

М. М. Стронгин, ст. науч. сотр., e-mail: strongin@imec.msu.ru,
Ю. А. Виноградов, канд. техн. наук, доц., e-mail: vinograd@imec.msu.ru,
А. Г. Здидовец, канд. техн. наук, доц., e-mail: zditovets@mail.ru,
Н. А. Киселёв, аспирант, e-mail: kiselev.nick.a@gmail.com,
С. С. Попович, канд. техн. наук, науч. сотр., e-mail: pss1@mail.ru,
Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Использование технологий National Instruments в экспериментальных исследованиях процессов термогазодинамики

Представлен опыт авторов, полученный при использовании технологий National Instruments в экспериментальных исследованиях в термогазодинамике. На примерах оснащения экспериментальных стендов для исследования различных аспектов теплообмена контрольно-измерительным оборудованием и программным обеспечением для работы с этим оборудованием продемонстрирована оперативность создания аппаратно-программных средств самими экспериментаторами без привлечения профессиональных программистов.

Ключевые слова: National Instruments, LabVIEW, термогазодинамика, теплообмен, аэродинамическая установка, виртуальный прибор

Введение

Поиск путей интенсификации теплообмена привлекал, привлекает и будет привлекать пристальное внимание инженеров, научных сотрудников и всех, кто тем или иным образом связан с теплоэнергетикой. От эффективности передачи энергии в теплообменном оборудовании во многом зависят значения технико-экономических показателей всей энергоустановки в целом. Следовательно, в настоящее время использование эффективных способов интенсификации процессов теплообмена является одним из главных и наиболее доступных путей совершенствования, повышения эффективности и экономичности энергетического оборудования. Такой вывод подтверждается постоянно возрастающим числом публикаций, посвященных данному вопросу. В связи с возрастающим интересом к проблеме интенсификации теплообмена в Институте механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (МГУ) совместно с Московским Государственным техническим университетом им. Н. Э. Баумана создана совместная межвузовская научно-учебная лаборатория "Термогазодинамика". Основными приоритетными направлениями экспериментальных работ этой лаборатории были определены следующие задачи: исследование теплогид-

равлической эффективности (соотношение между теплообменом и сопротивлением) "вихреобразующих" поверхностей; влияние вдува охлаждающего газа через пористые поверхности на эффективность тепловой защиты; исследование газодинамической температурной стратификации (безмашинного энергоразделения) потоков газа — труба Леонтьева.

Задачи экспериментальной термогазодинамики

Наиболее приемлемым методом интенсификации теплообмена в теплообменном оборудовании является применение различных турбулизаторов потока. Существуют различные типы интенсификаторов теплообмена, реализующих данный подход. Однако использование большинства из них (ребер, штырьков, закрученных лент и пр.) обычно ведет к существенному увеличению гидравлического сопротивления. Тем интереснее результаты, полученные на теплообменных поверхностях с вихревыми интенсификаторами ("лунками"), так как в данном случае росту теплообмена соответствует практически равноценный рост гидравлического сопротивления. Благодаря этим качествам в настоящее время к таким поверхностям проявляется повышенный интерес [1]. Существует большое число работ, посвящен-

ных экспериментальному и численному исследованию вихреобразующих поверхностей. Однако до сих пор остаются открытыми вопросы об оптимальной (с точки зрения теплогидравлической эффективности) форме, компоновке и взаимном влиянии лунок в каналах. Несмотря на большое число работ по вихревой интенсификации, остаются вопросы о способах определения искомых величин и достоверности опубликованных экспериментальных данных (в том числе теплогидравлических характеристик наиболее эффективных "облуненных" поверхностей). Следует отметить, что в современных исследованиях (в связи с развитием экспериментального оборудования, уточнением методов проведения эксперимента и численных расчетов) вихреобразующие поверхности показывают менее "выдающиеся" результаты. Несмотря на это, лунки до сих пор остаются перспективными интенсификаторами теплообмена. Все эти факторы свидетельствуют о необходимости создания новых методов определения теплогидравлических характеристик, проведения детальных исследований вихреобразующих поверхностей с применением современного высокоточного оборудования.

Развитие авиационной и космической техники, а также промышленной энергетики обуславливает интерес к методам тепловой защиты поверхности аппаратов от воздействия высокотемпературных и высокоскоростных газовых потоков.

Теоретическое решение этой проблемы связано с большими трудностями и поэтому представляет интерес экспериментальное исследование некоторых аспектов этой проблемы. Одним из наиболее перспективных способов защиты поверхности является так называемое "пористое" охлаждение [2]. В этом случае стенки аппарата частично или полностью изготавливают из специального пористого материала, способного пропускать через себя охладитель (жидкость или газ), что приводит к снижению теплового потока через поверхность аппарата. Другим способом защиты является применение тепловых завес [3]. Охладитель подается через непрерывную щель, через пористую стенку или через устройство, состоящее из более коротких щелей или ряда дискретных отверстий перед элементом конструкции, подлежащим защите, и создает на поверхности пленку, предохраняющую элементы конструкции от воздействия высокотемпературного газового потока.

Интерес к газодинамическому безмашинному методу энергоразделения был вызван исследованиями энергоустановок космического назначения для осуществления пилотируемой экспедиции на Марс. В наиболее эффективной компоновке с использованием энергодвигательного комплекса на основе ядерных и газотурбинной установок, работающих по замкнутому циклу Брайтона, в качестве рабочего тела рассматривается смесь легких газов с тяжелыми и низкими значениями критерия Прандтля. В этом случае перепад температур между температурой торможения и температурой адиабатной стенки, определяющей количество переданной теплоты между

дозвуковым и сверхзвуковым потоками газа, разделенными теплопроводной стенкой, может достигать существенных значений, что позволяет предложить принципиально новые эффективные термодинамические циклы замкнутых газотурбинных установок и газотранспортных систем [4].

