

05.13.01
157

На правах рукописи



Коган Семен Викторович

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ТРЕНАЖЕР И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ**

Специальность 05.13.01 – "Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)".

Специальность 05.13.06 – "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами"

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Челябинск
2003

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Гафиятуллин Р.Х.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Казаринов Л.С.,
кандидат технических наук, доцент Ярина Т.В.

Ведущая организация – ОАО “Уральский теплотехнический научно-исследовательский институт”, г. Челябинск.

Защита состоится 1 октября 2003 года, в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, конференц-зал ЮУрГУ (ауд. 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “26” августа 2003 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



А.М. Коровин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. С 1996 г. в теплоэнергетике России реализуется Единая Программа, направленная на повышение надежности, экологической безопасности и эффективности работы тепловых электростанций (ТЭС).

Анализ состояния дел в энергетике, проведенный ОРГРЭС, показал, что ошибки оперативного персонала вызывают до 30% всех аварий и отказов оборудования ТЭС. Большая их часть связана с недостаточно квалифицированным обслуживанием. Наибольшее число технологических нарушений наблюдается при пуске и останове котлов.

Владение навыками пуска, остановки котлов, оптимальными методами управления ими в штатных ситуациях, умение персонала своевременно обнаружить нестандартные ситуации и принимать правильные решения по их устранению является важным компонентом системы мер по продлению ресурса действующего оборудования, по сокращению числа аварий и повышению эффективности работы ТЭС.

Очевидно, что отрабатывать на действующем оборудовании режимы пуска и останова нецелесообразно, а приобрести навыки работы в аварийных ситуациях невозможно. Поэтому для обучения обслуживающего персонала широко используются тренажеры, на которых реализованы имитационные модели различных подсистем энергоблока и энергооборудования ТЭС в целом.

В последние годы разрабатываются многофункциональные универсальные системы (полномасштабные тренажеры, содержащие копию щита управления, и компьютерные тренажеры, в которых отображение информации и управление осуществляется с терминала). В них моделируется работа большого количества агрегатов и подсистем оборудования станции. Для их реализации используются мощные вычислительные средства – многомашинные комплексы (рабочие станции) – и сложное программное обеспечение. Режим тренажера – только одна из функций таких систем. Этот подход приводит к увеличению стоимости тренажеров, потере гибкости в их использовании потребителем, росту требований к квалификации специалистов, обслуживающих тренажер и его программное обеспечение. Приобрести такие комплексные тренажеры могут позволить себе немногие региональные системы РАО "ЕЭС России".

В тоже время задача обучения и систематической тренировки оперативного персонала в регионе может быть решена только при наличии большого количества тренажеров в региональной системе. Доведение до автоматизма действий персонала в штатных и в нештатных ситуациях, возможно, если тренажер максимально доступен, не дорог, содержит копию рабочего места оператора, рабочее место инструктора и компьютерное моделирующее устройство, адекватно воспроизводящее реальный процесс. Разработка специализированных тренажеров, имитирующих агрегаты, качество управления которыми является неудовлетворительным в территориальной

позволяет разрешить проблему насыщения региональной энергосистемы современными средствами обучения. Такие специализированные тренажеры представляют локальную ценность, обладают хорошими техническими и экономическими характеристиками. Поэтому задача создания таких тренажеров остается актуальной.

Цель работы. Цель работы – создание математической модели парогенератора специализированного тренажера для оперативного персонала, способной адекватно имитировать работу объекта в штатных и аварийных ситуациях, работающей в реальном времени с использованием ограниченных вычислительных ресурсов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ современных технических средств и методов обучения оперативного персонала тепловых электростанций;
- синтез структурной схемы имитационной модели парогенератора;
- выбор принципов построения моделей компонентов с учетом необходимости работы в реальном времени;
- выбор программных средств моделирования;
- обоснование и выбор метода решения дифференциальных уравнений;
- разработка математических моделей отдельных устройств котла;
- разработка способа повышения точности расчета температур моделью конвективных теплообменников;
- исследование адекватности модели парогенератора и реального объекта.

Научная новизна заключается в следующем:

– разработана динамическая математическая модель с сосредоточенными параметрами для парогенератора (применительно к паровому котлу барабанного типа), работающая в реальном времени на вычислительных средствах невысокой производительности в составе специализированного тренажера оперативного персонала ТЭС;

– предложен метод модификации модели с сосредоточенными параметрами конвективных теплообменников для повышения точности расчетов температур и учета влияния реальных схем взаимного движения теплоносителей;

– разработана упрощенная программа определения температуры в толстостенных элементах при неустановившихся режимах, использующая аппроксимацию ряда параметров в уравнении нестационарной теплопроводности и реализующая рекуррентную вычислительную процедуру.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечивается использованием методов теории систем, методов системного моделирования иерархических управляющих объектов, интегрального и дифференциального исчисления, численных методов вычислительной математики, статистических методов оценивания и проверки гипотез.

Эффективность разработанной модели парового котла подтверждена результатами исследований тренажера и сравнением достигнутых параметров с экспериментальными данными, с требованиями нормативных документов, с

результатами статистических расчетов; заключением специалистов, принявших тренажер в эксплуатацию.

Практическая ценность работы. Разработанная математическая модель парогенератора является основой специализированного тренажера, который используется для отработки алгоритмов оперативного управления котлом ПК-14 в реальном времени. Тренажер, внедренный в УТК ОАО "Челябэнерго", обладающий необходимыми функциональными и дидактическими характеристиками и имеющий низкую стоимость, широко применяется в учебном процессе для повышения квалификации обслуживающего персонала ТЭС.

Предложенная программа определения температуры толстостенных элементов нашла применение для расчета температуры фланцев крупногабаритных пароводяных подогревателей.

Апробация работы. Результаты работы были доложены, рассмотрены и получили одобрение на научно-технических совещаниях УТК АО "Челябэнерго", на Российском национальном симпозиуме по энергетике (Казань, 2001), научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета (Челябинск, 1998, 1999, 2000).

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 8 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, и заключения. Она содержит 125 страниц машинописного текста, 7 таблиц, 23 рисунка, список литературы, включающий 86 наименований, и 35 страниц приложений.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

– динамическая математическая модель парогенератора с сосредоточенными параметрами (применительно к паровому котлу барабанного типа), функционирующая в реальном времени при ограниченных вычислительных ресурсах;

– метод модификации обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих конвективные поверхности нагрева;

– программа определения температуры в толстостенных элементах при неустановившихся режимах, использующая аппроксимацию ряда параметров в уравнении нестационарной теплопроводности и реализующая рекуррентную вычислительную процедуру.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ современных отечественных и зарубежных технических средств и методов обучения персонала электростанций показывает, что в настоящее время наблюдается тенденция разработки сложных унифицированных математических программ, выполняющих функции расчетов отдельных узлов энергоблока, его диагностики, реализованных с использованием мощных современных вычислительных средств. Эти программы могут настраиваться на конфигурацию

конкретного энергоблока и использоваться в составе полномасштабных и компьютерных тренажеров для обучения персонала. Широкие возможности программного обеспечения приводят к увеличению его стоимости, потере гибкости при использовании потребителем. Выпускаемые промышленно (например, ЗАО "Тэст") щитовые полномасштабные и специализированные участковые тренажеры также имеют большую стоимость (около 4 млн.руб) и моделируют лишь несколько типов парогенераторов (ТП-87, ТГМ-96, ТП-106, ТГМП-314 и некоторые другие). В региональных энергосистемах находятся в эксплуатации и другие типы котлов. В частности, в системе "Челябэнерго" широко применяется паровой котел ПК-14. Проблема повышения качества управления парогенераторами в регионе в условиях недостаточного финансирования работ по внедрению современных методов обучения обслуживающего персонала может быть решена путем разработки недорогого специализированного тренажера. Тренажер позволяет оперативному персоналу под руководством инструктора получить большой объем практических знаний и навыков по управлению объектом; усвоить набор предусмотренных в инструкциях алгоритмов действий в штатных и аварийных ситуациях; закрепить эти алгоритмы путем их многократного практического повторения.

