

## МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БЛОЧНОГО ЖАРОТРУБНОГО КОТЛА

Н.А. Захарушкин, И.Ю. Абашев  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ПГС и ПГУ

Описание динамических характеристик с распределенными параметрами тепловой системы жаротрубного котла необходимо решать через систему уравнений с частными производными. Кроме того, некоторые дополнительные алгебраические уравнения требуют введения дифференциальных алгебраических уравнений, которые являются сложными для решения. Помимо этого, возникают некоторые нелинейные уравнения при моделировании механизма теплопередачи, например – излучение. Температура, давление, расход участвующих жидкостей являются независимыми переменными. Для безопасной эксплуатации котла необходимо принять во внимание некоторые ограничения и упрощения. Следовательно, предлагается комплексная модель, чтобы уменьшить сложность и время вычислений, обеспечить приемлемые результаты. Цель работы – предложить модель для моделирования характеристик горизонтального блочного жаротрубного котла с некоторыми упрощениями для использования на практике.

Общая схема расчета для разработанной модели показана на рисунке 1. Модель жаротрубного котла была создана с использованием MathCAD. Чтобы построить модель для системы по физическим принципам, необходимо определить т.н. входы (англ. input – варьирующие параметры) и выходы (англ. output – варьируемые критерии). Для жаротрубного котла входами являются конструктивные параметры (геометрия котла и элементов, которые могут быть включены в тепловую схему: например, экономайзера, пароперегревателя, деаэратора и др. [1]) и эксплуатационными параметрами, такими как расход воды, расход топлива и воздуха, температура и давление топлива и окружающей среды, положение парового клапана. Выходами являются параметры производительности, такие как температура (котловой воды, дымовых газов, насыщенного и перегретого паров), давление (внутри котла с водяной фазой и парового котла), расход пара, уровень или объем жидкости, состав дымовых газов и КПД котла. Кроме того, могут быть другие выходы, зависящие от дополнительных элементов, расположенных в качестве рекуперации тепла путем продувки, дегазатора, теплообменника, кондиционирования пара через пароперегреватель или питательной воды с помощью экономайзера. Ниже подробно рассмотрены два тракта жаротрубного котла. Перед запуском моделирования устанавливаются все константы, конструктивные и режимные параметры.

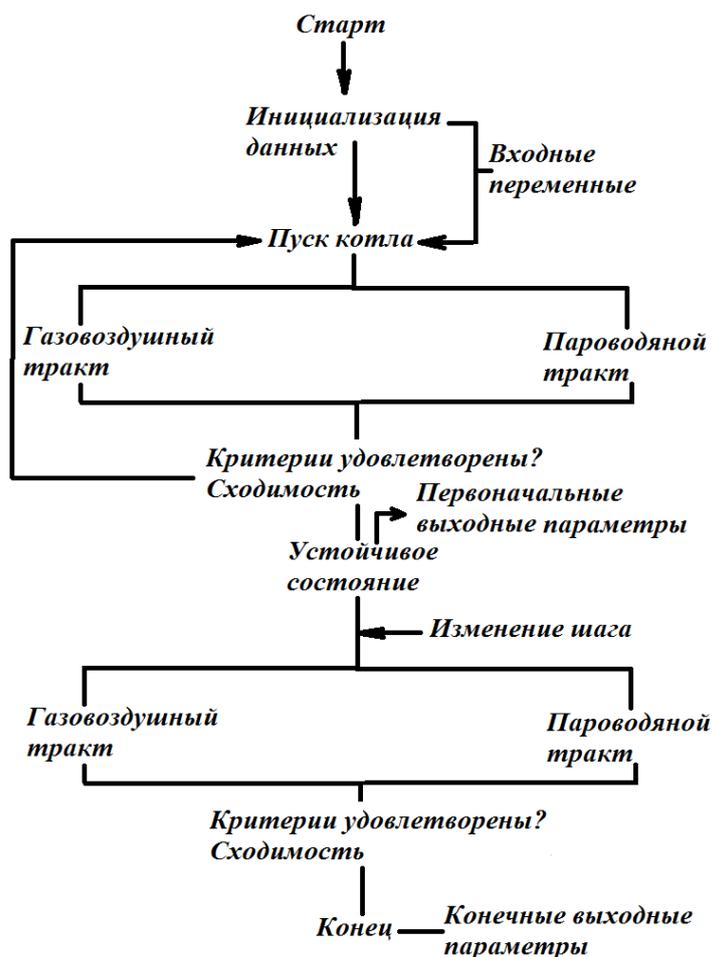


Рис. 1. Общая схема расчета разработанной модели

Моделирование запускается после того, как заданы начальные условия работы котла – характеристики топлива, воздуха, питательной воды. Когда сходимость достигнута и желаемое устойчивое состояние получено, могут быть внесены некоторые изменения, чтобы получить динамическое поведение котла, для достижения нового устойчивого состояния.

