

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ГИДРОДИНАМИКЕ И ТЕПЛООБМЕНУ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЕННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ДОСТУПА

Разуванов Н.Г., к.т.н. ст.н.с., Свиридов В.Г., д.т.н. проф., Смирнов Ю.Б., к.т.н. доц., Чуркин М.Ю., студент

*г. Москва, Московский энергетический институт (ТУ), www.mpei.ru
Научно-производственная фирма «ЦАТИ» – Центр Автоматизации
Теплофизических Исследований, www.cati.ru, e-mail: cati@cati.ru*

В подготовке специалистов, занимающихся как разработкой, так и эксплуатацией энергетического оборудования, важнейшее место занимают дисциплины, в которых излагаются основы гидродинамики и теплообмена. Эти дисциплины («Тепломассообмен», «Основы тепломассообмена», «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании АЭС» и другие) включены в Государственные общеобразовательные стандарты подготовки специалистов и магистров по направлениям «Техническая физика», «Теплоэнергетика» и «Энергомашиностроение», и типовыми учебными планами по ним предусмотрено выполнение лабораторного практикума. Одним из направлений деятельности кафедры Инженерной теплофизики Московского энергетического института является создание автоматизированного лабораторного практикума с возможностью удаленного компьютерного доступа (АЛП УД) по гидродинамике и теплообмену [1].

Содержание лабораторного практикума по гидродинамике и теплообмену с возможностью удаленного компьютерного доступа, на наш взгляд, должно удовлетворять двум требованиям.

Во-первых, тематика лабораторных работ, составляющих *основу* практикума, должна соответствовать базовым разделам теоретических дисциплин и по этой причине быть полезной для вузов, в которых читаются перечисленные выше курсы или близкие к ним по содержанию. Для упомянутых дисциплин базовыми разделами являются: гидродинамика ламинарных и турбулентных потоков, теплообмен при вынужденной конвекции жидкости и газа в каналах и при внешнем обтекании тел, теплообмен при ламинарной и турбулентной свободной конвекции, теплообмен при кипении и конденсации.

Во-вторых, в состав лабораторных практикумов удаленного доступа должны включаться *новые* экспериментальные стенды по

проблематике, зависящей от тенденций развития тепловой и атомной энергетики. В частности, в ближайшие десятилетия в атомной энергетике получат распространение реакторы-размножители на быстрых нейтронах. В этих реакторах в качестве теплоносителей могут использоваться инертные газы, а теплообмен между поверхностью теплообмена и теплоносителем происходит в условиях переменной по длине плотности теплового потока на стенке, что оказывает существенное влияние на характеристики теплообмена. Однако в настоящее время создание в учебных лабораториях вузов достаточно технически сложных стендов, предназначенных для лабораторного моделирования теплообмена при течении газов в каналах в условиях переменного теплоподвода по длине активной зоны реактора-размножителя, по целому ряду причин, указанных в [2], не представляется возможным. В то же время уникальные экспериментальные стенды для моделирования теплообмена в активной зоне газоохлаждаемого реактора на быстрых нейтронах имеются в некоторых научных лабораториях вузов и отраслевых исследовательских центров и с использованием современных информационных и телекоммуникационных технологий могут быть использованы вузами для работы в режиме удаленного компьютерного доступа.

Принципиальная схема построения автоматизированного лабораторного практикума, разработанная в МЭИ, показана на рис. 1. Согласно этой схеме, лабораторные стенды могут быть использованы в учебном процессе как «удаленных» вузов, так и базового вуза в тех случаях, когда прямой доступ студентов к этим стендам во время их работы нежелателен (например, по соображениям техники безопасности). В [2] описано развитие на основе этой схемы АЛП УД теплофизического профиля за счет жидкометаллических научно-исследовательских стендов МЭИ и Объединенного института высоких температур РАН.

В настоящей статье рассмотрены технические и научно-методические проблемы, которые пришлось решить авторам при включении в состав АЛП УД по гидродинамике и теплообмену экспериментального стенда кафедры Инженерной теплофизики МЭИ (ТУ), предназначенного для модельного исследования теплообмена при течении газовых теплоносителей в каналах активной зоны реактора-размножителя в условиях переменного по длине канала теплоподвода.