Основным элементом тренажера на компьютерной базе является модель объекта управления. Главная особенность моделирования парогенератора для тренажера заключается в том, что модель должна обеспечить сохранение реального масштаба времени при воспроизведении процессов объекта. Для снижения стоимости тренажера было выдвинуто требование, чтобы модель функционировала на персональном компьютере невысокой производительности.

Для реализации *цели работы* – создания математической модели парогенератора недорого специализированного тренажера, способной адекватно имитировать работу объекта в штатных и аварийных ситуациях, работающей в реальном времени при ограниченных вычислительных ресурсах – решались следующие *основные задачи*: *разработка общей структурной схемы модели парогенератора, выбор метода моделирования его компонентов; выбор среды программирования и метода численного решения систем дифференциальных уравнений; разработка моделей компонентов; разработка способа повышения точности расчета температур моделью конвективного теплообменника; оценка адекватности модели и объекта управления.*

Общая структурная схема модели парогенератора создана на основе анализа технологического процесса преобразования энергии в котле, анализа известных методов моделирования котла как многоуровневой иерархической структуры. В модели выделено пять уровней иерархии: уровень операторного управления (связи с щитом управления и пультом инструктора); уровень систем защиты и блокировок; уровень локальных систем автоматического регулирования; уровень исполнительных устройств; уровень технологического процесса.

Модель построена по блочному принципу, учитывающему конструктивные особенности объекта. Она включает в себя модели тракта питательной воды от магистральных трубопроводов до барабана котла; парового тракта от барабана до магистрального коллектора свежего пара; топки; конвективных поверхностей нагрева; газоздушного тракта; тракта подачи твердого топлива, растопочного мазута и газообразного топлива; системы управления электродвигателями механизмов собственных нужд; систем автоматизированного регулирования; системы блокировок, защит, технологической и аварийной сигнализации; интерфейса взаимодействия с устройством сопряжения с рабочими местами оператора и инструктора.

Реализованные системы блокировок, защит, технологической и аварийной сигнализации функционируют в соответствии с нормативными документами. В систему автоматизированного регулирования входят регуляторы: питания, тепловой нагрузки, температуры свежего пара за котлом, разряжения в верхней части топки, общего воздуха, расхода природного газа, расхода первичного воздуха через мельницу, температуры аэросмеси за мельницами.

Первому и второму уровню структурной схемы парогенератора соответствуют следующие элементы: топка, барабан, теплообменники (пароперегреватели с пароохладителями, экономайзеры, воздухоподогреватели), трубопроводы с управляющей и запорной арматурой (клапанами, заслонками, задвижками и др.), тягодутьевые машины (вентиляторы, дымососы).

Построение моделей компонентов парогенератора базируется на математическом описании физических процессов, происходящих в реальном объекте, которое представлено в виде системы дифференциальных уравнений.

Модель в реальном времени должна функционировать со скоростью, соответствующей скорости процессов объекта, и в ее реакции на внешние события не должно быть заметного запаздывания. При ограниченных вычислительных ресурсах реализация этого возможна путем сокращения объема вычислений, что, в свою очередь, обеспечивается рациональным выбором модели компонентов, среды моделирования и метода интегрирования систем дифференциальных уравнений.

Выбор модели компонентов. Динамическая модель парогенератора и его отдельных элементов обычно представляется в виде системы с сосредоточенными параметрами (СП-модель) или с распределенными параметрами (РП-модель). В первом случае параметры потоков вещества и энергии зависят только от времени, а во втором случае дополнительно учитываются изменение параметров процесса по одной или нескольким пространственным координатам.

Выбор модели с сосредоточенными параметрами позволил отказаться от описания процессов нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных и сократить время получения решения.

Математическая модель сосредоточенного элемента представляет собой систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений первого

порядка, описывающих физические процессы и основанных на уравнениях баланса энергии, массы, уравнениях теплопередачи, движения, состояния. Дифференциальные уравнения записываются в нормальной форме Коши $dx/d\tau = F(x, V(\tau), \tau)$, где начальные условия $x(0)$ и $V(\tau)$ – вектор внешних сигналов – заданы, τ – текущее время. Решение дифференциальных уравнений осуществляется путем численного интегрирования шагами по времени.

Для получения численного решения системы уравнений следует *выбрать подходящий метод* и реализовать его в программе.

Система математического моделирования. С целью снижения трудоемкости программирования была использована широко распространенная в России *система математического моделирования VisSim (Visual Simulator)*. VisSim является инструментальной средой визуального проектирования: динамические модели в ней описываются иерархическими структурными схемами (блок-схемами). В отличие от близкой по своим функциональным возможностям подсистемы Simulink пакета MATLAB пакет VisSim требует для работы меньше вычислительных ресурсов. Достоинством системы VisSim является возможность создания библиотечных модулей – внешних, динамически загружаемых библиотек dll, описываемых на языках высокого уровня. Модули dll позволяют увеличить скорость моделирования в среднем в 10 раз. Дополнительными достоинствами VisSim являются наличие бесплатной версии (для научных исследований) и наличие свободно распространяемого компонента VisSim Viewer, позволяющего создавать готовый продукт, в который потребитель не может самостоятельно вносить изменения.

Метод интегрирования систем уравнений оказывает существенное влияние на скорость, на точность и устойчивость моделирования.

Для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений используются численные методы, которые по своей сути являются приближенными. В основе их лежит аппроксимация производных по времени $dx/dt = F(x, t)$ простыми разностными уравнениями.

В пакете VisSim реализованы разные методы интегрирования (явный и неявный методы Эйлера, Рунге-Кутта второго и четвертого порядка и др.). Был проведен анализ количества вычислений методами Эйлера, трапеций, Рунге-Кутта второго и четвертого порядка. Испытания показали, что в среднем на получение решения методами трапеций, Рунге-Кутта второго порядка затрачивается времени в 1,78 раза больше, а методом Рунге-Кутта четвертого порядка в 3,38 раза больше, чем методом Эйлера.

При методах численного интегрирования большое значение имеет правильный выбор величины шага. Уменьшение шага интегрирования ведет к росту объема вычислений, увеличение вызывает проблемы сходимости решения. При слишком большом шаге интегрирования возможно возникновение колебаний, т.е. проявление численной неустойчивости. Эта неустойчивость не связана с моделируемой системой и вызвана слишком грубой аппроксимацией при вычислении решения.