Пути решения экспериментальных задач

С учетом изложенного выше, решение перечисленных и подобных им задач при физическом моделировании связано с изучением тепловых полей, а это, в свою очередь, диктует необходимость многочисленных измерений, которые в целях снижения энергозатрат и повышения надежности исследования приходится проводить на автоматизированных измерительных комплексах.

Поставленные выше задачи по исследованию процессов теплообмена при различных граничных условиях выполнялись на сверхзвуковых аэродинамических установках с различной рабочей частью и различными расходами рабочего газа, а также на малой дозвуковой аэродинамической установке с возможностью управлять скоростью потока в диапазоне 0...130 м/с. Все экспериментальные стенды укомплектованы современным измерительным оборудованием, инфракрасными тепловизионными приборами для наблюдения температурных полей на исследуемых поверхностях, оптическим оборудованием для визуализации исследуемых процессов, а также оснащены современными сенсорными устройствами — датчиками давления, термопарами, тензотрическими аэродинамическими весами.

На рис. 1 показан экспериментальный стенд на базе сверхзвуковой аэродинамической трубы исследования эффективности тепловой защиты при вдуве газа через пористые поверхности.

Наиболее распространенными исследованиями в экспериментальной аэродинамике являются рабо-

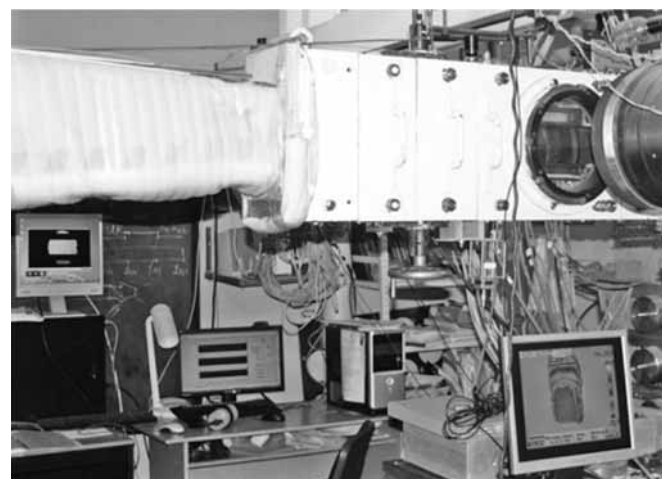


Рис. 1. Экспериментальный стенд исследования эффективности тепловой защиты при вдуве газа через пористые поверхности ("пористое" охлаждение)

ты по изучению взаимодействия модели с набегающим газовым потоком на аэродинамических установках с различными параметрами, характеризующими такое взаимодействие. При этом анализируют:

- поля давления в различных областях модели или в следе за моделью;
- силомоментные характеристики процесса взаимодействия потока с моделью;
- поля температуры на поверхности модели или поля температуры в следе за моделью при изучении термодинамического взаимодействия потока с моделью.

Сложная организация самого аэродинамического эксперимента обусловлена технологической сложностью как базовых средств его проведения (аэродинамические установки), так и используемого в этих целях измерительного оборудования.

Выбор средств решения

В Институте механики МГУ накоплен определенный опыт по разработке автоматизированных систем экспериментальных исследований в области аэродинамики [5, 6]. Первыми были системы на базе компьютеров СМ и РС/АТ/ХТ, модульной аппаратуры в стандарте КАМАК и набора нормализующих устройств. Создание таких систем предполагало присутствие в штате исследователей программистов, да и сама процедура создания программы с помощью традиционных языков программирования достаточно затратная по времени, которое требуется на компиляцию кода и последующую отладку программ (и так, иногда, по несколько раз). Кроме того, есть некоторые трудности в представлении необходимой оперативной экспресс-информации в процессе эксперимента.

При проектировании аппаратно-программного комплекса для решения предполагаемых задач термогазодинамики было решено остановиться на технологиях, предлагаемых фирмой National Instruments. Причиной такого решения была широкая хорошо проработанная номенклатура коммутационной и измерительной аппаратуры с очень удобным программным обеспечением в виде среды графического программирования LabVIEW [7]. На разных этапах экспериментов в качестве аппаратных средств использовался целый набор устройств с шиной USB для соединения с компьютером, в который входили многоканальные модули: NI USB 6210, NI USB 6218, NI USB 6225, NI USB 6255, NI USB 9213, многоканальный аналогово-цифровой преобразователь NI PCI-6071 и контакторный блок NI SCB-100, а также комплект на базе шасси SCXI с контакторными модулями SCXI-1303, мультимплексор-усилитель термопарный SCXI-1102, мультимплексор-усилитель SCXI-1102B и многоканальный аналогово-цифровой преобразователь PCI 6220. Общий объем измерительных каналов в этом комплекте — 256, что удовлетворяет потребности при исследовании больших полей измеряемых параметров. Использование устройств с шиной USB

и ноутбуков позволяет строить легкие и мобильные комплексы для работы даже в полевых условиях.

Для экспериментаторов LabVIEW представляет возможности гибкости и универсальности традиционных программных языков, например, таких как С. В сущности, язык графического программирования, предоставленный LabVIEW, состоит из тех же конструкций, что и традиционные языки программирования, включая переменные, типы данных, структуры циклов и последовательностей, а также средства обработки ошибок. К тому же, LabVIEW снабжен развитой интегрированной контекстной справочной системой.