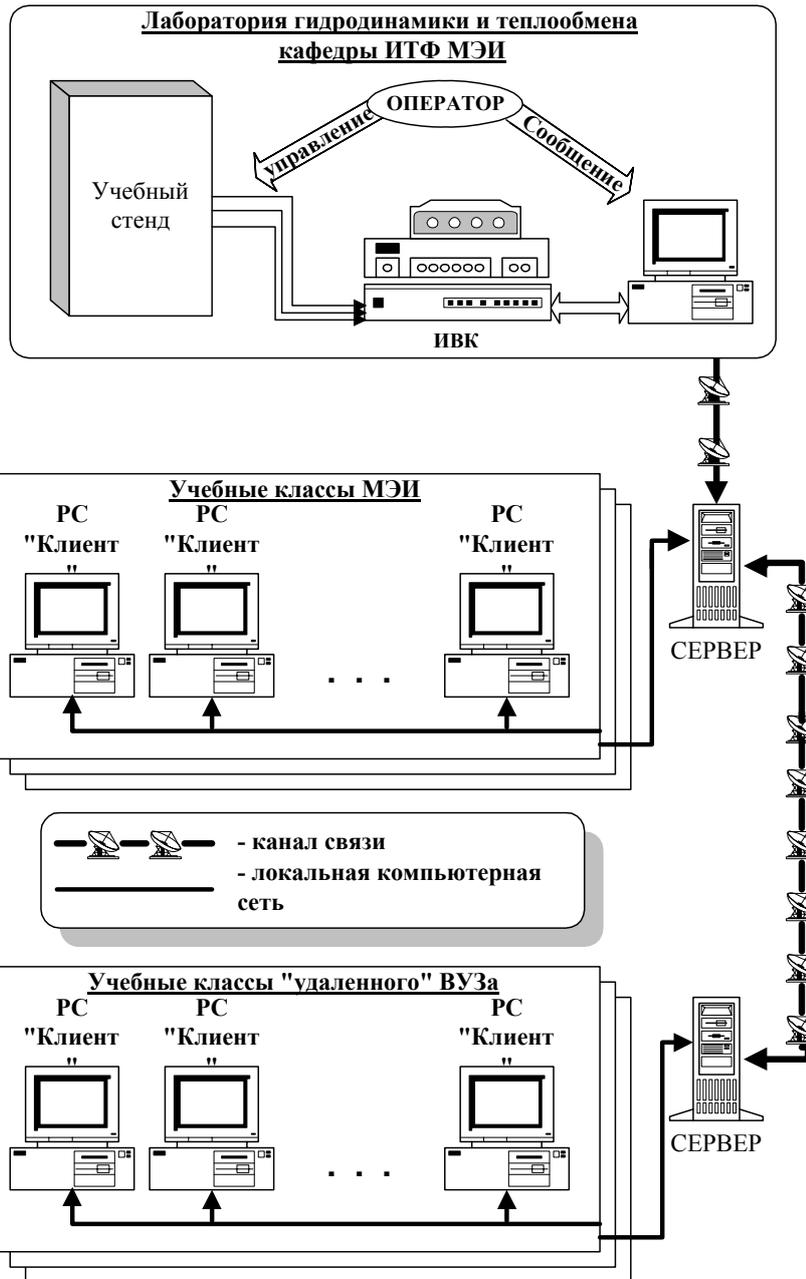


Рис.1. Схема организации удаленного компьютерного доступа

Стенд представляет собой разомкнутый контур, принципиальная схема которого (до включения в АЛП УД) показана на рис. 2. Воздух от компрессора 1 проходит через вентиль 2, служащий для регулирования расхода газа, далее через калориметрический расходомер 3 и поступает в рабочий участок 6, а затем выбрасывается в атмосферу.

