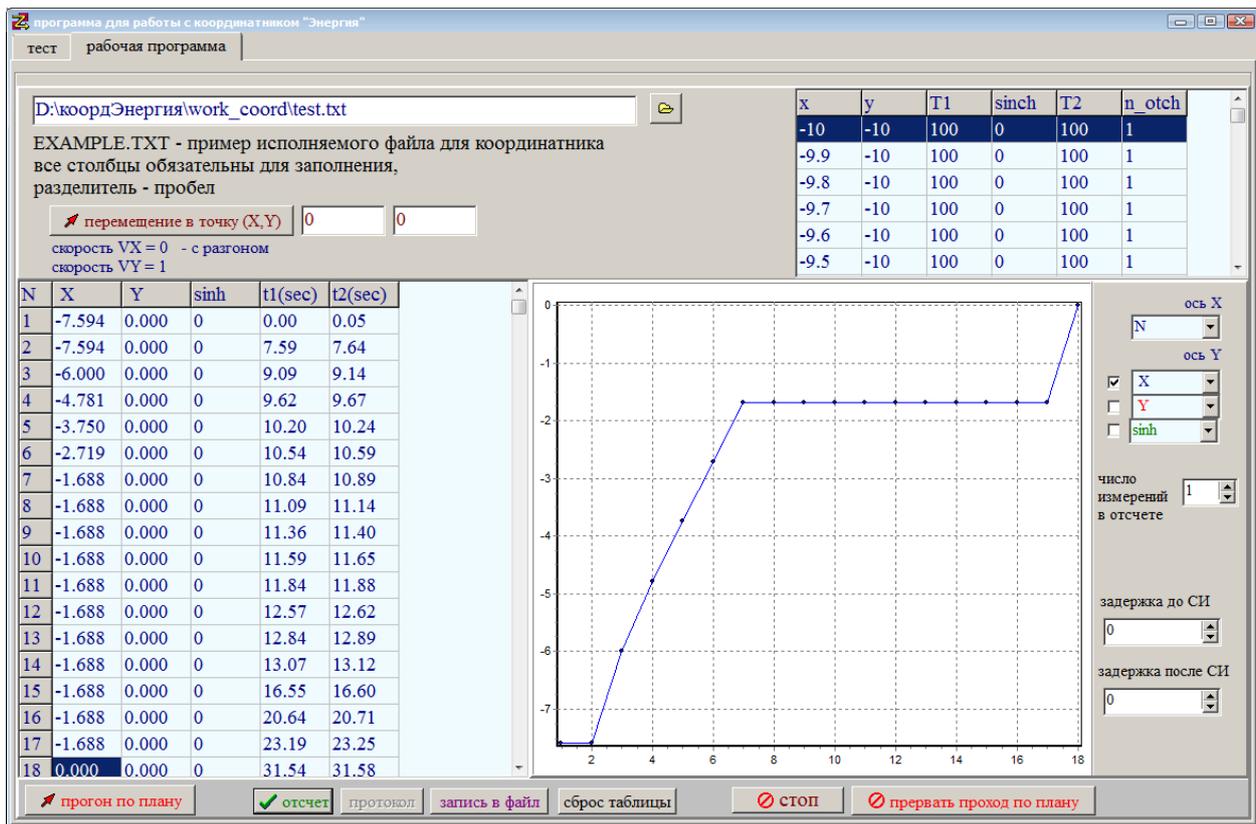


Рис. 3. Работа с координатником по заданному алгоритму (плану)

Работа начинается с выбора файла, содержащего план для координатника (кнопка «открыть»). Выбранный план отобразится в верхней правой таблице и пользователь может его посмотреть (если в плане – ошибки, то они будут заметны). После этого в левом нижнем углу в панели кнопок появится кнопка «прогон по плану», нажав которую, можно запустить выполнение заданного плана (рис. 3). Измеренные значения координат отображаются в левой нижней таблице. Соседняя с этой таблицей панель графика позволяет просмотреть полученные значения в табличном виде. На нижней панели есть еще несколько кнопок:

- «прервать проход по плану» - аварийный останов выполнения плана;
- «стоп» - остановить;
- «сброс таблицы» - удалить данные из таблицы;
- «запись в файл» - записать данные из таблицы в текстовый файл;
- «протокол» - просмотреть записанный файл.