В результате анализа литературных источников, исследований, проведенных при поэтапной отладке моделей компонентов и парогенератора в целом, был выбран метод расчета с постоянной величиной шага интегрирования по времени, равной 0.1 сек, обеспечивающей устойчивость и достаточную точность. В ряде случаев для повышения устойчивости использовалось демпфирование и укрупнение сосредоточенных элементов.

С учетом анализа погрешности и устойчивости вычислений предпочтение было отдано методу Эйлера, который в вычислительном отношении является наиболее простым и быстрым.

Интегрирование дифференциальных уравнений производится в абсолютных значениях без линеаризации, что исключило этап решения уравнений статического режима, предшествующий решению уравнений динамики. Это ускоряет расчеты и обеспечивает возможность использования единой модели для широкого диапазона режимов и нагрузок объекта. Изменение режима производится путем модификации вектора начальных условий $x(0)$ системы уравнений.

Обеспечение точности расчетов. Точность решения систем дифференциальных уравнений обеспечивается выбором достаточно малого шага интегрирования. Для уменьшения погрешности вычисления значений параметров, вызванных принятыми допущениями при создании модели элемента, в работе был предложен метод модификации дифференциальных уравнений конвективных теплообменников.

Модель конвективного теплообменника и метод ее модификации

В отличие от часто применяемой модели, в которой поток греющих газов представляется СП-моделью с полным перемешиванием, а рабочая среда – моделью с распределенными по одной пространственной координате параметрами, для описания конвективного теплообменника в работе использована простейшая с точки зрения затрат вычислительных ресурсов СП-модель с полным перемешиванием горячего и холодного теплоносителей. В модели предполагается, что температуры сред внутри теплообменника и на его выходе одинаковы, т.е. меняются скачком относительно температур на входе. Кроме того, приняты обычные допущения: теплоносители несжимаемы, давление по каждому из потоков в пределах теплообменника постоянно и неизменно во времени, потери в окружающую среду отсутствуют.

Количество теплоты Q , переданное через поверхность нагрева, на основании уравнения теплопередачи определяется выражением $Q = K F (t_{\Gamma} - t_{\chi})$, где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²°С); F – площадь поверхности нагрева, м²; t_{Γ} , t_{χ} – температуры горячего и холодного теплоносителей на выходе теплообменника, °С.

Поведение теплообменника во времени τ описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dt_x}{dt} = \frac{K F (t_r - t_x) - W_x (t_x - t_{x1})}{G_x c_{p_x}}, \\ \frac{dt_r}{dt} = \frac{W_r (t_{r1} - t_r) - K F (t_r - t_x)}{G_r c_{p_r}}, \\ \frac{dt_m}{dt} = \frac{\alpha_r F (t_r - t_m) - \alpha_x F (t_m - t_x)}{G_m c_m}, \end{cases} \quad (1)$$

где W_r, W_x – водяные эквиваленты горячей (охлаждаемой) и холодной (нагреваемой) среды, Вт/°С, $W = D c_p$; D – расход соответствующего теплоносителя, кг/с; c_{p_r}, c_{p_x}, c_m – изобарные теплоемкости горячего, холодного теплоносителей и металла труб теплообменника, Дж/(кг °С); G_r, G_x, G_m – массы теплоносителей и металла, кг; α_r, α_x – коэффициенты теплоотдачи горячего и холодного теплоносителей, скорректированные с учетом термического сопротивления стенки, Вт/(м² °С); t_{r1}, t_{x1} – температуры горячего и холодного теплоносителя на входе теплообменника, °С.

Система уравнений нелинейна, так как коэффициенты α_r, α_x, K зависят от температуры и других параметров процесса.

Из системы (1) при равных нулю производных получаются алгебраические уравнения для температур теплоносителей в статическом режиме, а также следует, что отношение температурных напоров $\delta t_r = t_{r1} - t_r, \delta t_x = t_x - t_{x1}$ теплоносителей обратно пропорционально отношению их водяных эквивалентов W_r, W_x , то есть $\delta t_r = \delta t_x W_x / W_r$.

Используя широко применяемые в теплотехнике безразмерные параметры $\varepsilon_1 = KF/W_r, \varepsilon_2 = W_r/W_x$ и алгебраическое уравнение $KF(t_r - t_x) = W_r \delta t_r$, вытекающее из второго уравнения системы (1) при $dt_r/dt = 0$, получим коэффициент эффективности модели с полным перемешиванием:

$Z_{ПМ} = \delta t_r / \theta = \varepsilon_1 / (1 + \varepsilon_1 (1 + \varepsilon_2)), \delta t_x / \theta = \varepsilon_2 Z_{ПМ}$, где $\theta = (t_{r1} - t_{x1})$ – располагаемый температурный напор.

Эффективность $Z_{ПМ}$ показывает, какая доля входного температурного напора затрачивается на изменение температуры теплоносителя. Выходные температуры теплоносителей и металла составляют:

$$t_r = t_{r1} - Z_{ПМ} \theta, \quad t_x = t_{x1} + Z_{ПМ} \theta \varepsilon_2, \quad t_m = t_r - \frac{K Z_{ПМ} \theta}{\alpha_r \varepsilon_1}.$$

В реальных конвективных теплообменниках котла используются различные схемы взаимного движения теплоносителей (противоточная, прямоточная, комбинированные). Схема взаимного движения теплоносителей оказывает влияние на эффективность теплообменника, и, следовательно, на выходные температуры теплоносителей и разделяющей стенки, что не учитывает СП-модель.

Для оценки точности расчета температур в СП-модели сравним $Z_{\text{ПМ}}$ с эффективностью РП-модели конвективного теплообменника, в которой температурный напор меняется вдоль поверхности нагрева по экспоненциальному закону.

Известно, что эффективность РП-модели конвективного теплообменника (для горячего теплоносителя) составляет:

для противотока

$$\begin{cases} Z_{\text{ПТ}} = (1 - e^{\epsilon_1(\epsilon_2 - 1)}) / (1 - \epsilon_2 e^{\epsilon_1(\epsilon_2 + 1)}) & \text{при } \epsilon_2 \neq 1, \\ Z_{\text{ПТ}} = \epsilon_1 / (1 + \epsilon_1) & \text{при } \epsilon_2 = 1, \end{cases} \quad (2)$$

для прямотока

$$Z_{\text{ПМТ}} = (1 - e^{-\epsilon_1(1 + \epsilon_2)}) / (1 + \epsilon_2). \quad (3)$$

Эффективность конвективных теплообменников с любыми другими схемами движения взаимодействующих сред заключена между $Z_{\text{ПМТ}}$ и $Z_{\text{ПТ}}$.

Результаты сравнения эффективности СП-моделей и РП-моделей для разных схем взаимного движения сред показаны на рис. 1.