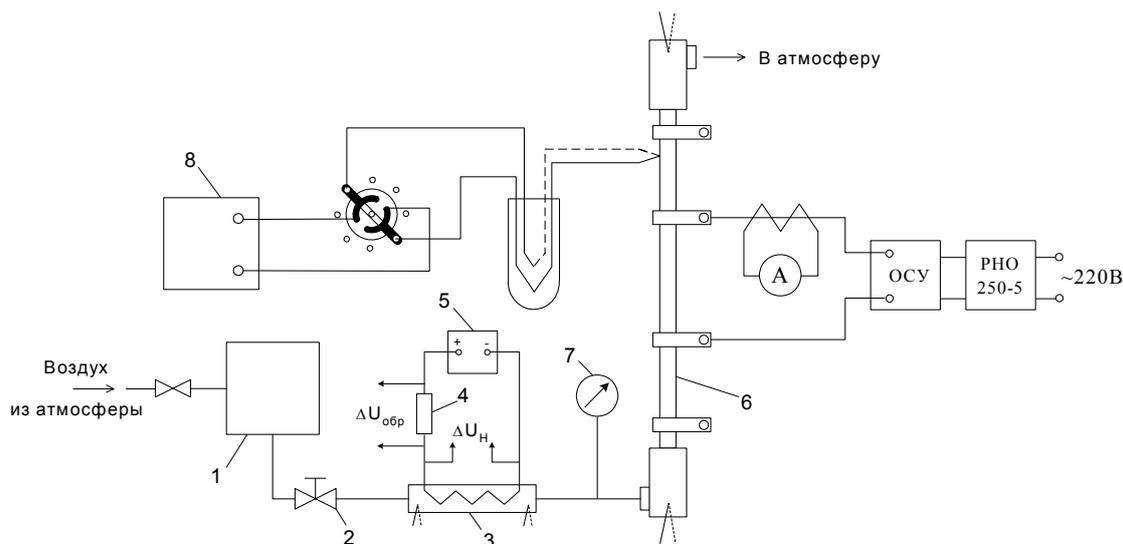


Рис. 2. Принципиальная схема стенда (до включения в АПП УД)

Образцовый манометр 7 служит для определения давления на входе в опытный участок. Труба рабочего участка обогревается путем непосредственного пропускания по ней переменного электрического тока. Для регулировки мощности используется автотрансформатор РНО-250-5, подключенный к трубе через понижающий трансформатор ОСУ-20. Труба изготовлена из нержавеющей стали 12Х18Н9Т с малым температурным коэффициентом электросопротивления. Внутренний диаметр трубы - постоянный, а наружный диаметр изменяется по длине, что обеспечивает реализацию заданного закона изменения плотности теплового потока по длине. Для измерения температуры стенки применяются термопары, спаи которых приварены к наружной поверхности трубы. Среднемассовая температура газа измеряется термопарами на входе и выходе рабочего участка. При проведении опытов в «ручном» режиме измерение ЭДС термопар производится с помощью цифрового милливольтметра 8, а ток через трубу измеряется амперметром, включенным через трансформатор тока. Расход газа определяется по результатам измерения мощности, выделяемой в нагревателе калориметрического расходомера, и подогрева газа в расходомере.

Стенд был автоматизирован с целью включения его в состав АПП УД. Для этого стенд был дооснащен :

- 1) персональным компьютером с адаптером приборного интерфейса стандарта IEEE-488 (КОП) NI GPIB -488 и сетевой платой;
- 2) отечественными приборами в стандарте КОП:

- цифровым вольтметром В7-34,
 - коммутатором измерительных сигналов Ф7078К с кабелями интерфейса и измерительными кабелями;
- 3) инструментальной программной средой LabWindows/CVI™;
- 4) средствами для подключения к сети Internet и соответствующим программным обеспечением.

Была выполнена прокладка кабелей для вывода всех измерительных линий от стенда к коммутатору, входящему в состав измерительно-вычислительного комплекса, а также на измерительную плату компьютера. Кроме того, было разработано и отлажено программное обеспечение, позволяющее проводить автоматизированный эксперимент на стенде с возможностью удаленного доступа. Структурная схема автоматизированного стенда приведена на рис. 3.

