

## **О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

**С.В. Голдаев**

**Томский политехнический университет, г. Томск**

**E-mail: [zagromov@ped.tpu.ru](mailto:zagromov@ped.tpu.ru)**

На современном этапе разработки теплоэнергетического оборудования в силу объективных и субъективных обстоятельств превалирующая роль переходит к математическому моделированию их функционирования. Для того чтобы такой подход был продуктивным, соответствующие модели должны учитывать конструктивные особенности объектов, специфику технологических режимов, реальные свойства рабочих тел и т.п. Опыт решения многих сложных задач в различных отраслях энергетики и машиностроения показывает, что материальные затраты на разработку расчетных методик оказываются гораздо меньше, чем экспериментальное моделирование. Кроме того, подобные расчеты проводятся и в процессе эксплуатации созданных агрегатов, при оптимизации теплового и технологического режимов [1-3].

В настоящее время сложилась благоприятная ситуация, когда в распоряжении преподавателей и студентов имеются мощные персональные компьютеры. Поэтому возможна подготовка специалистов в области промышленной теплоэнергетики, одинаково хорошо разбирающихся в таких вопросах как технология процесса, математическое описание, вычислительная математика и программирование.

Заметим, что математическое моделирование включает ряд этапов деятельности (физическая и математическая постановки технической задачи, выбор вычислительного метода и алгоритма, составление, отладка и эксплуатация программы), выполняемых нередко несколькими исследователями (технологами, математиками, программистами). Автоматизация инженерных расчетов относится к третьему, четвертому и пятому этапам [4, 5]. Имеются публикации, где, вынося в заголовок проблемы автоматизации инженерных расчетов, рассматривают более сложную проблему, связанную с созданием программного обеспечения [6], или, наоборот, говоря о больших возможностях математического моделирования, фактически решают задачу автоматизации известного нормативного метода теплового расчета котла [7]. По нашему мнению, основной поток студентов следует обучать навыкам автоматизации инженерных расчетов.

Некоторое время назад в печати предлагалось готовить студентов к роли пользователей готовых программ [6]. Однако такой подход, как нам представляется, не вполне отвечает современным требованиям, т.к. инженер, способный только эксплуатировать программу, при необходимости ее модернизации не сможет этого сделать.

Известен более рациональный способ обучения инженеров, когда вычислительная математика и программирование рассматриваются как единый предмет [4], [8-12]. Близкий подход реализован в учебных пособиях по математическому моделированию процессов теплообмена энергетических устройств [5], [13, 14].

На основе опыта преподавания дисциплин «Математическое моделирование и расчеты теплотехнических систем на ЭВМ», «Технико-экономические основы

оптимизации теплоэнергетических установок», «Надежность систем теплоэнергоснабжения» хотелось бы поделить следующими соображениями.

Какие затруднения с освоением автоматизации инженерных расчетов? У большинства студентов недостаточная подготовка по высшей математике и информатике. Вероятно, это связано с тем, что обучение проводится без учета особенностей многочисленных направлений теплоэнергетики.

Знакомство с творческим опытом выдающихся инженеров (например, В.Г. Шухова, А.Н. Крылова) показывает, что в основе эффективного проведения ими расчетов лежит обстоятельная подготовка по прикладной математике.

Из воспоминаний В.Г. Шухова: «От нас требовали прекрасного усвоения основ физико-математических знаний, на базе которых инженер имеет все для своего дальнейшего самостоятельного роста». Ряд математических дисциплин вел профессор П.Л. Чебышев, который исходил из того, что истинное инженерное творчество требует широкой математической подготовки, позволяющей сопоставлять, анализировать явления из самых разных областей жизни и приходиться к правильным выводам. П.Л. Чебышев показал, как избегать излишней скрупулезности и строгости, которые не нужны инженерам, использующим ее для практических нужд. Последующая многогранная инженерная деятельность В.Г. Шухова подтвердила достоинства такого обучения. Впервые рассчитаны и построены тонкостенные резервуары цилиндрической формы для хранения нефти, оптимизирован процесс прокачивания вязкой жидкости по трубопроводу, создан знаменитый горизонтальный водогрейный котел с наиболее совершенной по тем временам теплопередачей, разработаны сетчатые конструкции в роли крыш и мачт радиоантенн и др. [15].