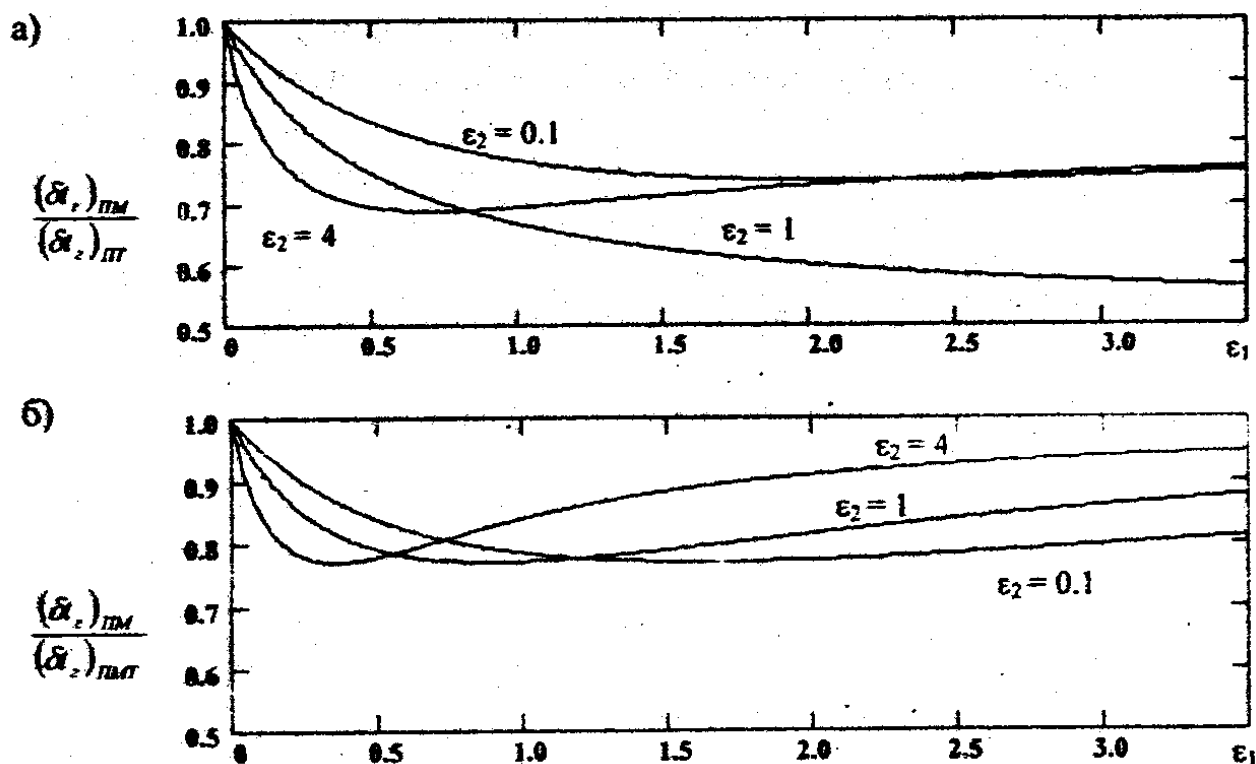


Рис. 1. Сравнение эффективности СП-модели и РП-модели, учитывающей противоток (а) и прямоток (б).

Анализ графиков показывает, что эффективности моделей и, соответственно, рассчитанные в статическом режиме температуры теплоносителей отличаются на 30...50 % при разных значениях ϵ_1, ϵ_2 . Для уменьшения погрешности в настоящей работе предложен способ модификации СП-модели.

Целью модификации является создание СП-модели, эффективность $Z_{\text{ПМ}}$ которой равна эффективности Z_U РП-модели с соответствующей схемой движения теплоносителей. Предлагаемое решение этой задачи заключается в введении в каждое уравнение системы (1) поправочного коэффициента Ψ .

Система обыкновенных дифференциальных уравнений модифицированной модели приобретает вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dt_x}{dt} = \frac{K \Psi F(t_r - t_x) - W_x (t_x - t_{x1})}{G_x c_{p_x}}, \\ \frac{dt_r}{dt} = \frac{W_r (t_{r1} - t_r) - K \Psi F(t_r - t_x)}{G_r c_{p_r}}, \\ \frac{dt_m}{dt} = \frac{\alpha_r \Psi F(t_r - t_m) - \alpha_x \Psi F(t_m - t_x)}{G_m c_m}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Из алгебраического уравнения $K \Psi_U F(t_r - t_x)_U = W_r \delta t_{rU}$, которое описывает в статическом режиме тепловой баланс в модифицированной СП-модели, получим выражение $Z_U = \delta t_{rU} / \theta = \Psi_U \epsilon_1 / (1 + \Psi_U \epsilon_1 (1 + \epsilon_2))$.

Отсюда получим поправочный коэффициент $\Psi_U = 1 / (\epsilon_1 / Z_U - \epsilon_1 (1 + \epsilon_2))$.

Подставив вместо Z_U значения эффективности РП-модели из (2) и (3), можно найти значения Ψ_U , при которых эффективности сравниваемых моделей одинаковы, и, следовательно, равны выходные температуры в установившемся режиме.

Зависимости Ψ_U от ϵ_1, ϵ_2 для противотока и прямотока приведены на рис. 2. При $Z_{\text{ПМ}} = Z_U$ поправочный коэффициент $\Psi_U = 1$, при $Z_{\text{ПМ}} < Z_U$ и некоторых значениях ϵ_1 и ϵ_2 его значение достаточно велико (рис. 2). Оказывая корректирующее действие на температуру в установившемся режиме, Ψ_U изменяет динамические характеристики процесса. В работе были проведены расчеты характера изменения температуры сред в немодифицированной и модифицированной СП-моделях, а также в описываемой уравнениями в частных производных РП-модели теплообменника при разных ϵ_1 и ϵ_2 . Решение уравнений в частных производных производилось численными методами путем разбиения теплообменника по длине на отдельные зоны. Графики на рис. 3 показывают, что при увеличении Ψ скорость переходного процесса возрастает по сравнению с исходной моделью. При быстрых переходных процессах в теплообменнике это может привести к потере устойчивости модели. В этих случаях рекомендуется ограничиться небольшими значениями коэффициента Ψ , выбирая его граничное значение $\Psi_{\text{гр}}$ в диапазоне 2...4.

При $\Psi > \Psi_{\text{гр}}$ (например, точка А1 на рис.2а) предлагается разбить теплообменник на несколько частей, реализуемых СП-моделями, для каждой из которых условие $\Psi < \Psi_{\text{гр}}$ будет выполняться.