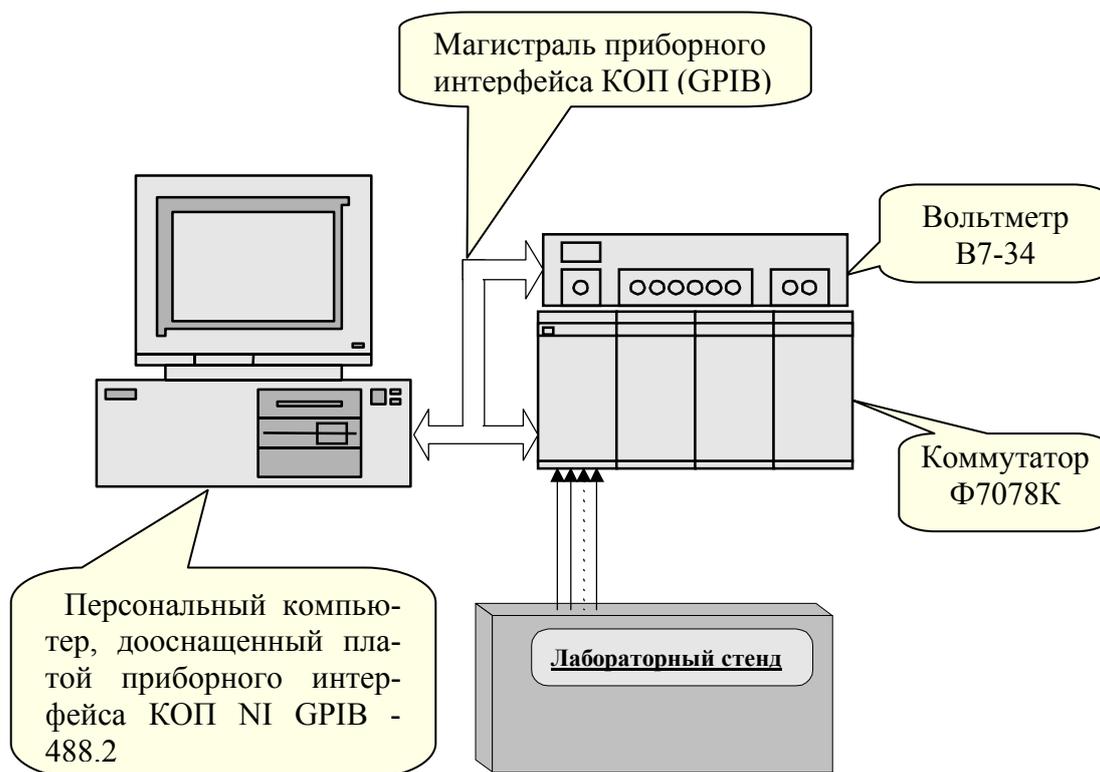


Рис.3. Структурная схема автоматизированного лабораторного стенда

В дополнение к измерительным средствам стенд может быть укомплектован средствами мультимедиа (видеокамера, устройства аудиовоспроизведения и аудиозаписи) для проведения телеконференций в ходе эксперимента и обсуждения результатов.

Выполнение лабораторных работ в режиме удаленного доступа осуществляется студентами при поддержании диалога с оператором, обслуживающим стенд.

Для проведения опытов в дистанционном режиме используется программа сбора и обработки данных, интерфейс которой состоит из пяти виртуальных панелей.

Панель №1 – панель регистрации студентов, выполняющих лабораторную работу (рис. 4). Панель включает в себя три строки ввода и две управляющие кнопки. Строки ввода и кнопка «Ввод данных» предназначены для занесения данных о студентах в файл отчета. При нажатии на кнопку «Начало работы» открывается вторая панель.

Панель №2–«Схема установки» (рис. 5). На ней представлена принципиальная схема лабораторного стенда для исследования теплообмена при течении воздуха в круглой трубе в условиях переменного по длине теплоподвода. На панели расположены две управляющие кнопки. Кнопка «Выход» предназначена для прерывания работы программы, а кнопка «Измерение» – для сбора данных с приборов. При нажатии на кнопку «Измерение» открывается третья панель.