Аналогичное «математическое воспитание» получил А.Н. Крылов: «Лекции по математике читал А.Н. Коркин. Этот курс отличался ... отсутствием той излишней щепетильности и строгости, которая не проясняет для техников, каковыми мы были, а затемняет дело, и которая необходима лишь для математиков, изучающих математику как безукоризненную область логики, а не как орудие для практических приложений. Для инженера математика есть средство, инструмент. В решении вычислением конкретно поставленного вопроса он видит и ценит именно прикладную сторону. Инженер должен по своей специальности уметь владеть своим инструментом, но он вовсе не должен уметь его делать. Инженер хотя и применяет готовые и давно разработанные методы, но он вполне владеет теми отделами математики, на которых эти отделы основаны, и, значит, может вполне ясно судить об условиях их применимости. Чтобы правильно подобрать свой ассортимент инструментов, надо ближе разобраться в том деле, для которого он нужен. Как только будет установлено, что именно от конкретного инженера требуется по его специальности, так сейчас же устанавливается и соответствующий объем знаний из анализа и механики» [16].

Схожей точке зрения придерживается Ю.П. Боглаев: «Деление математики на «чистую», прикладную, вычислительную отвечает скорее узкой специализации математиков, а не задачам, которые математика призвана решать. Для решения проблем естествознания, техники математика должна рассматриваться единой и неделимой. Только в этом случае использование результатов математики и ее неотъемлемой части – вычислительной математики будет плодотворным и эффективным» [4].

Согласно рекомендациям авторов учебника [17], наибольший эффект в усвоении математических методов и приобретении навыков их применения достигается, если изучение соответствующих разделов математики сопровождается решением прикладных

задач, относящихся к области специализации будущего инженера. В методическом пособии [18] предпринята попытка реализации такого подхода.

Анализ процессов теплоэнергетических систем, показывает, что они могут рассматриваться как совокупность элементарных актов, каждый из которых вносит определенный вклад в скорость суммарного процесса [1, 2], [5], [13]. Такие акты поддаются сравнительно строгому математическому описанию и сводятся к вычислению интеграла, решению трансцендентного или дифференциального уравнения и т.п.

Для повышения эффективности освоения автоматизации инженерных расчетов обучение следует проводить в комплексе, рассматривая методы решения задач из области теплотехники, составляя и отлаживая прикладные программы на ПЭВМ. При обучении программированию можно воспользоваться методикой из пособия [4], где рекомендовано трехуровневое изучение. Первый уровень включает знакомство с минимальным объемом знаний, в котором оставлены только те средства, без которых нельзя обойтись в несложной вычислительной задаче. Затем осваиваются приемы программирования следующих основных блоков вычислительной математики. Метод бисекции для нахождения корней в сочетании с подпрограммой определения координат, где функция имеет разные знаки. Минимизация функции одной переменной с помощью метода золотого сечения. Метод градиентного спуска поиска минимума функции нескольких переменных. Решение системы линейных уравнений методом Гаусса. Вычисление определенного интеграла по формуле трапеций. Решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты. Решения краевой задачи способом прогонки. Последние из перечисленных алгоритмов дополняются программами обработки результатов вычислений, построения графиков, таблиц и т.д. Возможные варианты реализации этих методов для задач из области радиофизики на распространенных алгоритмических языках Фортран и Паскаль приведены в пособии [19]. Заключительный этап обучения подразумевает составление оптимальных программ (по быстрдействию, с минимальными затратами памяти и т.п.).