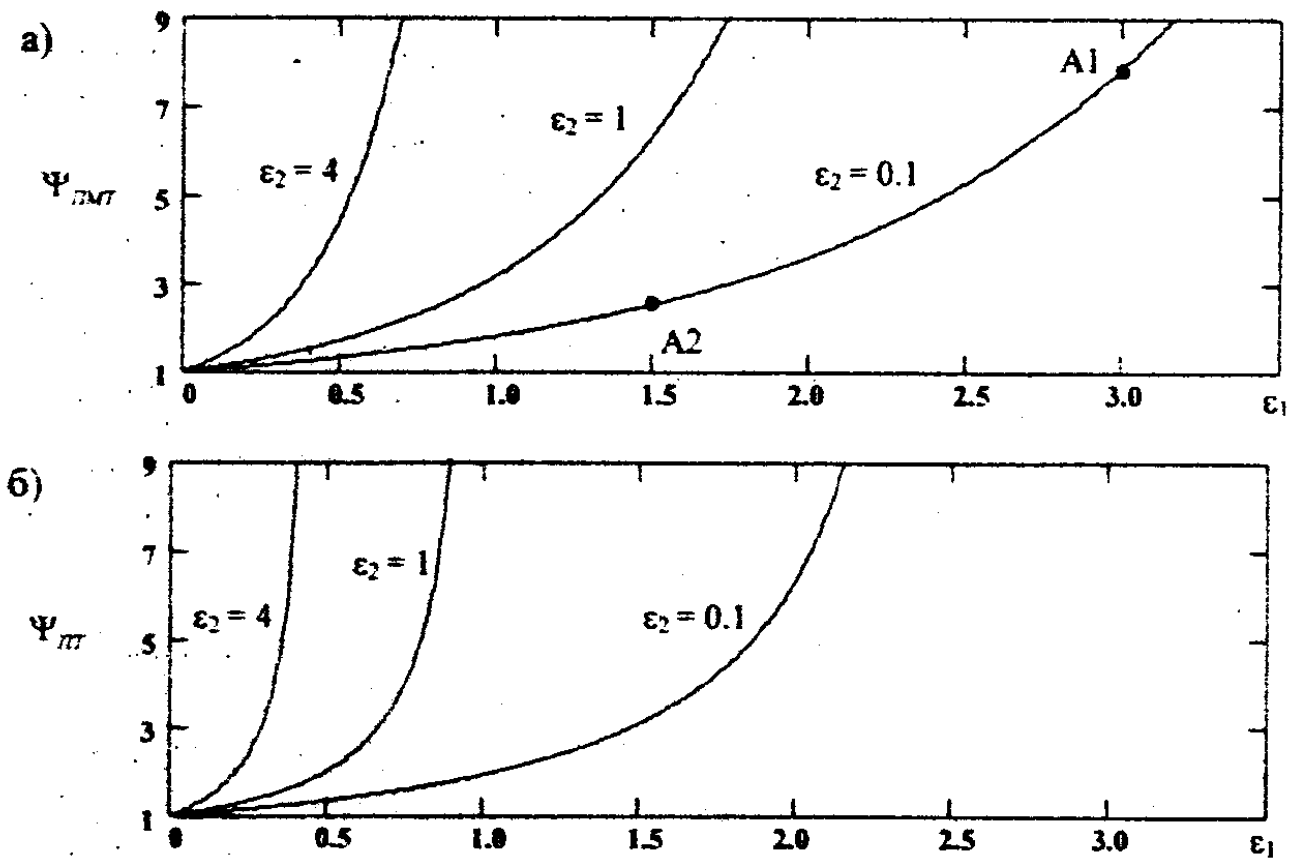


Рис. 2. Поправочный коэффициент при использовании модели полного перемешивания для теплообменника с прямотоком (а) и противотоком (б)

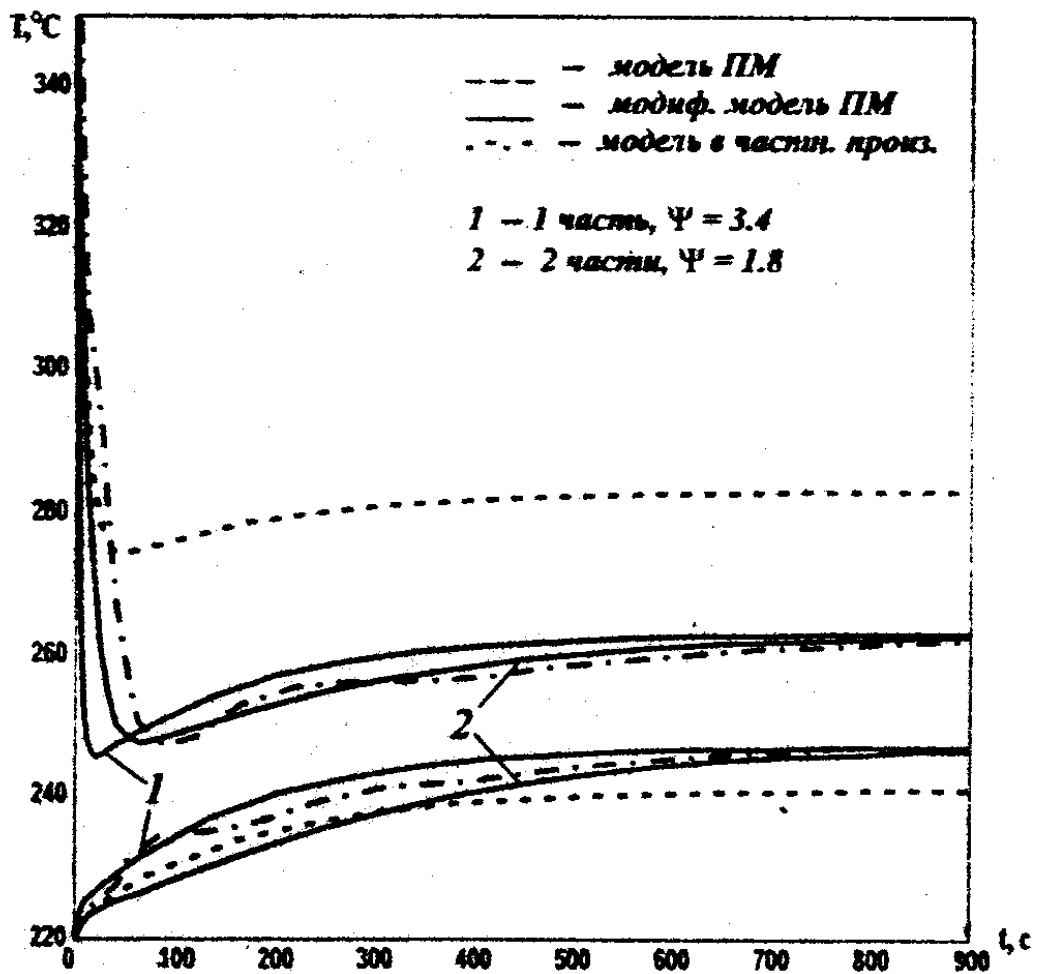


Рис.3. Динамические характеристики температуры сред

Поскольку ϵ_1 прямо пропорционально площади поверхности теплообмена F , количество составных частей модели можно определить по приведенным на рис. 2 графикам, с помощью следующего алгоритма:

а) определяем максимальное значение ϵ_1 , которое он достигает при работе теплового аппарата в разных режимах, и соответствующее ему значение ϵ_2 ;

б) делим эту величину на значение ϵ_1 , соответствующее точке пересечения значения $\Psi_{гр}$ с границей рабочей области графика по параметру ϵ_2 , и округляем результат до ближайшего целого. Получившееся число равно количеству последовательно включенных звеньев, на которое следует разбить исходную СП-модель.

Например, для прямоточного теплообменника, со значением коэффициента Ψ , соответствующим точке А1, целесообразно деление на 2 части с параметрами $\epsilon_1 = 1,5$, $\epsilon_2 = 0,1$ (рис. 2а, точка А2, $\Psi=2,5$).

Изменение переходного процесса в модифицированной СП-модели при ее разбиении на две части показано на рис. 3 (кривая 2).

Таким образом, при введении коэффициента Ψ мы приходим для некоторого соотношения параметров ϵ_1 , ϵ_2 к многоэлементной СП-модели, эквивалентной по эффективности исследуемой модели теплообменного аппарата. Разбиение модифицированной модели на звенья производится для улучшения ее динамики, точность обеспечивается введением коэффициента Ψ . Число звеньев модели вычисляется по известным параметрам ϵ_1 , ϵ_2 .