Быстро создавать наглядные приложения автоматизации измерений и испытаний позволяет графическая среда разработки приложений LabVIEW со специализированными библиотеками функций. Графическое программирование и использование принципа потока данных открывает интуитивно понятный экспериментаторам подход к созданию автоматизированных измерительных систем. Создание приложений сводится к извлечению из палитры и вставке в проект любой из множества встроенных функций. Следует отметить, и это подтверждают эксперименты, что разработанная таким образом программа обладает скоростью исполнения, которая сопоставима со скоростью программы, разработанной на языке Си. Кроме того, LabVIEW позволяет проверить правильность работы программы с помощью таких интегрированных графических средств отладки, как, например, исполнение графических узлов по шагам или транзитом.

Процесс программирования виртуальных приборов превращается из процесса, который подразумевает процедуру последующей отладки программы, в процесс построения логической схемы взаимодействия набора инструментальных средств, который необходим для решения поставленной задачи, состоящей из сбора данных, их анализа и эффективного представления полученных результатов. Все перечисленное выше позволяет обходиться без профессионалов-программистов в коллективе экспериментаторов. Программы, созданные в среде LabVIEW, называют виртуальными приборами, потому что их внешний вид и выполняемые ими функции схожи с внешним видом и функциями реальных физических приборов.

Особенности инструментальных средств для решения отдельных задач

Средствам автоматизации исследований в аэродинамике, и в частности, в термогазодинамике, присущи некоторые общие черты (структуры, этапы технологического цикла) вне зависимости от физической сущности обслуживаемого эксперимента.

Учитывая, что работа проводится в расчете на проведение эксперимента на аэродинамических установках, в темпе эксперимента происходит накопление наблюдений с последующей обработкой

накопленной информации. В условиях термодинамического эксперимента, когда время выхода на заданный режим в связи с большими теплостоями элементов стенда значительно, появляется возможность проводить первичную обработку данных в темпе эксперимента, что позволяет сократить время эксперимента в целом.

Структура программных средств экспериментальных исследований в предметной области, связанной с условиями проведения эксперимента и потребностями адекватных методов обработки информации и представления результатов экспериментальных исследований, может быть представлена и следующем виде:

- 1) планирование эксперимента в целом и его отдельных этапов;
- 2) тестирование измерительно-регистрирующего тракта;
- 3) градуировка измерительно-регистрирующего тракта;
- 4) контроль режимных параметров экспериментальной установки;
- 5) съем и накопление наблюдений, управление приводами исполнительных механизмов экспериментального стенда;
- 6) обработка результатов отдельных этапов эксперимента;
- 7) обработка результатов эксперимента в целом и их представление.

Отметим некоторые особенности использования инструментальных средств LabVIEW на перечисленных этапах. На этапе планирования эксперимента определяется порядок работы с измерительными каналами измерительно-регистрирующего тракта (порядок опроса каналов и число циклов опросов). Затем определяется программа положения модели или ее элементов на каждом этапе эксперимента, а также программа управления перемещением зондов с сенсорными элементами с помощью координатных механизмов, и вводятся необходимые коэффициенты, константы и различные паспортные данные.

Тестирование измерительно-регистрирующего тракта может осуществляться на нескольких этапах проведения эксперимента. Для каждого этапа характерен свой способ. К элементам тестирования следует отнести программные блоки, позволяющие проверить отработку исполнительными механизмами и устройствами различных команд и их последовательности согласно алгоритму основной программы. Программы тестирования разрабатываются в среде LabVIEW в виде виртуальных приборов. Для тестирования можно использовать приложение LabVIEW Measurements & Automation Explorer.

На этапе градуировки измерительно-регистрирующего тракта необходимо проверять метрологические характеристики тракта, подавая на его вход эталонный сигнал и анализируя прохождения этого сигнала по всему тракту. Градуировку удобно проводить с помощью эталонных калибраторов, если

есть возможность управления калибратором по шине с компьютером.

Обычно собственно эксперименту предшествует градуировка измерительно-регистрирующего тракта. Процессы градуировки однокомпонентных и многокомпонентных датчиков несколько отличаются друг от друга. Различия сохраняются также при обработке градуировочных данных и при построении градуировочной зависимости.

Процесс градуировки заключается в серии эталонных воздействий на чувствительный элемент одного датчика или группы однотипных датчиков по заранее оформленному плану и регистрации соответствующих оцифрованных показаний измерительной аппаратуры. Данные формируются в виде таблицы откликов регистрирующей аппаратуры U и значений физического воздействия на чувствительный элемент датчика P и записываются в файл. Программа обработки данных градуировки начинает свою работу со считывания файла с градуировочным материалом. Одновременно можно обрабатывать несколько градуировок (до десяти), проведенных в разное время. Для рассматриваемого датчика формируется последовательность нагружений P_i и последовательность откликов регистрирующей аппаратуры U_i по всему объему введенного градуировочного материала. По полученному набору опорных точек (U_i, P_i) методом наименьших квадратов строятся аппроксимации, включающие более десятка разновидностей функциональных зависимостей, в том числе полиномы (до пятого порядка), логарифмическую и степенную функции, а также некоторые комбинации перечисленных элементарных функций. Затем с использованием критерия Фишера выбирается зависимость с наименьшей остаточной дисперсией, которая и принимается за искомую градуировочную функцию:

$$P = f(U).$$

За погрешность определения градуировочной зависимости принимается величина

$$\Delta P = \frac{St(X, n) \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - f(U_i))^2}}{n},$$

где $St(X, n)$ — квантили распределения Стьюдента для выборки объемом n с доверительной вероятностью X ; P_i — серия эталонных нагружений; U_i — серия откликов регистрирующей аппаратуры; $f(U_i)$ — серия восстановленных значений нагружений.