Вероятно, можно изыскать определенные резервы времени при обучении численным методам, отказавшись от традиционного подхода, основанного на рассмотрении множества алгоритмов интерполяции, решения трансцендентных или дифференциальных уравнений, вычисления интегралов и т.д. Если обратиться к истории разработки этих методов, то из нее следует, что их совершенствование в ряде случаев было вызвано стремлением повысить точность и уменьшить объем вычислений [20]. При решении инженерных задач на современных ПЭВМ, обладающих большой оперативной памятью и быстродействием, можно пользоваться простейшими алгоритмами. Как отмечено в пособии [10], многие люди, решающие практические задачи, остаются навсегда верными раз использованным методам, если не программам.

Как известно, активное усвоение какой-либо информации происходит тогда, когда она регулярно извлекается из памяти. Поэтому желательно перенести изучение дисциплины по автоматизации теплотехнических расчетов на младшие курсы, сократив тем самым разрыв во времени. Имеется масса задач в технической термодинамике, теплообмене, механике жидкости и газа, которые при современном обучении практически не рассматриваются из-за своей сложности или громоздкости. Проводя в рамках лабораторных работ выбор подходящего алгоритма, составляя программу расчета и ее отладку на ПЭВМ, студенты будут вырабатывать эти навыки. Выполнение курсовых проектов по расчету теплообменников, котельных и газотурбинных установок, компрессоров, вентиляторов, холодильников следует также проводить на ПЭВМ. Для

этого необходимо использовать известные аппроксимационные зависимости для физических свойств жидкостей или газов [21, 22], либо уметь выполнять интерполяцию табличных данных, а также организовывать циклические вычисления на каком-нибудь алгоритмическом языке, т.е. освоить программирование на упомянутом выше первом уровне.

Овладев навыками автоматизации инженерных расчетов, ощутив их практическую пользу на младших курсах, студенты будут их чаще применить при изучении специальных дисциплин и в действительности они станут инструментом инженерного труда.

#### Литература:

1. Мигай В.К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. - Л.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Тихонов А.Н., Кальнер В.Д., Гласко В.Б. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1990.
3. Математическое моделирование источников энергоснабжения промышленных предприятий /А.И. Зайцев, Е.А. Митновицкая, Л.А. Левин, А.Е. Книгин. - М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Боглаев Ю.П. Вычислительная математика и программирование: Учебн. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1990.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учебн. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1991.
6. Соколов А.К., Гусев В.А., Пыжов В.К. Проблемы автоматизации инженерных расчетов в промышленной теплоэнергетике //Изв. вузов: Энергетика, 1989, №6.
7. Глухов Б.Ф. О методе теплового расчета котла с применением персонального компьютера //Электрические станции, 1994, №7.
8. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране. - М.: Мир, 1977.
9. Инженерные расчеты на ЭВМ: Справочное пособие / Под ред. В.А. Троицкого. - Л.: Машиностроение, 1979.
10. Форсайт Дж., Мальком М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. - М.: Мир, 1980..
11. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. - М.: Мир, 1982.
12. Вычислительная техника и программирование: Учеб. для техн. вузов /А.В. Петров, В.Е. Алексеев, А.С. Ваулин и др. - М.: Высш. шк., 1990.
13. Арутюнов В.А., Бухмяров В.В., Крупенников С.Л. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей: Учебник для вузов. - М.: Металлургия, 1990.
14. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: Учеб. пособие для. Вузов. - М.: Высш. шк., 1990.
15. Арнаутов Л.И., Карпов Я.К. Повесть о великом инженере. - М.: Московский рабочий, 1981.
16. А.Н. Крылов. Мои воспоминания. - Л.: Судостроение, 1979.
17. Методы и задачи тепломассообмена: Учебн. пособие для вузов /Я.М. Котляр, В.Д. Совершенный, Д.С. Стриженов. - М.: Машиностроение, 1987.
18. Голдаев С.В., Ляликов Б.А. Основы математического моделирования в теплотехнике: Учебн. пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 1999.

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](mailto: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