С использованием системы автоматизированного сбора данных проведены параметрические исследования влияния вихрегенераторов – микроструй, вдуваемых в основной поток, на структуру образования продольных вихрей в слое смещения сверхзвуковой неизобарической струи $M_a=1$, $N_{pr}=5$, истекающей в затопленное пространство. Протестировано десять различных конфигураций, в которых газодинамические и геометрические параметры микроструй, такие, как давление микроструй, расстояние вдува от среза основного сопла, азимутальный, тангенциальный и осевой углы наклона микросопел изменялись по одному. Для этого использовалась микросопловая установка, состоящая из независимых модулей, расположенных на общей направляющей пластине (рис. 4). Это дает свободу в конфигурировании установки, но осложняет монтаж.

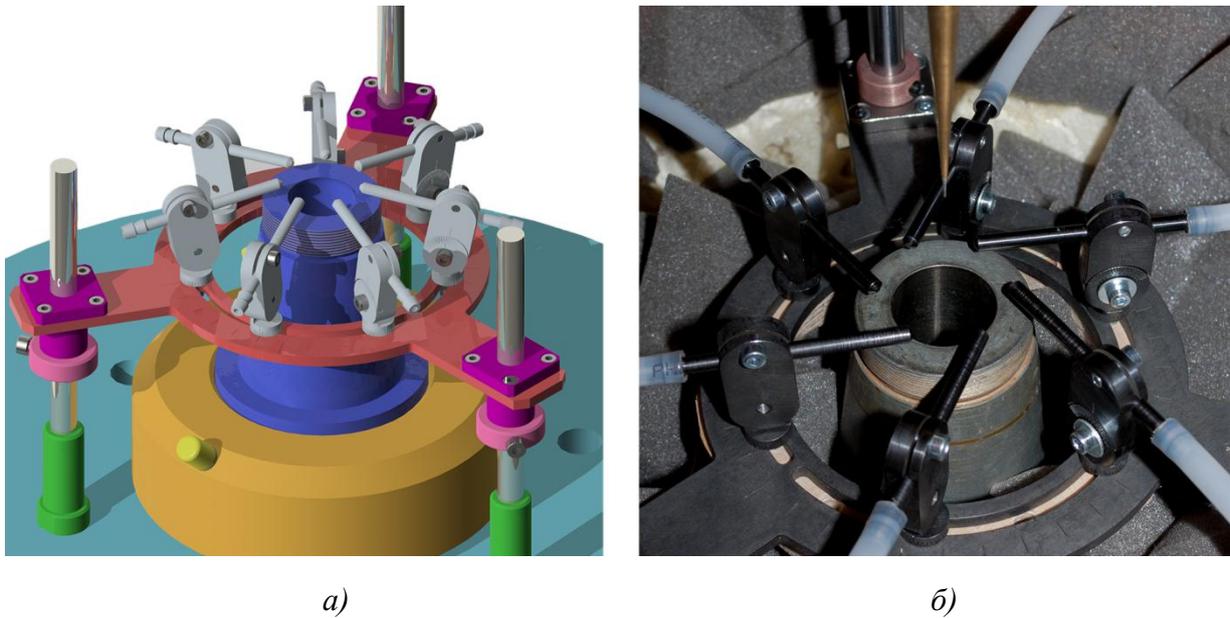


Рис. 4. Изображение микросопловой установки в двух конфигурациях

Для точного позиционирования элементов установки использовалось координатное устройство K2-19, на котором был закреплен измерительный зонд в виде трубки Пито диаметром 0,6 мм. По известной геометрии микросопловой установки были вычислены необходимые координаты зонда относительно позиционируемых элементов. Осуществлялось последовательное перемещение зонда и фиксация винтовыми соединениями микросопловых модулей.

На рис. 5 представлены примеры полученных радиальных и азимутальных профилей относительного давления Пито по результатам зондовых измерений с использованием координатного устройства.