Градуировка признается удовлетворительной, если относительная погрешность градуировки, определенная по формуле

$$\Delta \overline{Pt} = \frac{\Delta P}{P_{\min} + 0,5(P_{\max} - P_{\min})} \cdot 100\%,$$

где ΔP — погрешность градуировочной зависимости; $P_{\min}$ — минимальное значение диапазона датчика;

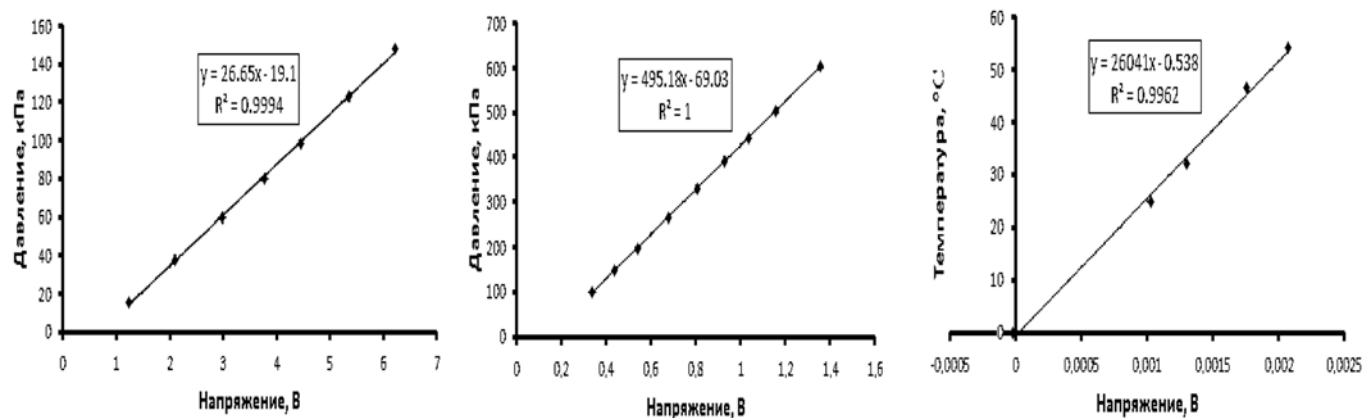


Рис. 2. Градуировочные характеристики датчиков:

a — датчик давления ИКД27Да-1500; *б* — датчик давления Honeywell ML300PS2PC; *в* — хромель-копелевых термопар ($y = f(x)$ — уравнение аппроксимации градуировочной зависимости; R^2 — значение достоверности аппроксимации)

$P_{\max}$ — максимальное значение диапазона датчика, не превосходит 3...5 %.

Опыт работы с современными датчиками показывает, что, как правило, они аппроксимируются линейными функциями. Поэтому возможно упростить процедуру градуировки и свести программы накопления наблюдений с программой обработки градуировочной зависимости в один блок. Для примера на рис. 2 представлены характеристики применяемых в экспериментах датчиков.

При градуировке датчиков давления использовались калибраторы давления типа PC-6 и DPM, связь с компьютером осуществлялась по шине COM-2 под управлением программы в среде LabVIEW. Все программы градуировки выполнены в виде виртуальных приборов.

Результаты градуировки всех используемых в экспериментальных работах датчиков формируются в сводную таблицу в виде некоторой базы данных, в которую заносятся все данные датчиков. Из этой таблицы потом легко формируются файлы с данными набора датчиков для конкретного эксперимента.

Во всех экспериментальных исследованиях требуется определять большое число параметров (поля давлений и температур), что приводит к необходимости накапливать информацию с различного рода сенсорных устройств. Для этих целей экспериментальный стенд оборудован аппаратурой, способной работать в многоточечном режиме и отвечать высоким требованиям по надежности и точности регистрируемых данных. На рис. 3 показаны компоненты системы сбора данных, в состав которой входят

датчики и измерительные преобразователи, нормирующие устройства (устройства кондиционирования сигналов), соединительные кабели между различными устройствами и аксессуарами к ним, программное обеспечение и персональный компьютер.

Общие принципы построения виртуальных приборов для экспериментальных работ по обсуждаемой тематике сводятся к программированию следующих процедур:

- 1) инициирование оборудования, которое состоит из выбора типа и расположения коммутационно-измерительного модуля; порядка опроса измерительных каналов; режима опроса измерительных каналов; ввода идентификаторов имен файлов, в которые записывается накопленная информация; ввода имен файлов, из которых считывается необходимая для проведения эксперимента информация (градуировочные коэффициенты, необходимые константы); оформления режима работы необходимых исполнительных устройств;

- 2) формирование формы протокола для записи накопленной информации;



Рис. 3. Общая схема формирования контрольно-измерительной системы

- 3) организация мониторов для наблюдения за выходом стенда на заданный режим;
- 4) управление записью накопленной информации;
- 5) выключение измерительной аппаратуры по окончании этапа эксперимента.

Примеры решения некоторых задач

Рассмотрим примеры схем измерительно-реги-стрирующих трактов экспериментальных стендов.