Описанный способ модификации применим для расчета температур как конвективных, так и радиационных поверхностей нагрева.

Особенности математических моделей некоторых основных компонентов котла

Сосредоточенная модель топки представлена системой из дифференциальных и алгебраических уравнений, включающей уравнения энергетического баланса в продуктах сгорания и баланса теплоты, передаваемой через слой наружных загрязнений. С целью повышения точности расчетов уравнения модели учитывают потери тепла от присосов холодного воздуха в топку и теплоту, вносимую с паром через мазутные форсунки при растопке.

В работе выполнен расчет теплотворной способности Q_H^P топлива и смеси разных видов топлива с учетом его нормативных параметров (зольности W_P , влажности A_P) при использовании местного угля и тюменского газа и получено общее выражение, включающее процентное содержание газа b_g , мазута b_m , угля b_{yg} в топливной смеси,

$$Q_H^P = [((1,4b_{yg} + 0,045)(100 - W_P - A_P)/52) + 3,97b_m + 4,7b_g - 0,0025W_P] 10^4, \text{ кДж/Кг.}$$

Для приведенной степени черноты топочной камеры получено достаточно простое выражение:

$$\alpha_\epsilon = (0,68 - 0,002 \theta_T) b_g \alpha_T^{-0,5} + 0,64 b_m \alpha_T^{-0,5} + 0,81 b_{yg} \alpha_T^{-0,13}$$

аппроксимирующее с достаточной точностью (погрешность не более 2%) предложенную в нормативных документах зависимость. Здесь θ_T – температура дымовых газов; α_T – коэффициент избытка воздуха.

В результате анализа выражения для количества теплоты Q_T , отводимой из топки с дымовыми газами, предложено уравнение $Q_T = D_G \theta_T$, где водяной эквивалент потока дымовых газов $D_G = f(\theta_T, \alpha_T, b_T, b_m, b_{yr})$ – определен в настоящей работе с учетом режимов работы котла ПК-14. Это позволило отказаться от расчета заданной таблично энтальпии.

Результатом проделанных исследований явилось упрощение итоговых уравнений и сокращение объема вычислений для их решения.

В модели "Температура стенки барабана" используется известное дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности неограниченной плоской стенки. Оно достаточно точно описывает температуру стенки барабана котла ПК-14 так как ее толщина на порядок меньше диаметра барабана.

Уравнение для единичного перепада температур может быть представлено в виде $\theta(\tau) = 1 - A e^{-B\tau}$, где A и B – функции, аргументами которых являются числа подобия Био и Фурье. Для коэффициента B предложено аппроксимирующее выражение $B = \frac{A}{0,52 + 1/Bi} \cdot \frac{\alpha}{\delta_{ст}^2}$, учитывающее связь между

параметрами A , μ и числами подобия Фурье в уравнении, приведенном А. В. Лыковым.

Решение при произвольном законе изменения температуры во времени получено с помощью интеграла Дюамеля:

$$t_{cti} = t_{ct}(\tau_i) = t_{ct0} - \int_0^{\tau_i} \frac{\partial t_{cp}}{\partial \tau}(\tau) (1 - A e^{-B(\tau_i - \tau)}) d\tau.$$

Здесь t_{cti} – температура стенки барабана в i -й момент времени, t_{cp} – температура рабочей среды.

Для решения интегрального уравнения была разработана программа, использующая рекуррентную процедуру, что исключило необходимость запоминать результаты, полученные на предыдущих итерациях, и ускорило процесс вычисления.

Она была также использована при расчете температуры во фланцах крупногабаритных пароводяных подогревателей ПВД.

Система уравнений для определения температуры стенки имеет вид:

$$t_{cti} = t_{ct0} + t_{cpi} - t_{cp0} - T_i, \quad T_i = \frac{T_{i-1}}{e^{Bh}} + S_i, \quad S_i = \frac{h}{2} A \left(\frac{\frac{\partial t_{cp}}{\partial \tau}(\tau_{i-1})}{e^{-Bh}} + \frac{\partial t_{cp}}{\partial \tau}(\tau_i) \right).$$

Коэффициенты теплоотдачи в верхней и нижней частях барабана существенно отличаются и зависят от направления изменения давления в барабане. Поэтому расчет температур верхней и нижней образующих барабана производится отдельно.

Пароперегреватель ПП котла ПК-14 конструктивно состоит из 3-х ступеней. Регулировка температуры пара производится в разных модификациях котлов ПК-14 либо в поверхностном пароохладителе ППО с помощью впрыска питательной воды либо впрыском собственного конденсата непосредственно в тракт пароперегревателя между первой и второй ступенями пароперегревателя или между второй и третьей. В модели предусмотрены оба варианта впрыска и вариант с использованием поверхностного пароохладителя.

Каждая ступень пароперегревателя, являющегося конвективным теплообменником, описывается системой уравнений (4). Направление движения теплоносителей учитывается коэффициентами Ψ , соответствующими противоточной (для ПП1) и прямоточной (для ПП2 и ПП3) схеме.

Входящие в уравнения модели коэффициенты теплоотдачи вычисляются по нормативной методике.

Коэффициент теплоотдачи излучением α_1 является функцией температуры греющих газов, абсолютной температуры загрязненной наружной поверхности и степени черноты потока газа a_1 .

Выполненные расчеты позволили получить для разных видов топлива упрощенные линейные уравнения для степени черноты потока газа a_1 :

$$a_{11} = [0,24 b_{gr} + 0,13 (b_r + b_w)] - [0,06 b_{gr} + 0,014 (b_r + b_w)] \alpha \text{ для ПП1};$$

$$a_{12} = [0,44 b_{gr} + 0,21 (b_r + b_w)] - [0,11 b_{gr} + 0,03 (b_r + b_w)] \alpha \text{ для ПП2, ПП3,}$$

где α – коэффициент избытка воздуха потока дымовых газов.

Коэффициент теплоотдачи α_2 является функцией коэффициента $Z_2 = \frac{\lambda_n}{\mu_n^{0,8}} P_r^{0,4}$,

для которого получена достаточно точная аппроксимация $Z_2 = 227 + 14P_{II}$, где P_{II} – давление пара в МПа. Эти замены позволили ускорить расчеты в модели пароперегревателя.

Экономайзер котла ПК-14 выполнен в виде двух ступеней ЭК1 и ЭК2. Как и в пароперегревателе, при расчете коэффициентов теплоотдачи конвекцией α_2 используется аппроксимирующее выражение $Z_2 = 17,7 - 0,0072t_n$, достаточно точное в диапазоне температур 100...800 градусов, а для степени черноты потока газа a_1 при расчете коэффициентов теплоотдачи излучением α_1 – аппроксимирующее выражение

$$a_{13} = [0,24 b_{gr} + 0,13 (b_r + b_w)] - [0,06 b_{gr} + 0,014 (b_r + b_w)] \alpha.$$

В экономайзерах, ввиду того, что термическое сопротивление на газовой поверхности нагрева существенно превышает термическое сопротивление металла

труб, согласно рекомендациям нормативных документов по динамическому расчету котлов, принимают $dt_x/d\tau = dt_m/d\tau$ и $t_m = t_x$.