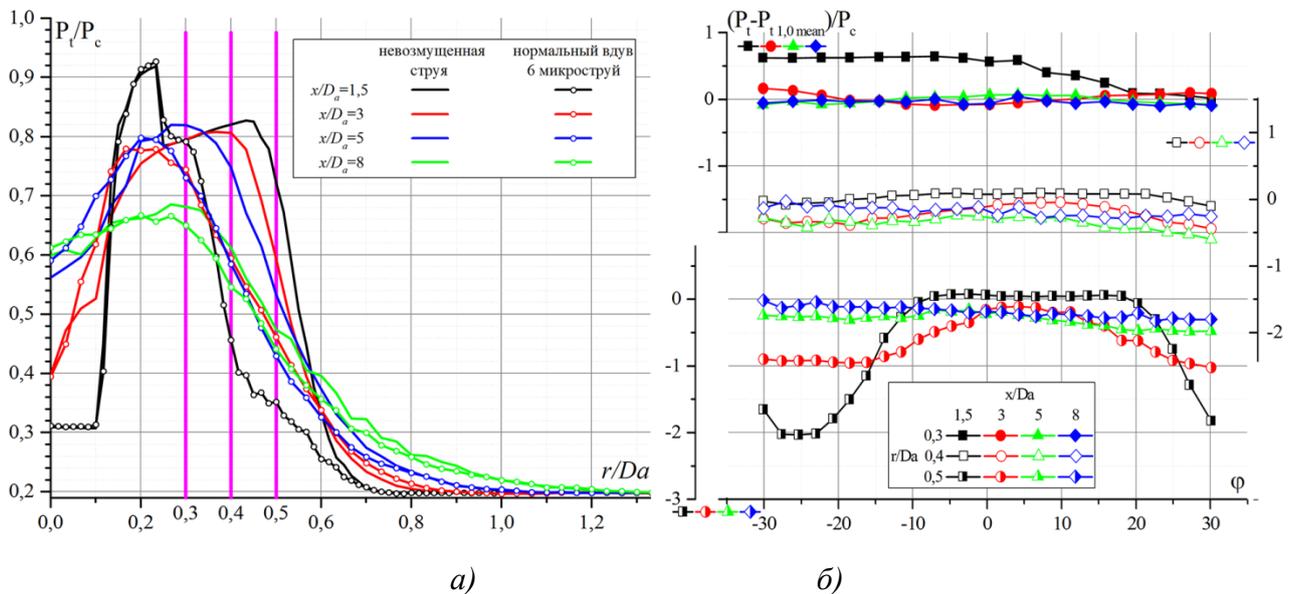


Рис. 5. Радиальные (а) и азимутальные (б) профили распределения относительного давления Пито невозмущенной струи и с вдувом микроструй различных конфигураций: нормальный вдув 6 (а) микроструй и вдув 6 микроструй с тангенциальным углом 30° (б)

Зарегистрировано образование области пониженного давления в следе за точкой взаимодействия микроструи с потоком основной струи. Область основного влияния располагается близи внешней границы струи.

Заключение. В статье описан алгоритм работы автоматизированного координатного устройства и принцип управления, используемый при проведении экспериментальных исследований струйных течений на вертикальной струйной установке ИТПМ СО РАН.

В результате оснащения экспериментальной установки данной системой позиционирования появилась возможность получать подробные и достоверные результаты о пространственном распределении газодинамических параметров исследуемого течения.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект АААА-А17-117030610137-0) и частично в рамках научного проекта РФФИ №18-38-00183.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башуров В.В., Запругаев В.И., Кавун И.Н., Певзнер А.С. Система синхронизации сбора данных и её применение для исследования сверхзвуковых течений // Труды XVII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть II. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2012. С. 37–44.
2. Башуров В.В., Запругаев В.И., Киселев Н.П., Певзнер А.С. Система сбора данных вертикальной струйной установки и ее применение для исследования течений // Труды XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2013. С. 110–116.
3. Запругаев В.И., Киселев Н.П., Пивоваров А.А., Кавун И.Н., Бойко В.М. Влияние шевронов на структуру течения сверхзвуковой неизобарической струи // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2017. Т.49. С. 5–17. DOI: 10.15593/2224-9982/2017.49.01.
4. Запругаев В.И., Певзнер А.С., Тютин А.А., Гаркуша В.В., Хорошенко Е.И., Яковлев В.В. Подсистемы позиционирования, используемые в аэродинамических установках периодического действия // Труды XV Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2010. С. 172–179.
5. Локотко А.В., Певзнер А.С., Яковлева Н.В. Программный комплекс сбора, обработки и хранения данных аэродинамического эксперимента // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2017. № 2(6). С. 123–131.
6. Соболев А.В., Запругаев В.И., Киселев Н.П., Губанов Д.А., Кундасев С.Г. Исследование турбулентной структуры сверхзвуковой струи с большим числом Рейнольдса // Теплофизика и аэромеханика. 2018. Т.25. No.4. С. 495–504.
7. Dyad'kin A.A., Sukhorukov V.P., Rybak S.P., Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Kundasev S.G., Sobolev A.V., Gubanov D.A. Simulation of the reentry vehicle supersonic brake jets interaction with landing surface // 7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS 2017) (Italy, Milano, 3-6 july, 2017): Proceedings. S.I. 2017. Pp. 1–9. DOI: 10.13009/EUCASS2017-116.

8. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Automated system for experimental data acquisition, stored and processing // International Association of Science and Technology for Development, Research: Abstracts. Pt. II. Kazan. 2012. August 19 – 25. Pp. 102–104.
-

UDK 004.896, 533.6.071.4

**DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED AXIS MOTION DEVICE FOR THE
EXPERIMENTAL RESEARCH OF JET FLOW**

Valeriy V. Bashurov

Principal Engineer, e-mail: bashurov@itam.nsc.ru

Dmitriy A. Gubanov

PhD., Junior Researcher, e-mail: gubanov@itam.nsc.ru

Valeriy I. Zapryagaev

Doctor of Engineering Sciences, Prof., Head of Laboratory “Experimental aerogasdynamics”,
e-mail: zapr@itam.nsc.ru

Nikolay P. Kiselev

PhD., Researcher, e-mail: nkiselev@itam.nsc.ru

Anna S. Pevzner

Principal Software Engineer, e-mail: pevzner@itam.nsc.ru
Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS,
Institutskaya str., 4/1, 630090, Novosibirsk, Russia

Abstract. This paper describes the automated axis motion device used to positioning of model and movement of the probe on the set program at experimental research on vertical jet facility. The subsystem of data collection and management allows to set an algorithm of movement of model on two coordinates for specific experiments, including on a difficult trajectory both in the manual mode from the control panel, and in automatic from a workplace of the experimenter. The management system the axis controller is a component of a system of the automated collecting experimental data on the vertical jet facility of ITAM SB RAS.

Keywords: automation of experimental researches, aerogasdynamics, axis motion device, supersonic jet flows.

References

1. Bashurov V.V., Zapryagaev V.I., Kavun I.N., Pevzner A.S. Sistema sinhronizatsii sbora dannyh i ejo primenenie dlja issledovaniya sverkhzvukovyh techeniy [System for synchronization of data acquisition and its application for supersonic flow investigations] // Trudy XVII Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Chast' II. = Works XVII of the Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management" № 2. Irkutsk. ISJeM SO RAN = ESI SB RAS. 2012. Pp. 37–44. (in Russian)

2. Bashurov V.V., Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Pevzner A.S. Sistema sbora dannyh vertikal'noj strujnoj ustanovki i ee primenenie dlja issledovanija techenij [Data acquisition system for a vertical jet facility and its application for flow analysis] // Trudy XVIII Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Ch. III. = Works XVIII of the Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management" № 3. Irkutsk. ISJeM SO RAN = ESI SB RAS. 2013. Pp. 110–116. (in Russian)
3. Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Pivovarov A.A., Kavun I.N., Boiko V.M. Influence Vlijanie shevronov na strukturu techenija sverhsvukovoj neizobaricheskoj strui [Chevrons influence on nonisobaric supersonic jet shock-wave pattern] // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Ajerokosmicheskaja tehnika = Herald of Perm National Research Polytechnic University. Aerospace technics. 2017. T.49. Pp. 5–17. DOI: 10.15593/2224-9982/2017.49.01. (in Russian)
4. Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Tjutin A.A., Garkusha V.V., Horoshenko E.I., Jakovlev V.V. Podsystemy pozicionirovanija, ispol'zuemye v ajerodinamicheskikh ustanovkah periodicheskogo dejstvija [Positioning subsystems used in blowdown wind tunnels] // Trudy XV Bajkal'skoj Vserossijskoj konferencii «Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii». Ch. III. = Works XV of the Baikal Russian conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management" № 3. Irkutsk. ISJeM SO RAN = ESI SB RAS. 2010. Pp. 172–179. (in Russian)
5. Lokotko A.V., Pevzner A.S., Jakovleva N.V. Programmnyj kompleks sbora, obrabotki i hranenija dannyh ajerodinamicheskogo jeksperimenta [Program complex of data acquisition, processing and storage applied to an aerodynamic experiment] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. Irkutsk. ISJeM SO RAN = ESI SB RAS. 2017. № 2(6). Pp. 123–131. (in Russian)
6. Sobolev A.V., Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Gubanov D.A., Kundasev S.G. Turbulent structure in supersonic jets with a high Reynolds number // Thermophysics and Aeromechanics. 2018. Vol. 25. No. 4. Pp. 473–481. DOI: 10.1134/S0869864318040017.
7. Dyad'kin A.A., Sukhorukov V.P., Rybak S.P., Zapryagaev V.I., Kiselev N.P., Kundasev S.G., Sobolev A.V., Gubanov D.A. Simulation of the reentry vehicle supersonic brake jets interaction with landing surface // 7th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS 2017) (Italy, Milano, 3-6 july, 2017) : Proceedings. S.l. 2017. Pp. 1–9. DOI: 10.13009/EUCASS2017-116.
8. Garkusha V.V., Zapryagaev V.I., Pevzner A.S., Yakovlev V.V., Yakovleva N.V. Automated system for experimental data acquisition, stored and processing // International Association of Science and Technology for Development, Research: Abstracts. Pt. II. Kazan. 2012. August 19 – 25. Pp. 102–104.