

19. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. - Томск: МП «РАСКО», 1991.
20. Копченова Н.В., Марон И.А. Вычислительная математика в примерах и задачах. - М.: Наука, 1972.
21. Ривкин С.Л., Кременевская Е.А. Уравнения состояния воды и водяного пара для машинных расчетов процессов и оборудования электростанций //Теплоэнергетика, 1977, №3.
22. Тихоплав В.Ю., Тихоплав Т.С. Универсальная аппроксимация таблиц Ривкина //Изв. вузов: Энергетика, 1991, №9.

УДК 378.1:519.001.57

ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ-ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКОВ ОСНОВАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В ТПУ

А.В. Старченко *, И.А. Иванова **

*** - Томский государственный университет, г. Томск**

E-mail: starch@etc.tsu.ru

**** - Томский политехнический университет, г. Томск**

В настоящее время математическое моделирование является третьим способом познания реальности и наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями играет большую роль на современном этапе научно-технического прогресса и построения информационного общества. Этот способ используется во многих отраслях современной науки, в том числе и теплоэнергетике. Замена физического объекта или явления его математической моделью позволяет, опираясь на мощь современной вычислительной техники, подробно и глубоко изучать их свойства. Грамотно поставленная математическая задача дает возможность анализировать влияние отдельных факторов, выявлять наиболее существенные из них для данного процесса и в определенной степени прогнозировать его течение. Дисциплина «Математическое моделирование процессов горения и теплообмена» относится к циклу специальных дисциплин учебного плана специальности 10.13.00 «Котло - и реакторостроение», преподается в 7 семестре как обязательная дисциплина и обеспечивает соответствие Федеральным требованиям Государственного образовательного стандарта по специальности.

Цель дисциплины - приобретение знаний о подходах и методах математического моделирования процессов, происходящих в парогенерирующих аппаратах, умение численно с использованием компьютера решать задачи, возникающие при проектировании парогенераторов, а также приобретение навыков применения численных методов и графических пакетов при обработке результатов исследований процессов и объектов энергетики. Лекционные занятия предусматривают усвоение теоретических подходов математического моделирования задач теплообмена и горения, возникающих перед конструктором парогенерирующих устройств, когда студенты уже знакомы с

основами физики, термодинамики, вопросами линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, элементами теории математической физики и теории алгоритмов в дискретной математике. Кроме того, для изучения данной дисциплины необходимо усвоение курса, в котором даются физические и математические модели способов переноса тепла. Особое внимание уделяется выработке, обоснованию и применению необходимых предположений и упрощений в реальных, достаточно сложных по своей начальной постановке задачах, которые позволяют свести их к простому решению. Задачи теплопроводности решаются, как аналитически, так и численными методами, с ориентацией студентов на самостоятельное проведение расчетов, для чего необходимы знания не только в предметной области, включая понимание физики процесса, законов теплообмена и горения, но и достаточно свободное владение приемами работы на компьютере, понимание принципов его действия, умение обращаться с пакетами прикладных программ. Навыки практической численной реализации построения конкретных математических моделей тепломассообмена, изучения способов графического представления результатов расчетов студенты приобретают на лабораторных занятиях. В результате изучения курса студенты должны уметь самостоятельно формулировать математическую постановку задач исследования процессов теплообмена и горения при проектировании парогенерирующих аппаратов, выбрать метод численного интегрирования системы уравнений математической модели, подготовить на ЭВМ вычислительную программу, произвести ее отладку и тестирование для доказательства адекватности модели, а также работать в среде современных пакетов прикладных программ, обеспечивающих графическую реализацию пространственных топочных процессов.

Обучение основам математического моделирования начинается с преподавания способов построения математических моделей при использовании фундаментальных законов природы, вариационных принципов, применении аналогий и иерархического подхода к их получению, с изучения этапов их построения. Простейшей математической моделью поведения объектов изучения является обработка экспериментальных данных с помощью построения функциональной зависимости по методу наименьших квадратов при использовании линейной, квадратичной и степенной зависимостей. На данном этапе студенты проходят адаптацию к работе на персональных компьютерах (операционная система MS-DOS, WINDOWS, файловая система Norton Commander, интегрированная среда Turbo-Pascal) и осваивают графический пакет GRAPHER для наглядного представления результатов расчетов.