Экспериментальный стенд исследования теплообмена (соотношение между теплообменом и сопротивлением) на "вихреобразующих" поверхностях). Комплект аппаратных средств (рис. 4) стенда исследования теплообмена на "вихреобразующих" поверхностях состоит из набора датчиков давления, термопар, аэродинамических тевовесов, многофункционального блока NI PCI-6071 (мультиплексор, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь), контактного блока NI SCB-100, термопарного мультиплексора-усилителя NI USB-9213, координатных устройств перемещения зондов и персонального компьютера (ПК). При градуировке датчиков давления использовался калибратор РС-6.

Экспериментальный стенд исследования газодинамической температурной стратификации (безмашинное температурное разделение) потоков. Комплект аппаратных средств (рис. 5) экспериментального стенда исследования газодинамической температурной стратификации состоит из набора датчиков давления, термопар, датчика относительной влажности газа, модуля NI USB-6255 (мультиплексор,

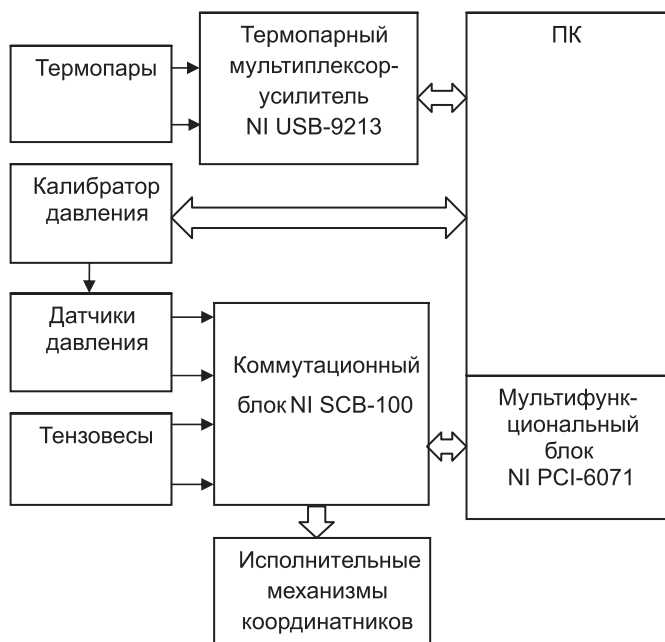


Рис. 4. Пример схемы измерительно-регистрирующей системы на базе модуля с шиной USB и встроенного аналого-цифрового преобразователя

аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь), термопарного мультиплексора-усилителя NI USB-9213, координатных устройств перемещения зондов и персонального компьютера. При градуировке датчиков давления использовался калибратор РС-6.

Экспериментальный стенд для исследования эффективности тепловой защиты при вдуве охлаждающего газа через пористые поверхности ("пористое" охлаждение) и влияния падающей ударной волны на адиабатную температуру стенки и коэффициент восстановления температуры. Комплект аппаратных средств (рис. 6) экспериментального стенда исследования эффективности тепловой защиты при вдуве охлаждающего газа через пористые поверхности и влияния падающей ударной волны на адиабатную температуру стенки и коэффициент восстановления температуры состоит из набора датчиков давления, термопар, модульной платформы SCXI, состоящей из четырех контактных блоков SCXI-1303, двух мультиплексоров-усилителей SCXI-1102B для работы с датчиками давления, двух мультиплексоров-усилителей SCXI-1102 для работы с термопарами, многофункционального блока NI PCI-6220, координатных устройств перемещения зондов и персонального компьютера. При градуировке датчиков давления использовался калибратор РС-6.

Примеры виртуальных приборов экспериментальных стендов

На рис. 7 показан общий вид виртуального прибора управления градуировкой датчиков в среде LabVIEW. На экране отображается представление виртуального прибора с выводами результатов наблюдения. Левая часть экрана — инициализация оборудования, правая часть экрана — монитор, отображающий выход параметров каждого градуируемого датчика на заданный режим и результаты первичной обработки данных (среднее значение, отклонение в абсолютных и относительных величинах).

На рис. 8 в логической последовательности работы слева направо расположены: в левой части кода функции ввода параметров и инициализация оборудования, далее — часть кода, которая осуществляет выход параметров измерительных каналов на заданный режим и показывает этот процесс на мониторе в режиме реального времени.

На рис. 9 показан только фрагмент виртуального прибора, отображающий процесс наблюдений контроля в процессе эксперимента таких параметров, как полное давление, температура торможения, число Маха набегающего потока, распределение по длине модели статического давления, числа Маха и температуры стенки. На экран выведены мониторы выхода параметров на установившийся режим и элементы управления записью информации в файл.

На рис. 10 показана часть кода, которая выполняет считывание информации с учетом градуировоч-

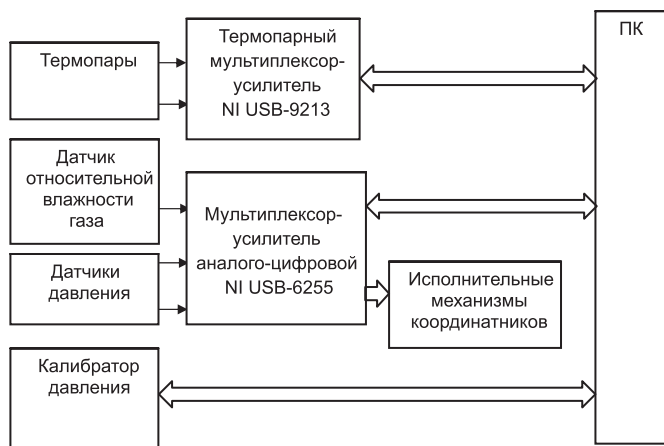


Рис. 5. Пример схемы измерительно-регистрающей системы на базе модулей с шиной USB

ных коэффициентов каналов давления и температур. После чего параметры выводятся на монитор для контроля выхода на установившийся режим.

