

УДК 621.181.001.24

*Н.М. Оскорбин, В.С. Беднаржевский***Создание системы информационных технологий при моделировании и проектировании в теплоэнергетике**

Основными целями математического моделирования энергетических котлоагрегатов являются:

– сокращение сроков разработки новых котлов и запуска их в производство вследствие более совершенной организации всего цикла проектирования и отладки проектных решений на моделях на ранних стадиях конструирования без изготовления дорогостоящего прототипа;

– повышение качества и конкурентоспособности изделий путем внедрения компьютерных технологий, включая геометрическое моделирование, математические методы анализа и оптимизации будущей конструкции.

Информационное обеспечение компьютерного моделирования паровых котлов включает в себя комплекс пакетов прикладных программ, разработанный в ОАО «Сибэнергомаш», состоящий из семи пакетов прикладных программ (ППП) для проектирования котлоагрегата в режиме диалога: «Тепловой расчет котлоагрегата»; «Расчет температуры металла стенки трубы»; «Расчет на прочность цельносварных газоплотных конструкций»; «Аэродинамический расчет котлоагрегата»; «Расчет теплофизических свойств теплоносителей»; «Гидравлический расчет пароперегревателя»; «Расчет надежности работы котлоагрегата» [1].

Во всех пакетах исходная информация в режиме диалога вводится с клавиатуры дисплея в последовательности, определяемой запросами ЭВМ.

При математическом моделировании парового котла последовательно прорабатываются определенные этапы: расчет конструкции, изготовление чертежей, расчет динамики работы котла [2]. Каждому этапу соответствует своя математическая модель: статическая, параметрическая, динамическая.

Статические модели представляют собой алгоритмы расчетов: конструктивного теплового, поверочного теплового, аэродинамического, гидравлического, перепада давления по паровому тракту, элементов котла на прочность, цельносварных экранов на прочность, системы пылеприготовления, трубопроводов на самокомпенсацию, цельносварных газоплотных

потолков на прочность, каркаса котла, надежности работы поверхностей нагрева.

Высокий уровень математического моделирования удается обеспечить за счет специализации моделей на определенный тип изделий, таких, например, как трубы, коллекторы, цельносварные панели и т.п. Моделирование происходит по AutoLISP-программам в среде AutoCAD, что предполагает предварительную параметризацию объекта проектирования.

Под параметризацией понимается такое представление некоторого класса геометрических объектов, которое позволяет автоматически получать конкретный объект (экземпляр класса) путем задания значений параметров. В крайней точке этого спектра – полностью автоматический выпуск конструкторской и технологической документации, необходимой для подготовки производства и собственно производства котлоагрегата.

Поддержка технологии типового конструирования – один из примеров применения параметризации. Эта технология предполагает, что конструирование детали производится путем сопоставления ей некоторой типовой детали, определения значений размеров и задания дополнительных элементов – «элементов обогащения», которые отличают конструируемую деталь от типовой [3]. Для поддержки этой технологии нужно представить в параметризованной форме и элементы обогащения, и типовые детали. Использование параметризованных объектов способно радикально изменить стиль работы пользователя в AutoCAD-системах с применением AutoLISP-программ.

На чертеже обычно бывает различное количество сечений, видов, разрезов. Для их построения целесообразнее использовать параметризацию по размерам. В основе параметризации по размерам лежит известный факт, что геометрия чертежа может быть рассчитана по эскизу и значениям нанесенных на эскизе размеров. С точки зрения параметризации это означает, что любой чертеж с правильной и полной расстановкой размеров может служить описателем класса чертежей, различающихся значениями размеров. Таким

образом, для создания параметризованного чертежа достаточно построить эталонный экземпляр-образец. Параметризация по размерам опирается на возможность расчета геометрии чертежа по приблизительному эскизу.

В нем определяются состав геометрических элементов, размерные отношения и наглядные геометрические отношения. Совокупность геометрических и размерных отношений при заданном наборе элементов образует систему ограничений, достаточную для расчета геометрии чертежа.

Все данные, которые используются для представления параметризованного чертежа, составляют его модель. В модели можно выделить две части: параметрическую и топологическую, по которым, соответственно, рассчитывается геометрия для заданных значений размеров и строится экземпляр чертежа. Параметрическая модель МР состоит из трех множеств:  $E$  – геометрических элементов,  $G$  – геометрических отношений и  $R$  – размерных отношений;  $MP = \{E, G, R\}$ . Например, множество  $E$  содержит точки, прямые и окружности. Включим в  $E$  трубы и коллекторы, образующие основу для чертежей цельносварных панелей топки, блоков пароперегревателя, ширм, водяного экономайзера, водоупускной системы.

Топологическая модель задает соответствие между элементами чертежа и геометрическими элементами параметрической модели. По топологической модели, используя полученные в результате расчета параметры геометрических элементов, строится экземпляр чертежа.

Многие задачи имеют по несколько решений, и, как правило, для одного набора значений существует множество экземпляров, удовлетворяющих одной и той же модели.

Рассмотрим критерий, с помощью которого из этого множества выделяется единственный, в определенном смысле наиболее подходящий, экземпляр. Выбор должен делаться только на основании чертежа-образца и не должен требовать дополнительной информации от пользователя.

Перечислим ряд свойств, которым должен удовлетворять принцип выбора. Пусть по чертежу  $E^0$ , который будет использоваться в качестве образца параметризованного чертежа и которому соответствуют значения размеров  $\vec{r}^0 = (r_1^0, \dots, r_n^0)$ , построена модель  $MP = \{E^0, G, R\}$ . Для любого набора значений  $\vec{r}^1$  процедура выбора должна определять из

конечного множества экземпляров, удовлетворяющих модели МР, единственный экземпляр  $E^1$ , о котором будем говорить, что он похож на образец  $E^0$ , либо сообщать, что подобного экземпляра нет. Пользователю было бы очень трудно работать в системе параметризации, в которой принцип выбора не удовлетворял бы следующим свойствам: рефлексивность, симметричность, транзитивность, однозначность, непрерывность. Аппарат параметризации был реализован для построения рабочих чертежей коллекторов на языке AutoLISP для ПЭВМ IBM PC [4].

Динамическая модель котла необходима для настройки автоматических систем регулирования (САР) и выявления опасных отклонений параметров на стадии проектирования. Задача математического моделирования заключается в составлении системы линейных дифференциальных и алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами, связывающей входные и выходные координаты расчетных участков и в решении этой системы уравнений относительно выходных координат с целью получения динамических характеристик на ЭВМ.

Математическая модель создается в предположении, что котельный агрегат является линейной детерминированной системой в условиях малых возмущений (сосредоточенные параметры) [5].

При составлении уравнений динамики применяется метод линеаризации, позволяющий использовать при исследованиях малые отклонения от стационарного режима.

Барабанный котел делится на ряд расчетных участков, каждый из которых неизменен в геометрическом отношении. По характеру теплообмена участки барабанного котла разделяются на конвективные и радиационные, для радиационных участков принято, что тепловой поток не зависит от температуры рабочей среды. За радиационный участок принимается циркуляционный контур барабанного котла, все остальные поверхности нагрева котла считаются конвективными, но изменение коэффициента теплоотдачи лучеиспусканием учитывается по соответствующим зависимостям.

Топка рассматривается как одно звено, зоны по высоте топки в расчет не принимаются, процессы горения в топке не моделируются, рассматриваются только процессы теплообмена, при этом принято, что процесс теплообмена в топке не оказывает влияния на параметры рабочей среды, протекающей внутри экранирующих труб, т.е. все поверхности в топке принимаются радиационными.

Линеаризация переменных производится относительно значений переменных величин в исходном стационарном состоянии. Параметры, характеризующие исходное состояние, а также конструктивные параметры принимаются постоянными для каждого режима.

Описанная теория была применена для котлоагрегата БКЗ 420-140-9 производства ОАО «Сибэнергомаш» [6].

Предложена схема компьютерной технологии для моделирования энергетических паровых котлов как совокупность взаимодействия статических, параметрических и динамических моделей. Дано математическое описание моделей как функции определенных параметров проектирования. Практическая реализация этой схемы проведена на персональных ЭВМ IBM PC в ОАО «Сибэнергомаш».

### Литература

1. Беднаржевский В.С. Комплекс пакетов прикладных программ для автоматизированного проектирования котлоагрегата на АРМ-М // Тяжелое машиностроение. 1992. №12.
2. Беднаржевский В.С., Оскорбин Н.М. Автоматизированное проектирование энергетических паровых котлов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2002. №1-2.
3. Коваленко В.Н., Ревакин Ю.Г., Хухлаев Е.В. Параметризация машиностроительных чертежей, основанная на поэлементном расчете // Программирование. 1992. №2.
4. Беднаржевский В.С. Автоматизированное проектирование коллекторов энергетических котлов на ПЭВМ IBM PC // Тяжелое машиностроение. 1994. №11-12.
5. РТМ 108.031.101-84. Котлы барабанные: Расчет динамических характеристик. Л., 1986.
6. Беднаржевский В.С., Оскорбин Н.М. Динамическая математическая модель парового котла БКЗ 420-140-9 // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2002. №3-4.