Панель №3 – «Результаты измерений (первичные данные)» изображена на рис. 6. На ней показаны результаты измерений температуры стенки трубы рабочего участка на различных расстояниях от начала обогрева, температуры газа на входе и выходе рабочего участка и калориметрического расходомера, электрического тока и напряжения на трубе рабочего участка и на нагревателе расходомера. На этой панели расположены управляющие кнопки и самописец. Кнопка «Запись в файл» позволяет создать файл отчета и внести в него собранные экспериментальные данные. При нажатии на нее выводится диалоговое окно со строкой ввода имени файла. Кнопка «Окончание работы» предназначена для прерывания программы, а кнопка «Измерение при новых параметрах» – для перехода к проведению измерений при других режимных параметрах. Самописец служит для наблюдения за показаниями терморпар рабочего участка при установлении стационарного режима. Запуск самописца производится кнопкой «Пуск», а остановка его работы – кнопкой «Стоп». Кнопка «Обработка результатов» предназначена для

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТЕЧЕНИИ ГАЗА В КРУГЛОЙ ТРУБЕ В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ ПО ДЛИНЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

РЕГИСТРАЦИЯ

Заполни форму

Группа	Бригада №
Тф-10-97	3
ФАМИЛИЯ И. О. студента	
Чуркин М. Ю., Субачева Е. В.	

Ввод данных

Начало работы

Рис. 4. Панель № 1.

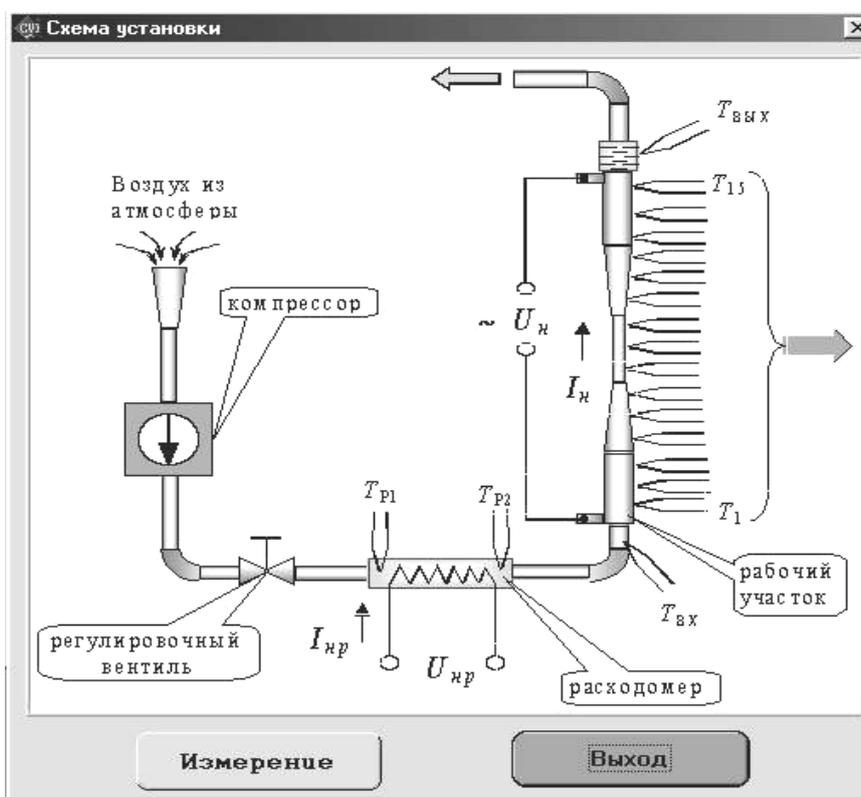


Рис. 5. Панель № 2.