На рис. 11 (см. третью сторону обложки) показано окно монитора вывода на заданные режимные параметры потока и управление записью информации. Информация выводится в виде осциллограмм для отслеживания динамики процесса и в цифровом виде, как результат осреднения за определенный интервал времени.

На рис. 12, а (см. третью сторону обложки) представлена часть кода, которая выполняет считывание информации с учетом градуировочных коэффициентов каналов давления и температур. После чего параметры выводятся на монитор для контроля выхода

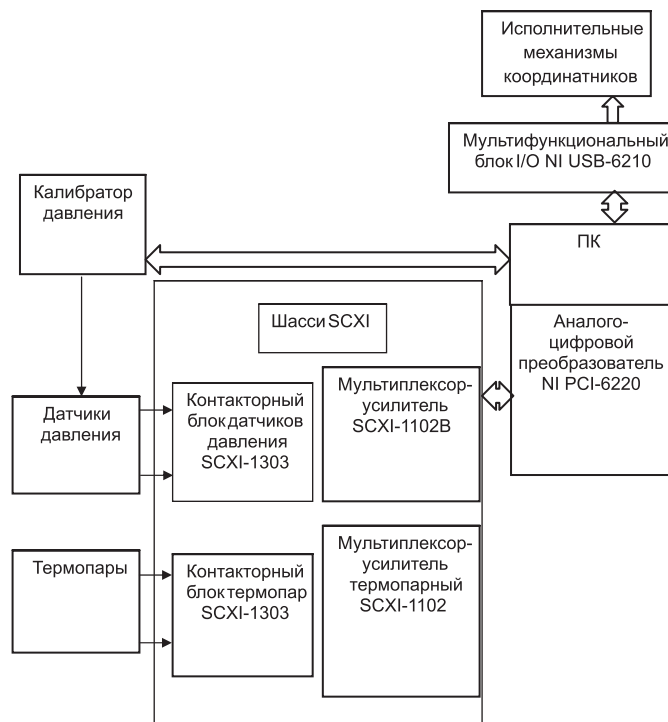


Рис. 6. Пример схемы измерительно-регистрающей системы на базе платформы SCXI

на установившийся режим. На рис. 12, б (см. третью сторону обложки) показана часть кода управления исполнительными устройствами координатников и считывания накопленных наблюдений.

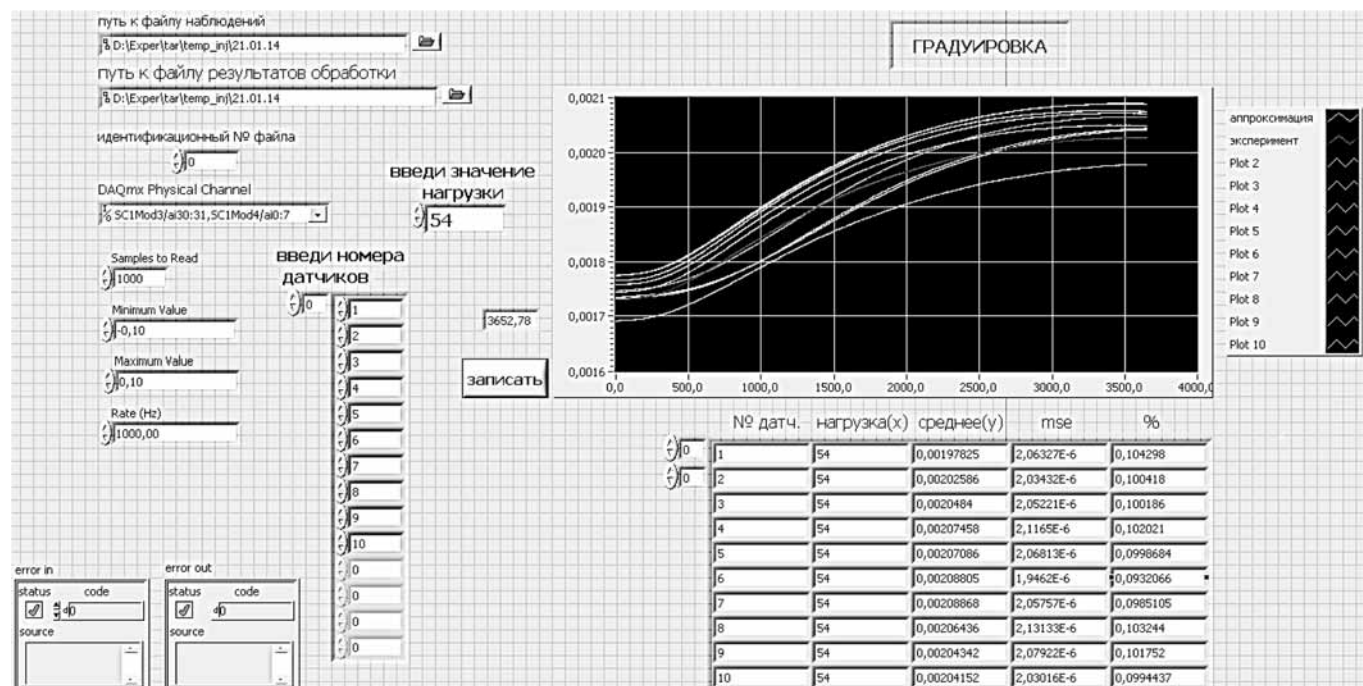


Рис. 7. Общий вид окна управления виртуального прибора градуировкой датчиков в среде LabVIEW