Тогда система уравнений (4) для каждой ступени принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dt_r}{d\tau} = \frac{W_r(t_{r1} - t_r) - \alpha_r F \Psi_r(t_r - t_x)}{G_r c_{p,r}}, \\ \frac{dt_x}{d\tau} = \frac{\alpha_r F \Psi_r(t_r - t_x) - W_x(t_x - t_{x1})}{G_x c_{p,x} + G_m c_{p,m}} \end{cases}$$

Число сосредоточенных элементов, на которое следует разбить экономайзеры ЭК1 и ЭК2 при моделировании, определяется по предложенной выше методике. Для ступени ЭК1 $\varepsilon_1 = 1,2...4$, $\varepsilon_2 = 0,25...0,7$, для ступени ЭК2 $\varepsilon_1 = 0,6...2$, $\varepsilon_2 = 0,25...0,7$.

Воздухоподогреватель конструктивно реализован в виде двух ступеней, размещенных совместно с экономайзерами. Воздухоподогреватель также является конвективным теплообменником.

Как и в экономайзере, при расчете коэффициента теплоотдачи α_1 дымовых газов в рабочем диапазоне температур $100...600^\circ$ можно принять $Z_2 = 150 - 0,11t_1$, а при расчете коэффициента теплоотдачи α_2 воздуха при температурах воздушного потока $100...300^\circ\text{C}$ $Z_2 = 16,2$. Для первой ступени $\varepsilon_1 = 1,5...4$, $\varepsilon_2 = 1,2...2$, для второй ступени $\varepsilon_1 = 1,2...3$, $\varepsilon_2 = 1,2...2$.

Воздухоподогреватель также, как экономайзер, описывается двумя модифицированными уравнениями.

Газовоздушный и пароводяной тракты котла при моделировании разделены на отдельные участки, рассматриваемые как объекты с сосредоточенными параметрами.

Участок для сжимаемой или несжимаемой рабочей среды состоит из двух задвижек 1 и 2 и трубопровода с объемом V , заполненного рабочей средой. Значения давлений P_1 и P_2 , на концах участка известны, требуется найти расходы D_1 и D_2 через задвижки и значение давления P в среде с плотностью ρ_{cp} .

СП-модели таких участков представлены разными для случаев сжимаемой (пар, воздух, газ) и несжимаемой (вода, мазут) рабочей среды системами обыкновенных дифференциальных уравнений, основанными на уравнениях материального баланса, состояния и движения.

Для сжимаемой рабочей среды (пар, воздух, газ) из уравнений материального баланса $D_1 - D_2 = V d\rho/dt = dm/dt$ и уравнения состояния идеального газа $PV = mRT$, (m – масса газа, R – газовая постоянная, зависящая от природы газа, T – абсолютная температура газа) следует $\frac{dP}{dt} = \frac{(D_1 - D_2)RT}{V}$.

Это уравнение полностью описывает модель участка вместе с уравнениями расходов через вентили $D_1 = \frac{Kv_1}{\sqrt{2}} P_1 f\left(\frac{P_1}{P}\right)$, $D_2 = \frac{Kv_2}{\sqrt{2}} P f\left(\frac{P}{P_2}\right)$,

где $f\left(\frac{P_{\text{вмх}}}{P_{\text{вх}}}\right) = \sqrt{1 - \frac{P_{\text{вх}}^2}{P_{\text{вмх}}^2}}$ при $P_{\text{вмх}} > 0,53 P_{\text{вх}}$ и $f\left(\frac{P_{\text{вмх}}}{P_{\text{вх}}}\right) = 0,85$ при

надкритическом истечении – $P_{\text{вмх}} < 0,53 P_{\text{вх}}$. K_v – коэффициент пропускной способности вентиля – функция относительного положения L шибера задвижки (вентиля, клапана), плотности среды, проходного сечения труб и других параметров. Допущение, что уравнение состояния идеального газа адекватно описывает состояние рабочей среды, позволяет существенно упростить расчеты за счет исключения уравнения состояния, содержащего частные производные плотности среды по давлению и энтальпии.

Для расчета давления в участке трубопровода с несжимаемой средой (вода, мазут), где плотность среды ρ не меняется, использован искусственный прием, когда предполагается, что часть V_g объема участка заполнена газом, давление которого будем определять. Это эквивалентно компенсатору, вводимому в замкнутые трубопроводы для контроля давления.

Уравнение материального баланса для несжимаемой среды в сосредоточенной емкости записывается в форме $D_1 - D_2 = \rho_{\text{ср}} \frac{dV_{\text{ср}}}{dt}$.

Считая, что газ в емкости подчиняется закону состояния идеального газа, что температура и масса газа неизменны, и учитывая, что $V_g = V - V_{\text{ср}}$ и

$$\frac{dV_{\text{ср}}}{dt} = -\frac{dV_g}{dt}, \text{ получаем } \frac{dP}{dt} = \frac{P^2}{m R T \rho_{\text{ср}}} (D_1 - D_2).$$

Это уравнение совместно с уравнениями расходов через вентили образует систему, позволяющую рассчитать давление P в емкости с несжимаемой рабочей средой.

Расход зависит от функций, содержащих квадратный корень из разности давлений. Система уравнений становится неустойчивой при нулевых или почти нулевых расходах ввиду особенностей реализации вычисления квадратного корня численными методами. Для устранения этого явления было использовано предложенное А.С. Рубашкиным преобразование функции извлечения корня, при котором на начальном участке изменения аргумента функция заменяется на линейную.

Оценка адекватности модели реальному котлу ПК-14

Модель объекта является его аналогом лишь в рамках принятых допущений. В настоящее время для оценки соответствия модели реальному объекту применяются статистические и экспертные методы.

При использовании статистических методов ставится задача определить, принадлежат ли "практически" выборки данных, полученных на модели, и

аналогичные выборочные данные реального объекта одной генеральной совокупности. Если это так, то считается, что модель правильно отражает свойства объекта, так как расхождения между параметрами объекта и соответствующими данными, вычисленными с помощью модели, можно рассматривать как случайные величины, т.е. как ошибки измерений.

С помощью статистических критериев Стьюдента и Фишера (проверка гипотезы о среднем значении и анализ дисперсий) на основе одномерной двухвыборочной статистической модели был проведен анализ воспроизведения моделью основных параметров (расхода пара, температуры перегретого пара, давления в барабане, температуры горячего воздуха, коэффициента избытка воздуха за пароперегревателем, коэффициента избытка воздуха в уходящих газах) объекта в нескольких нагрузочных режимах (75%, 85% и 100%). В качестве источника необходимых для оценки экспериментальных данных объекта была использована информация из отчетов по испытаниям котла №9 Аргаяшской ТЭЦ.

В работе определены доверительные интервалы (при доверительной вероятности 0.95) средних значений вычисляемых параметров.

Результаты исследований подтвердили истинность гипотезы о средних значениях, и, следовательно, статистическую адекватность модели объекту моделирования.

Были произведены измерения выходных параметров перегретого пара и давления в барабане модели в режиме разгона. В частности, построены зависимости температуры перегретого пара при возмущении расходом топлива, впрыском, расходом воды через пароохладитель; давления в барабане при возмущении расходом топлива, температурой питательной воды, расходом питательной воды. Анализ показал, что характер динамики процессов объекта и разработанной модели тренажера качественно совпадает.

Статистические испытания не смогут убедить пользователя принять результаты, полученные с помощью модели, если они не согласуются с имеющимся у него опытом. В таких случаях пользуются мнением специалистов, обладающих глубокими знаниями моделируемого процесса и облеченных правом принимать ответственные решения. В настоящее время экспертные оценки адекватности математических моделей для тренажеров юридически закреплены в нормативно-технической документации. В соответствии с "Нормами годности программных средств подготовки персонала энергетики" точность модели считается достаточной, если "отклонение в поведении моделируемых параметров от поведения реальных параметров настолько мало, что практически не различается обучаемыми и допускается экспертами при приемке тренажера." Проверка разработанной модели парового котла ПК-14, осуществленная в процессе приемочных испытаний тренажера специалистами УТК "Челябэнерго", подтвердила адекватность описания моделью поведения реального объекта и целесообразность ее практического применения.

Основные характеристики тренажера

Специализированный тренажер для оперативного персонала парового котла ПК-14 реализует:

1) работу котла и управление им, начиная с растопки до выхода на номинальный режим нагрузки, при возможном частичном отключении отдельных регуляторов АСУ ТП, систем защиты и блокировки, при разных количествах действующих вентиляторов, дымососов, при вариациях температуры питательной воды, воздуха, степени избытка воздуха; пуски из разных тепловых состояний (не противоречащих технологическим требованиям); экстренные и плановые (медленные) остановки котла;

2) аварийные и нештатные ситуации, вызванные повреждением поверхностей нагрева, внезапным отключением технологического оборудования или систем автоматки и т.д.

Математическая модель парогенератора тренажера настроена на параметры барабанного парового котла ПК-14. Она реализована на персональном компьютере типа Pentium небольшой производительности в среде Windows. Состоит из 12 программных модулей, содержит более 10 тысяч элементарных блоков, обрабатывает свыше 500 входных и выходных переменных. Около 120 параметров выводится на пульт оператора, около 50 – на монитор инструктора.

Модель функционирует в реальном времени, что обеспечивается:

1) представлением компонентов котла в виде объектов с сосредоточенными параметрами, описываемых системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений в форме Коши;

2) разработкой программных модулей (dll), что позволило повысить скорость моделирования;

3) обоснованным выбором одношагового метода интегрирования (метода Эйлера) и постоянной величины шага интегрирования (порядка 0.1 сек);

4) использованием аппроксимации линейными или дробно-рациональными зависимостями трансцендентных уравнений для коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и др.

Модель обладает достаточной точностью расчетов, что обеспечивается:

1) применением разработанного метода модификации модели с полным перемешиванием для распространенного элемента котла – конвективной поверхности нагрева;

2) учетом ряда дополнительных погрешностей (потерь тепла, расходов на продувку и т.п.);

3) вычислением на каждом шаге коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, зависящих от режимных факторов, для учета нелинейного характера дифференциальных уравнений.

Адекватность модели и реального объекта подтверждается результатами сравнения поведения параметров модели и реального объекта; проведенным статистическим анализом, оценкой доверительных интервалов параметров, а также выводами специалистов комиссии по приемке тренажера в эксплуатацию.

Моделируемые процессы воспроизводятся в реальном масштабе времени на рабочем месте оператора, его мониторе и мониторе инструктора. Рабочее место оператора является физической копией блочного щита управления котла. Тренажер обеспечивает необходимую точность описания поведения реального объекта при возмущениях параметров в пределах, предусмотренных технологическим процессом.

Установка исходных состояний котла осуществляется оператором и инструктором. Предусмотрены различные способы регулирования температуры пара, соответствующие вариантам конструктивного исполнения котла; имитация работы на разных видах топлива; возможность изменения коэффициентов, учитывающих степень загрязнения поверхностей нагрева, положение факела в топке, присосы воздуха в топку и т.д. Это расширяет функциональные возможности тренажера при обучении персонала. При ошибочных действиях оператора формируются соответствующие предупреждающие сообщения на мониторах, входящих в рабочее место оператора и инструктора.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана математическая модель парогенератора специализированного тренажера для оперативного персонала, адекватно имитирующая поведение объекта в штатных и аварийных ситуациях, работающая в реальном времени с использованием ограниченных вычислительных ресурсов.

2. Предложен новый метод модификации системы обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих конвективные теплообменники, позволяющий повысить точность расчета температур и учесть направление движения теплоносителей в реальных теплообменниках. Эффект достигается за счет введения поправочного коэффициента, вычисляемого по предложенным формулам. Метод применим при расчетах температур различных конвективных и радиационных поверхностей нагрева.

3. Предложена упрощенная программа определения температуры в толстостенных элементах при неустановившихся режимах, использующая аппроксимацию ряда параметров в уравнении нестационарной теплопроводности и реализующая рекуррентную вычислительную процедуру. Программа использована для определения температуры стенки барабана котла. Кроме этого, она нашла применение для расчета температур во фланцах крупногабаритных пароводяных подогревателей.

4. Разработанная математическая модель парового котла является основой специализированного тренажера, внедренного в эксплуатацию в УТК АО "Челябэнерго".

Тренажер парового барабанного котла ПК-14, обладающий необходимыми функциональными и дидактическими характеристиками и имеющий низкую стоимость, применяется для обучения алгоритмам управления парогенераторами обслуживающего персонала ТЭС региона.

По теме диссертации опубликованы следующие работы

1. Барменков Г.Б., Коган С.В. Мини-тренажер для подготовки и тренажа оперативного персонала ТЭС // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – Выпуск 1. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, – 2001. – №4 (04). – С. 67–69.

2. Барменков Г.Б., Коган С.В. Принципы построения комплексных моделей сложного теплоэнергетического оборудования // Автоматизация и управление в технических системах: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, – 2000. – С. 21–25.

3. Барменков Г.Б., Коган С.В. Система тренажеров энергопредприятий // Системы автоматического управления: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, – 2000. – С. 8–11.

4. Коган С. В. Математическая модель топки парового котла для тренажера // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – Выпуск 1. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, – 2001. – №4 (04). – С. 64–66.

5. Коган С.В., Барменков Г.Б. Организация тренажерной подготовки персонала на примере АО "Челябэнерго" // Российский национальный симпозиум по энергетике: Материалы докладов РНСЭ: В 3т. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, – 2001. – Т 3. – С. 193 – 195.

6. Коган С.В., Марушкин В.М., Барменков Г.Б. К вопросу моделирования поверхностных теплообменников, работающих без изменения агрегатного состояния теплоносителей // Российский национальный симпозиум по энергетике: Материалы докладов РНСЭ: В 3т. – Казань: Изд. Казанский государственный энергетический университет, – 2001. – Т 1. – С. 219 – 222.

7. Нестационарная теплопроводность и перемещения фланцев крупногабаритных пароводяных подогревателей ТЭС / В.М. Марушкин, Д.Б. Бирюков, С.В. Коган, С.А. Бурцев // Прочность и ресурс энергооборудования: Труды НПО ЦКТИ. Выпуск 291. – СПб. – 2002. – С. 231–243.

8. Коган С.В., Марушкин В.М. Прогрев (охлаждение) пластины средой с экспоненциальным законом изменения температуры // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – Выпуск 2 – Челябинск: Изд. ЮУрГУ. – 2002. – №2 (02). В печати.