Для верификации модели произведено сравнение с результатами других авторов, во время которого дополнительные элементы, рассмотренные в [1], не учитываются, т.е. моделируются только газовоздушный и пароводяной тракты котла. Основными входными переменными являются расход топлива, воздуха, расход питательной воды и открытие парового клапана, температуры топлива, воздуха и питательной воды. Будет проиллюстрирована динамика изменения давления пара, расхода пара, температуры воды и водяного пара и объема воды.

Процесс моделирования сначала выполняется до достижения устойчивого состояния. Затем в течение некоторого времени представляется стационарный режим. После чего происходит изменение расхода топлива (следовательно, расход пара) в виде внезапного увеличения (путем изменения шага). Это значение поддерживается в течение некоторого времени. За это время меняются выходные параметры.

Испытания в работе [2] велись в шести различных режимах работы с расходом топлива от 14,6 до 37,9 кг/ч; расход воды колеблется от 181 до 465 кг/ч; давление пара от 3,8 до 7,3 кг/см<sup>2</sup>. [2], а также в работе Карстенсена [3] для

котлов, применяемых для эксперимента, использовался жаротрубный котел на мазуте производителя «Aalborg Industries». Соренсен [4] проводил ступенчатый ввод расхода топлива с 80 до 230 кг/ч в течение примерно 400 с. Он получил квази-линейное увеличение давления пара с 6 до 8 бар. Расход пара увеличился с 750 до 1250 кг/ч квази-линейным образом. Карстенсен [3] проводил испытания при 50-процентной нагрузке с давлением 7 бар. Когда изменялся расход топлива, давление пара увеличилось с 6 до 8 бар за 150 с, а при изменении расхода пара путем закрытия парового клапана давление пара увеличилось с 5,5 до 8,5 бар в течение около 700 с.

Родригес Васкес [5] провел эксперимент со ступенчатым вводом в отверстие топливного клапана, в котором регистрировался исследуемый выпуск (давление пара) с целью получения динамического поведения котла в отношении этих двух переменных. Разработанная математическая модель показывает качественное согласование результатов с аналогичными для вышеперечисленных работ.

В результате проделанной работы разработана динамическая модель на базе законов сохранения массы, энергии и импульса для анализа производительности котлов, а MathCAD был применен для её интеграции. В модели присутствуют газовоздушный и пароводяной тракты котла, экономайзер, пароперегреватель. Разработанная модель описывает работу котла в динамике, чтобы разработать и апробировать модель управления котлом в режиме реального времени. Такая модель дает полное представление о производительности котла при номинальных и переходных режимах его работы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Gutiérrez Ortiz F.J., Modeling of fire-tube boilers // Applied Thermal Engineering. – 2011, vol. 31, pp. 3463–3478.
2. Huang B.J., Ko P.Y., A system dynamics model of fire-tube shell boiler, // J. Dyn. Syst – T ASME. – 1994 vol. 116, pp. 745–754.
3. Sorensen K., Karstensen C.M.S., Condra T., Houbak N., Modelling and simulating fire tube boiler performance // Proceedings from SIMS 2003–44th Conference on Simulation and Modeling on September 18–19, Session 2b, Lecture 7.
4. Sorensen K., Karstensen C.M.S., Modelling of a one pass smoke tube boiler // Proceedings from SIMS 2004–45th Conference on Simulation and Modeling on September 23–24. – 2004, pp. 365–372.
5. Rodriguez Vasquez J.R., Rivas Perez R., Sotomayor Moriano J., Peran Gonzalez J.R., System identification of steam pressure in a fire-tube boiler // Comput. Chem. Eng. – 2008, vol. 32, pp. 2839–2848.

Научный руководитель: С.А. Хаустов, к.т.н., ассистент каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.