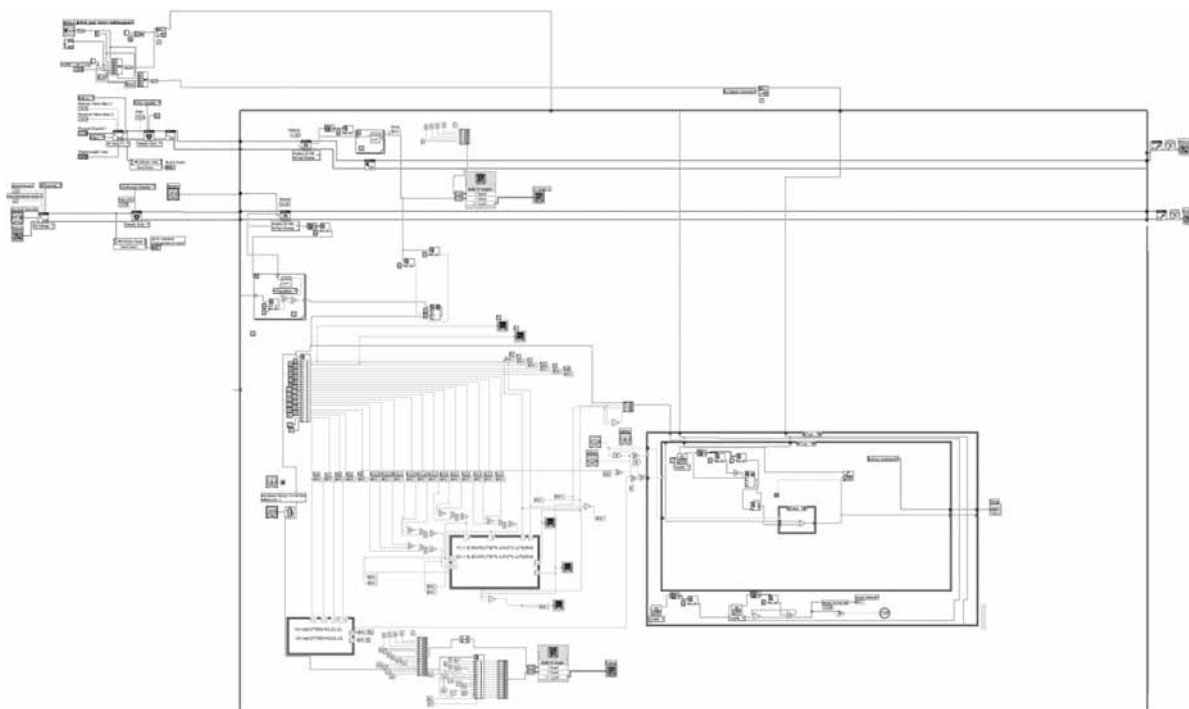


Рис. 14. Фрагмент кода программы экспериментального исследования теплообмена на "вихреобразующих" поверхностях в среде LabVIEW

На рис. 13 показан фрагмент виртуального прибора экспериментального стенда исследования теплообмена (соотношение между теплообменом и сопротивлением) на "вихреобразующих" поверхностях. На окно монитора выведены осциллограммы параметров выхода на заданные режимные параметры потока для отслеживания динамики процесса, цифровые индикаторы как результат осреднения за определенный интервал времени и элементы управления записью информации.

На рис. 14 показана часть кода виртуального прибора монитора вывода стенда на заданные режимные параметры потока и температурного режима модели.

Заключение

Опыт экспериментальной работы в области термогазодинамики в лаборатории с использованием систем регистрации данных с помощью оборудования фирмы National Instruments, автоматизированных программ опроса и обработки показаний сенсорных устройств в среде LabVIEW и первичной математической обработки накопленной информации демонстрирует высокую эффективность применяемых технологий, связанную с хорошей проработкой измерительного оборудования (многофункциональность, многоканальность, быстродействие и высокое разрешение). Программное обеспечение аппаратно-измерительных комплексов экспериментальных стендов в среде LabVIEW может быть разработано без помощи профессиональных программистов самими экспериментаторами-исследователями

на основе интуитивно понятного подхода к созданию автоматизированных измерительных систем. В целом, аппаратно-измерительный комплекс получается очень мобильным и легко перестраиваемым даже в процессе эксперимента. На экспериментальных стендах проводятся лабораторные работы специального студенческого практикума механико-математического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и факультета энергомашиностроения МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Работы выполнялись при финансовой поддержке РФФИ (грант 15-08-08428).

Список литературы

1. Leontiev A. I., Kiselev N. A., Zditovets A. G., Burtcev S. A., Strongin M. M., Vinogradov Yu. A. Experimental investigation of heat transfer and drag on surfaces with spherical dimples // Exp. Temp. Fluid Sci. 2016. Vol. 79. P. 74–84.
2. Кикнадзе С. С., Леонтьев А. И. Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: Энергия, 1985. 320 с.
3. Волчков Э. П. Пристенные газовые завесы. Новосибирск: Наука, 1983. 240 с.
4. Здиловец А. Г., Виноградов Ю. А., Стронгин М. М., Титов А. А., Киселев Н. А. Безмашинное энергоразделение газовых потоков. М.: Курс, 2016. 110 с.
5. Стронгин М. М. Создание и развитие автоматизированных систем физического моделирования в механике. Пакет программ для проведения аэродинамического эксперимента. НИИ механики МГУ, Отчет № 4304, 1993. 36 с.
6. Виноградов Ю. А., Стронгин М. М. Пакет прикладных программ для проведения аэродинамического эксперимента (дополнение для решения задач эффективности "пористого" охлаждения). НИИ механики МГУ, Отчет № 4404, 1995. 68 с.
7. Тревис Д. LabVIEW для всех. Пер. с англ. Клушин Н. А. М.: ПриборКомплект, 2005. 537 с.