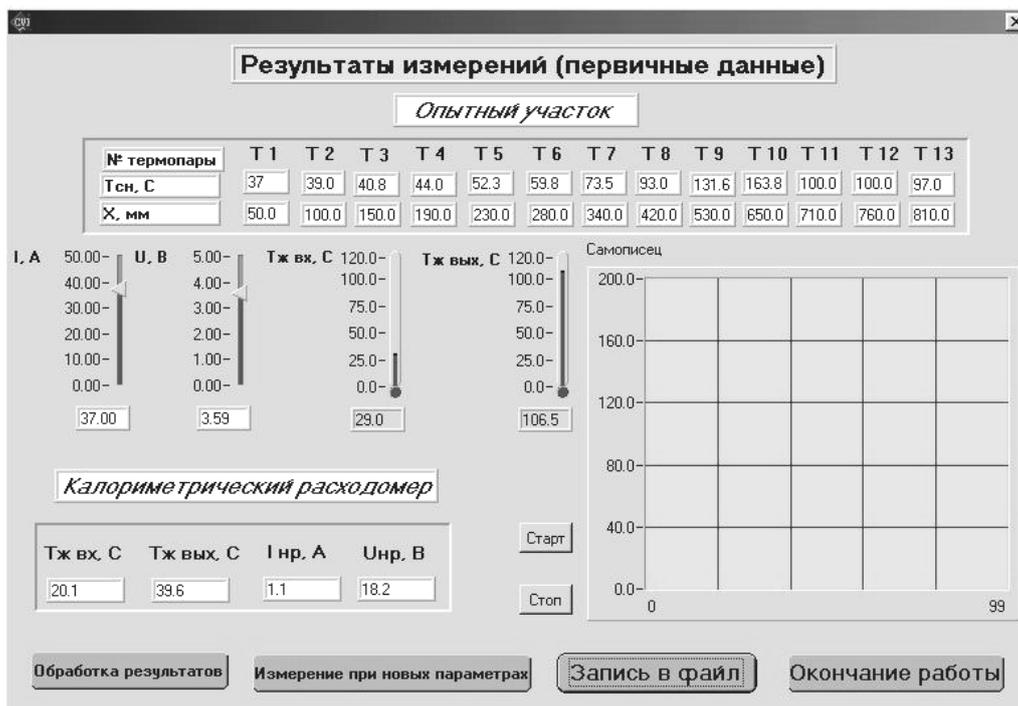


Рис. 6. Панель № 3.

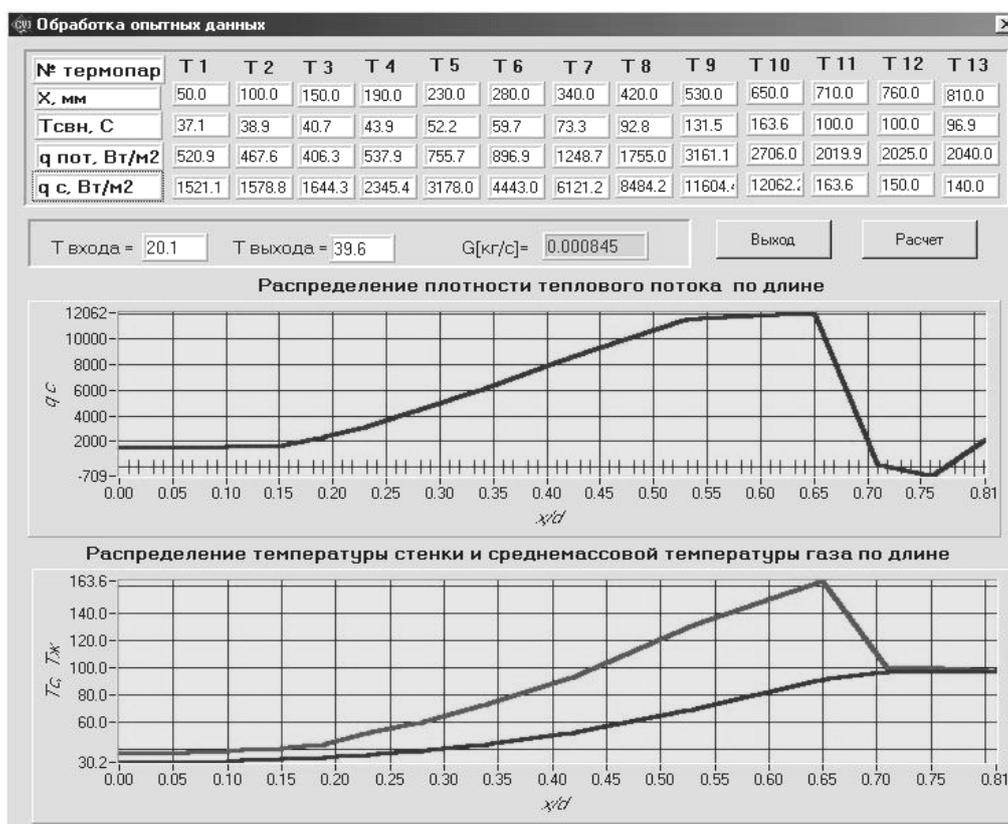


Рис. 7. Панель № 4.

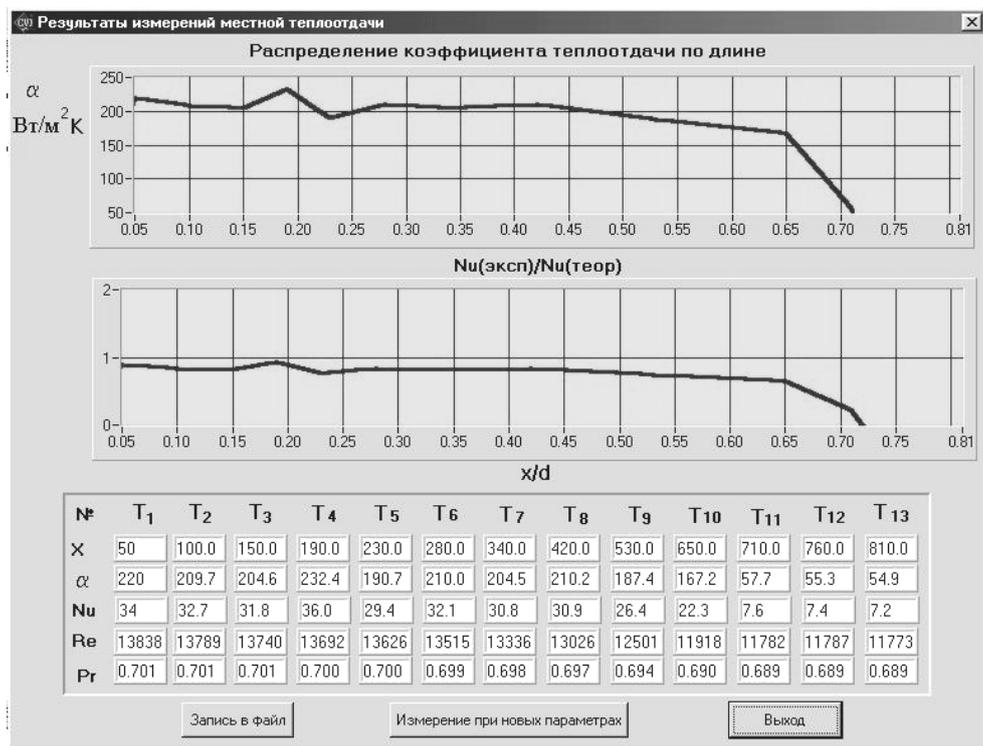


Рис. 8. Панель № 5.

расчета параметров теплоотдачи. При нажатии на эту кнопку открывается четвертая панель.

Панель №4 – «Обработка опытных данных» (рис. 7). На панели представлены графики изменения плотности теплового потока на стенке, температуры газа и температуры стенки по длине трубы рабочего участка. Кнопка «Расчет» предназначена для вывода результатов расчета по полученным экспериментальным данным коэффициентов теплоотдачи на различных расстояниях от входа в трубу. При нажатии на эту кнопку открывается пятая панель.

Панель №5 – «Результаты расчета местной теплоотдачи» (рис. 8). На панели представлены полученные в эксперименте значения местных коэффициентов теплоотдачи в виде графика и таблицы, а также график, на котором опытные данные по теплоотдаче, сравниваются (в безразмерной форме) с результатом теоретического расчета теплоотдачи при тех же режимных параметрах. На панели имеются три управляющие кнопки: «Выход», «Запись в файл» и «Измерение при новых параметрах». При нажатии на последнюю снова происходит сбор экспериментальных данных и открывается панель №3 «Результаты измерений (первичные данные).

Как отмечалось в [2], в настоящее время уже решены технические проблемы, связанные с организацией дистанционного доступа к лабораторным стендам. Вместе с тем, при переходе к проведению лабораторных работ в режиме дистанционного автоматизированного сбора и обработки опытных данных требуется решение возникающих при этом методических проблем.

Работа с виртуальными панелями позволяет с помощью имеющихся на стенде средств автоматизации и специально разработанных программ для сбора и обработки опытных данных за очень короткое время получить, как это видно из рис. 2 – 5, большой объем экспериментального материала, обработать его, построить необходимые графики и провести сравнение измеренных величин (например, коэффициента теплоотдачи) с результатами расчета по теоретическим соотношениям. Вместе с тем, переход от одного стационарного состояния к другому при изменении режимных параметров рассматриваемого лабораторного стенда требует достаточно длительного времени (не менее 30 минут). Это позволяет предусмотреть для студентов, выполняющих лабораторную работу, дополнительные задания, связанные с предварительным расчетом (оценкой) режимных параметров и ожидаемых значений измеряемых величин в каждом следующем опыте, например:

расхода воздуха, который необходимо создать для получения режима течения с заданным числом Рейнольдса в трубе рабочего участка;

электрического тока, проходящего по стенке трубы;

температуры воздуха на выходе из рабочего участка;

максимальной температуры стенки трубы рабочего участка.

Выполняя такие расчеты (в ручном режиме или с помощью специально разработанного программного обеспечения), студенты осознанно выбирают режимные параметры работы стенда, запоминают порядки значений теплофизических свойств теплоносителя, плотностей теплового потока, коэффициентов теплоотдачи при течении в трубах.

Другой вид дополнительных заданий для студентов – проведение после завершения своих измерений анализа опытной информации, полученной ранее на данном стенде в других условиях (например, при более высоких режимных параметрах, для другого теплоносителя, при другом законе изменения плотности теплового потока по длине трубы). Эти задания требуют творческого подхода и позволяют студентам активно использовать полученные знания в области теории теплообмена.

Весьма важное значение при подготовке студентов к выполнению данной лабораторной работы в режиме удаленного доступа приобретает предварительное изучение чертежей рабочего участка и всех остальных элементов стенда.

В программное обеспечение лабораторной работы включены также задания для автоматизированного контроля знаний студентов по разделу «Теплообмен при вынужденной конвекции в трубах» и по технике тепловых измерений, проводящегося как при сдаче коллоквиума перед выполнением работы, так и при защите работы.

Автоматизированная лабораторная работа была выполнена в режиме удаленного доступа в осеннем семестре 2001/2002 учебного года студентами 4-го курса специальности «Теплофизика» МЭИ.

Работа проводилась в соответствии с хоздоговорной НИР по заданию ГосНИИ Системной интеграции Минобрнауки РФ. Большую научно-техническую и финансовую поддержку работы оказала научно-производственная фирма АОЗТ «ЦАТИ».

Литература

1. Арбузов Ю.В., Леньшин В.Н., Свиридов В.Г. Учебный лабораторный практикум в системе дистанционного образования. Проблемы информатизации, М., 1996, вып.3.
2. Генин Л.Г., Листратов Я.И., Разуванов Н.Г., Свиридов В.Г., Свиридов Е.В. Уникальные экспериментальные стенды в режиме удаленного доступа как эффективная возможность развития учебных лабораторий вузов. Индустрия образования, М., 2001, вып.1.