Далее студенты переходят к освоению принципов и закономерностей теплопередачи – процессов теплопроводности, конвекции и излучения. Дифференциальное уравнение теплопроводности выводится для общего случая в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат с постановкой геометрических, начальных и граничных условий (условий однозначности). Студентам в индивидуальном задании предлагается по словесному описанию сформулировать математическую модель задачи нестационарной теплопроводности.

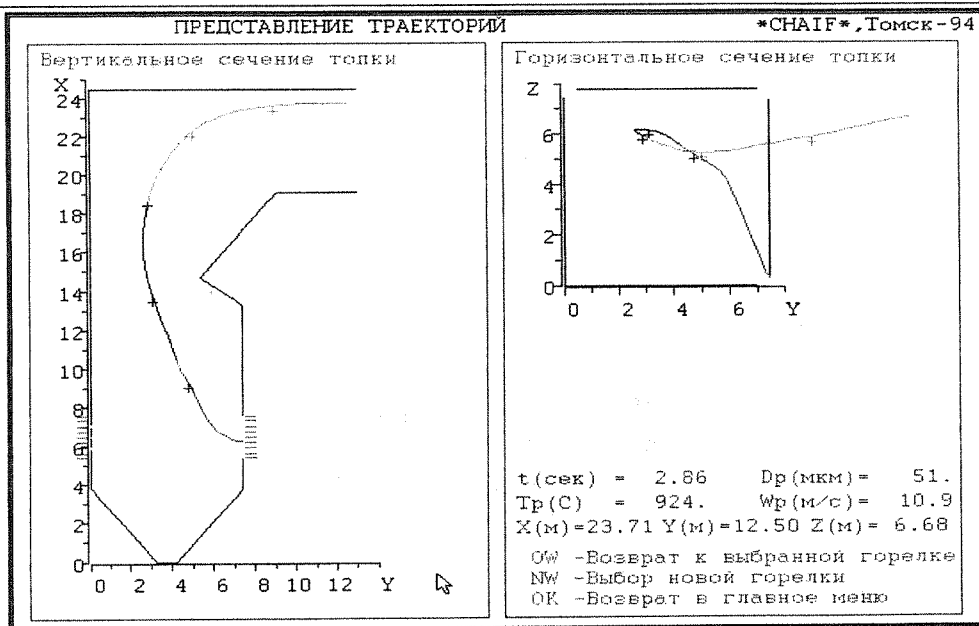


Рис. 1

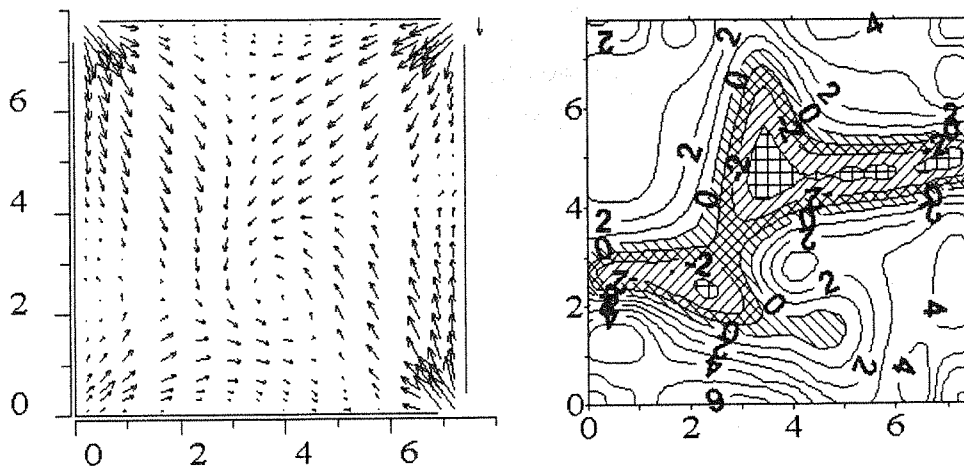
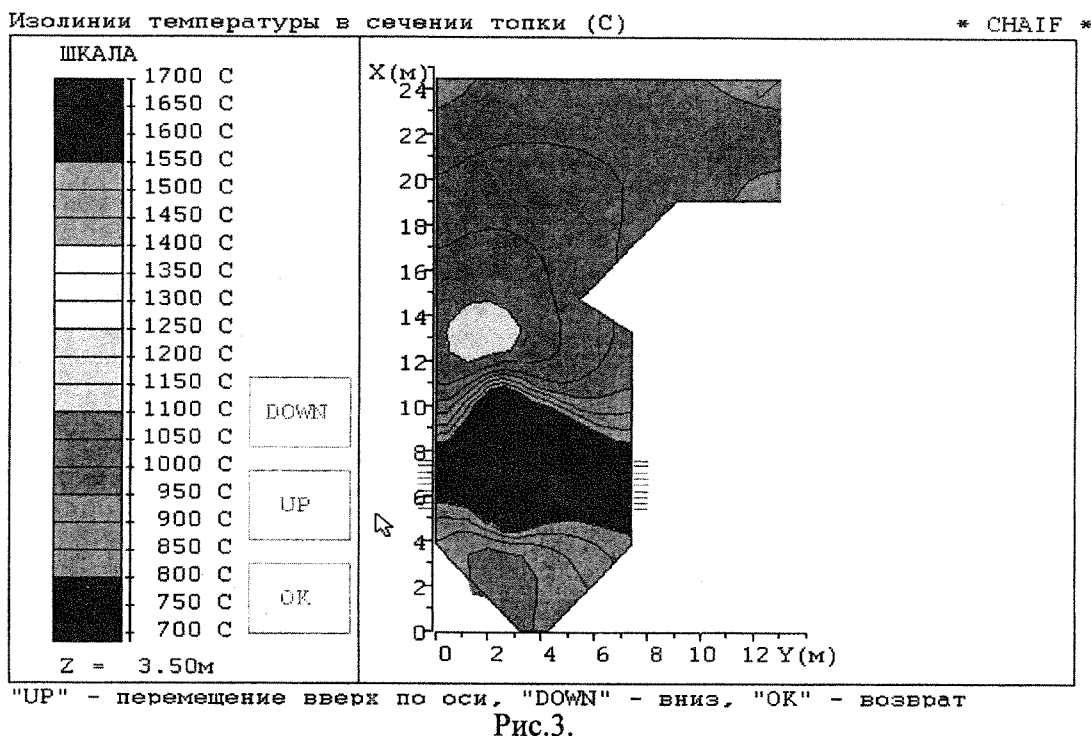