Applying of National Instruments Technologies in Experimental Research of Thermal Gas Dynamics Processes

M. M. Strongin, strongiv@imec.msu.ru, **Yu. A. Vinogradov**, vinograd@imec.msu.ru,
A. G. Zditovets, zditovets@mail.ru, **N. A. Kiselev**, kiselev.nick.a@gmail.ru,
S. S. Popovich, pss1@mail.ru, Lomonosov Moscow State University, Institute of mechanics, Moscow,
119899, Russian Federation

Corresponding autor:

Strongin Mark M., Senior Researcher, Moscow Lomonosov State University, Institute of Mechanics, Moscow,
119899, Russian Federation,
E-mail: strongin@imec.msu.ru

Received on March 10, 2017

Accepted on March 27, 2017

Research of heat and mass transfer augmentation methods has attracted, attracts and will attract great attention of engineers, research workers and all those who are by some way connected with heat power engineering. At present, application of efficient methods of heat transfer processes augmentation is one of the main and most accessible ways to improve the efficiency and economy of power equipment. The paper presents the authors' experience gained with the use of National Instruments technologies during experimental studies of thermal gas dynamics. Examples of equipping an experimental test stand for studying various aspects of heat and mass transfer by measuring equipment and special software demonstrate the efficiency of creating hardware and software packages solely by experimenters without professional programmers involvement. Successful experimental experience in the laboratory of thermal gas dynamics is described including National Instruments data recording systems, automated programs for sampling and processing of sensor device readings in LabVIEW development environment and primary mathematical processing of the accumulated data. These examples demonstrate high efficiency of the applied technologies in connection with high quality engineering of the measuring equipment (multifunctionality, multichannel, high response speed and high resolution). The software of experimental hardware measuring units in the LabVIEW environment can be easily developed by researchers thanks to intuitive approach to the creation of automated measuring systems. In general, a hardware measuring unit is rather mobile and easily reconfigurable even during the experiment. Special students' practical works of the Mechanics and Mathematics faculty of Lomonosov Moscow State University and the Power Engineering faculty of Bauman Moscow State Technical University are conducted on the basis of the Thermal Gas Dynamics Laboratory experimental test stand.

Keywords: National Instruments, LabVIEW, thermal gas dynamics, heat mass transfer, aerodynamic wind tunnel, virtual device

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project nos. 15-08-08428.

For citation:

Strongin M. M., Vinogradov Yu. A., Zditovets A. G., Kiselev N. A., Popovich S. S. Applying of National Instruments Technologies in Experimental Research of Thermal Gas Dynamics Processes, *Programmnaya Ingeneria*, 2017, vol. 8, no. 5, pp. 230–240.

DOI: 10.17587/prin.8.230-240

References

1. **Leontiev A. I., Kiselev N. A., Zditovets A. G., Burtcev S. A., Strongin M. M., Vinogradov Yu. A.** Experimental investigation of heat transfer and drag on surfaces with spherical dimples, *Exp. Temp. Fluid Sci.*, 2016, vol. 79, pp. 74–84.
2. **Kutateldze S. S., Leontiev A. I.** *Teploobmen i trenie v turbulentnom pogrannichnom sloe* (Heat exchange and friction in turbulent boundary layer), Moscow, Energiya, 1985, 320 p. (in Russian).
3. **Volchkov E. P.** *Pristennyye gazovyye zavesy* (Near-wall gas screens) Novosibirsk Nayka, 1983, 240 p. (in Russian).
4. **Zditovets A. G., Vinogradov Yu. A., Strongin M. M., Titov A. A., Kiselev N. A.** *Bezmaslinnoe energorazdelenie gazovykh potokov* (Machineless energy separation of gas flows), Moscow, Kyr, 2016, 110 p. (in Russian).
5. **Strongin M. M.** *Sozdanie i razvitie avtomatizirovannykh sistem fizicheskogo modelirovaniya v mehanike. Paket programm dlja provedeniya aerodinamicheskogo eksperimenta* (Creation and development of automatized systems of physical modelling in mechanics. Programs pack for running aerodynamic experiment), Moscow, NII mehaniki MGU, Otchet no. 4304, 1993, 36 p. (in Russian).
6. **Vinogradov Yu. A., Strongin M. M.** *Paket prikladnykh programm dlja provedeniya aerodinamicheskogo eksperimenta (dopolnenie dlja resheniya zadach effektivnosti "poristogo ohlajdeniya")* (Applied programs pack for carrying out aerodynamic experiment (supplement for solution the problem of "porous" cooling efficiency)), Moscow, NII mehaniki MGU, Otchet no. 4404, 1995, 68 p. (in Russian).
7. **Travis J.** *LabVIEW for Everyone*, Saddle River NJ, Printice Hall, 2002, 589 p.

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский пер., 4
Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *И. Е. Назарова*

Сдано в набор 09.03.2017 г. Подписано в печать 00.04.2017 г. Формат 60×88 1/8. Заказ PI517
Цена свободная.

Оригинал-макет ООО "Авансд солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюшнз".
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru