

проведено предварительное обследование состояния ограждающих конструкций и микроклимата в помещениях здания. До конца отопительного сезона планируется выполнить монтаж системы регулирования тепловой нагрузки на отопление. Предварительные расчёты показывают, что применение регулирования тепловой нагрузки за счёт коррекции графика отпуска теплоты, применения пофасадного регулирования, снижения тепловой нагрузки в ночное время и нерабочие дни приведёт к экономии до 30% от её годового потребления на отопление здания.

Реализация демонстрационного проекта по созданию здания с эффективным использованием энергии не только покажет возможности энергосберегающих технологий, но и, надеемся, станет центром распространения полученных положительных результатов, хорошей учебной базой для подготовки и переподготовки специалистов в области энергосбережения.

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ И НАСТРОЙКИ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

проф. В.И. ПАНФЕРОВ

Южно-Уральский государственный университет

Система теплоснабжения представляет собой сложный комплекс установок и устройств, работа которых характеризуется взаимосвязанностью режимов. Нарушение нормального режима работы в одном из звеньев неизбежно отражается на работе остальных частей системы. Положение осложняется также и тем, что тепловые сети обычно отличаются большой протяженностью и разветвленностью трубопроводных схем: радиусы теплоснабжения достигают 15 - 20 км, а едиными системами теплоснабжения охватываются крупные промышленные центры и жилые массивы. Нагрузка систем теплоснабжения изменяется как в течение суток и по дням недели, так и в зависимости от температуры наружного воздуха. В указанных условиях надежная и экономичная работа систем теплоснабжения возможна только при применении современных систем автоматизированного управления. К сожалению, применяемые в настоящее время системы управления процессами теплоснабжения достаточно не совершенны, поэтому необходимы разработка и внедрение наиболее эффективных систем с обратной связью по параметрам теплового и гидравлического режимов. Вместе с тем, решение этой крупной проблемы сдерживается, в основном, из-за отсутствия систематизированной теоретической базы построения и настройки алгоритмического обеспечения таких систем. Процедуры выбора структуры моделей и алгоритмов, используемых для контроля, прогноза и управления процессами теплоснабжения, и особенно их параметрической настройки являются, как правило, секретом фирм-разработчиков автоматизированных систем управления (АСУ), такие задачи решаются в большинстве случаев на основе опыта и интуиции, методы решения этих задач в значительной мере относятся к области инженерного искусства, а не к области инженерных знаний. В связи с этим в ЮУрГУ начата разработка основ структурного синтеза и настройки моделей и алгоритмов применительно к современным системам управления процессами теплоснабжения. В частности, рассмотрена следующая задача. При аварийных ситуациях в системе теплоснабжения возможно отключение некоторых участков теплотрассы. Прекращение же циркуляции теплоносителя в холодный период года может привести к образованию льда на внутренней поверхности теплопроводов и к их разрушению. В связи с этим при управлении процессами теплоснабжения крайне необходимо решить вопрос о компьютерном контроле предельно допустимого времени отключения участков тепловых сетей в зимний период. Для решения этой задачи разработан комплекс математических моделей нестационарного теплообмена теплопроводов. Численное интегрирование дифференциальных моделей осуществлялось неявным методом сеток, в частности, после зарождения ледяной фазы температурное поле теплопровода вычислялось по сетке с "подвижными" узлами. Схемы аппроксимации решались методом прогонки. Вследствие неопределенности коэффициентов теплоотдачи потребовалась настройка моделей на реальный процесс по экспериментальным данным. Данная задача параметрической идентификации моделей решалась с помощью программы, реализующей метод покоординатного

спуска, получающиеся затем задачи одномерной минимизации решались с помощью подпрограммы, использующей метод золотого сечения.

Известно, что распределение температуры теплоносителя вдоль трубопровода зависит от линейного термического сопротивления теплопередаче, которое определяется с использованием значений коэффициентов теплоотдачи для внутренней и внешней поверхностей трубы. Коэффициенты зависят от многих трудно учитываемых факторов, поэтому необходима настройка модели распределения температуры на конкретный процесс по экспериментальным данным с решением задачи параметрической идентификации. Используя точечный метод наименьших квадратов, разработали два варианта алгоритма идентификации модели. Апробация алгоритма проводилась как с помощью моделирования на ЭВМ, так и по экспериментальным данным, полученным в лабораторных условиях. При проведении экспериментов температура теплоносителя измерялась в двух точках неизолированного теплопровода с помощью хромель-копелевых термопар и потенциометра типа ПП-63. Теплопровод изготовлен из обыкновенной водогазопроводной трубы условным диаметром $D_u = 20$ мм. В качестве образцового расходомера использовался мерный сосуд с секундомером. Расход теплоносителя регулировался вручную вентилем. Используя полученные экспериментальные данные, с помощью алгоритма идентификации нашли, что для указанного теплопровода линейное термическое сопротивление теплопередаче составляет $3,648 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$. При этом среднее арифметическое отклонение расчетных значений температуры от экспериментальных данных составило $0,73 \text{ }^\circ\text{C}$, что вполне приемлемо. Учитывая, что коэффициент теплоотдачи для внутренней поверхности трубы достаточно высок, определили коэффициент теплоотдачи для наружной поверхности, его значение составило $10,233 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

Обычно считается, что разность температур теплоносителя и трубопровода достаточно мала и тем не менее, представляет интерес такая проблема: как распределяется температура по длине самого трубопровода. Для решения этой задачи посредством рассмотрения элементарного участка трубопровода получили дифференциальное уравнение распределения температуры трубы по ее длине. Анализ найденного решения показал, что температура теплоносителя по длине теплопровода, так и температура вдоль эквивалентного стержня подчиняются такому же уравнению, что и температура самой трубы, различаются только аргументы экспонент в уравнениях. Температура трубопровода уменьшается вдоль своей длины существенно медленнее, чем температура эквивалентного стержня. Этот факт объясняется тем, что трубопровод в отличие от эквивалентного стержня получает теплоту от теплоносителя.