Рис.2.

При этом особое внимание уделяется численным методам их решения, в частности, методу конечных разностей для одномерной нестационарной задачи теплопроводности по явным и неявным схемам интегрирования дифференциального уравнения в частных производных. Получение дискретного аналога исходной дифференциальной задачи требует знаний построения разностных сеток и известных методов решения систем линейных уравнений.

Затем студенты переходят к моделированию более сложных задач, стоящих перед специалистом по организации процессов сжигания топлива: обеспечению высокой эффективности горения, снижению себестоимости, регулированию температуры и химического состава в топке котла. На первом этапе исследуется движение горячей угольной частицы, дается математическая формулировка законов сохранения массы, импульса и энергии в рамках лагранжева подхода для описания горения взвешенных частиц твердого топлива. Алгоритм решения поставленной задачи реализуется с привлечением численного метода Рунге-Кутты четвертого порядка для решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

На заключительном этапе проводится анализ аэротермохимических процессов горения и теплообмена в пылеугольных топках паровых котлов в более полной постановке на базе пакета прикладных программ «CHAI F» (Computation of Heattransfer and Aerodynamics in Inner Flows), разработанного в Томском государственном университете. Данный пакет реализует математическую модель горения пылеугольного топлива в топочной камере котлоагрегата в пространственной постановке на ЭВМ.



Необходимость привлечения такого подхода для анализа топочных процессов обусловлена ограниченностью применения нормативных методик расчета при исследовании нетрадиционных способов сжигания природных топлив с пониженным выходом вредных окислов азота, например, стадийного сжигания топлива. Студентам предоставляется возможность видеть на экране дисплея компьютера результаты расчетов – траекторию движения частиц (рис. 1), векторные поля их скорости (рис. 2), поля температур (рис. 3), изолинии концентрации кислорода в различных сечениях трехмерной топочной камеры, которая изображается на экране с указанием расположения горелок и окон подачи воздуха. Можно изучать движение дымовых газов, определять положение и интенсивность вихревых структур в топке, анализировать взаимодействие топливовоздушных струй между собой и с теплообменными экранами и т. д. Вращая объект исследования вправо, влево, вверх и вниз, можно расположить его под наивыгоднейшим углом зрения и проводить визуальный анализ процессов, происходящих в топочных камерах промышленных котлоагрегатов. Знание основ математического моделирования способствует расширению научного кругозора и повышает образовательный уровень будущих специалистов-энергетиков.