Понятно, что качество процессов управления должно отвечать предъявляемым требованиям. Эта задача решается посредством настройки локальных систем автоматического регулирования (САР). Однако удовлетворительная настройка САР возможна только, если известны динамические параметры данного канала. Вместе с тем, в теории автоматического управления для определения параметров дифференциального уравнения объекта обычно применяются графические или графоаналитические методы, базирующиеся на использовании экспериментальных кривых разгона. К настоящему времени точность настройки моделей такими методами уже нельзя признать удовлетворительной, кроме того, зачастую велика трудоемкость применяемых процедур. Поэтому целесообразна разработка компьютерных алгоритмов параметрической идентификации моделей объектов управления. Вопросы достижения требуемой точности настройки и уменьшения объема необходимых графических построений и сопутствующих им «ручных» вычислений при этом автоматически снимаются. В связи с этим на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции ЮУрГУ разработан компьютерный алгоритм оценки динамических свойств элементов систем теплоснабжения по экспериментальным кривым разгона. При этом объект управления описывался дифференциальным уравнением второго порядка с запаздыванием. Критерий идентификации оценивал сумму квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений выхода объекта для одинакового входного воздействия.

При решении задачи идентификации для численного интегрирования уравнения объекта применяли метод Рунге-Кутты с погрешностью пропорциональной пятой степени шага по времени. Для этого дифференциальное уравнение объекта предварительно записывали в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка, в нормальной форме Коши. В

связи с необходимостью обеспечения заданной точности расчета программа построена так, что между экспериментальными точками по времени укладывается целое число расчетных шагов. Апробацию разработанного алгоритма проводили по большому набору экспериментальных кривых разгона. Во всех случаях были получены достаточно качественные результаты идентификации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТРУБЧАТЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ С ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕНА

доц. Е.В.МИХАЙЛИШИН, Е.А.МАЛЯР

Уральский государственный технический университет

Трубчатые рекуператоры широко распространены в различных отраслях промышленности для подогрева воздуха отходящими дымовыми газами от огнетехнических агрегатов. Расчет рекуператоров, даже на проектной стадии, является трудоемким процессом.

В работе [1] представлено разработанное программное обеспечение для ПК, содержащее пакет программ на языке PASCAL для расчета трубчатых конвективных и радиационных рекуператоров как с интенсификацией теплообмена за счет установки улиточных завихрителей на входе в теплообменные трубы, так и без нее. Расчет производится либо по заданной скорости движения воздуха (определяется количество теплообменных труб и конфигурация рекуператора), либо по известному количеству труб и конфигурации рекуператора.

Современное развитие промышленного производства связано в основном с реконструкцией, перепрофилированием действующих предприятий. Поэтому возникает необходимость определять характеристики уже существующего оборудования и, в частности, рекуператоров для новых условий работы. Нередко при выборе исходных данных для расчета рекуператоров приходится учитывать и наличие у заказчика определенных материалов, воздушного оборудования.

Представленная программа не полностью учитывает эти факторы. Так, параметры завихрителя, размеры радиационного рекуператора, гидравлические потери в нем определяются из условия равенства коэффициентов теплоотдачи на внутренней и наружной поверхности теплообменных труб.

Для учета указанных выше факторов пакет дополнен программой, позволяющей рассчитывать радиационные рекуператоры с заданной начальной закруткой потока и переменным расходом воздуха. В первом случае, изменяя начальную закрутку при постоянной средней скорости воздуха, можно получать коэффициенты теплоотдачи внутри теплообменных труб в широком диапазоне, что сказывается на максимальной температуре поверхности теплообмена, а, следовательно, на выборе материала труб и потерях давления, которые при необходимости сравниваются с заданными. Во втором случае при известной конфигурации рекуператора (с закруткой или без нее) рассчитывается температура подогретого воздуха, максимальная температура стенки и потери давления.

Кроме того, добавлен блок для расчета радиационных трубчатых рекуператоров с интенсификацией теплообмена за счет комплексного влияния закрутки потока и регулярной шероховатости [2]. При этом проводится анализ о целесообразности использования регулярной шероховатости.

Библиографический список

1. Михайлишин Е.В., Маляр Е.А. Программное обеспечение для расчета трубчатых рекуператоров. Строительство и образование. Сборник научных трудов, Екатеринбург, 1998, стр. 105-108.
2. Михайлишин Е.В. Теплообмен в трубе с местной закруткой потока и регулярной шероховатостью поверхности. Рукопись депонирована в ВИНТИ 17.03.86 № 1787 - В86 Деп. 13 с. РЖ 16Б, № 7, 1986 г.