

УДК 621.039.4

## КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ БАРАБАННОГО ПАРОВОГО КОТЛА В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Л.А. КОРОПОВА, А.В. СТЕПАНЕЦ

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
просп. Победы, 37, Киев, 03056, Украина*

*Поступила в редакцию 31 января 2015*

Качество разрабатываемых систем автоматического управления во многом зависит от полноценности используемых на этапе функционального проектирования математических моделей технологических объектов управления. Парогенерирующие тепловые машины являются технологическим базисом многих промышленных объектов. Эта роль предполагает пристальное внимание со стороны как технологов, так и специалистов промышленной автоматизации, потому что современный технологический прогресс требует обеспечения оптимальности работы оборудования, снижения энергопотребления, увеличения надежности, экономичности, экологичности при росте КПД.

Паровой котел как объект регулирования представляет собой сложную динамическую систему с большим количеством входных и выходных взаимосвязанных величин, поэтому, исследуя его, в большинстве случаев проводят декомпозицию на отдельные участки регулирования. При этом автоматически исключается влияние других контуров на исследуемый, что усложняет задачу практического применения новых разработанных алгоритмов управления. Исходя из этого, для исследования синтезируемых алгоритмов и систем управления предлагается использовать комплексную математическую модель динамики объекта, что позволит учесть взаимовлияние контуров регулирования через объект и приблизить поведение тестируемой системы к промышленным реалиям.

Модель позволяет провести расчетную и стендовую отладку систем автоматического регулирования (САР) как в штатных режимах эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. А это то, что на реальной объектах либо невозможно сделать, либо понесет за собой большие финансовые затраты на эксперименты. Не претендуя на всеохватность и аутентичность моделированной динамики реальному объекту, что труднореализуемо из-за огромного числа взаимовлияющих факторов, модель все же позволяет отследить поведение комплекса контуров регулирования и адекватность их реакции на физические процессы в котле.

Как пример инструментария тестирования алгоритмов управления рассмотрим разработанную для котла ДКВР 10-13 математическую модель динамики (см. рис. 1). Разработана методика имитационного моделирования поведения котла с учетом влияния как управляющих воздействия со стороны алгоритмов управления, так и неконтролируемых, но имитируемых внешних возмущений. Для выбранной модели котла в модели реализовано 6 основных контуров регулирования [1]: тепловой нагрузки, разрежения в топке, экономичности горения, уровня воды в барабане, непрерывной продувки для обеспечения допустимого содержания в котловой воде, температуры первичного пара. Технически основой моделирования выступило инструментальное средство для моделирования динамических систем SIMULINK, входящее в состав пакета MATLAB.

Что касается реализации самой модели объекта регулирования, то она позволяет исследовать новые алгоритмы управления, сравнивать с уже существующими [2] и при этом наблюдать поведение объекта в целом. Разработки сводятся к исследованию влияния всех

контуров регулирования и сводят модель к набору элементарных звеньев и рассмотрению контура не в отрыве от других компонентов САУ. При сложном объекте управления и взаимосвязанности работы различных подсистем, а также при наличии многочисленных особенностей протекания технологического процесса, в котором присутствуют процессы различной физической природы, возможно исключить влияние человека-оператора и правильно сформировать алгоритмы управления и регулирования. Поэтому алгоритмическую часть АСУ ТП выгоднее проверить сначала на модели объекта, прежде чем ставить неотлаженные алгоритмы на объект.

Ключевым преимуществом модели является возможность ее реализации на промышленных и/или лабораторных программно-технических комплексах (ПТК) с физическими входами-выходами. Модель осуществляет вычислительные операции для расчета значений технологических параметров. Далее эти значения передаются в SCADA-систему, которая обеспечивает вывод информации на экран оператора станда. В свою очередь программируемый логический контроллер (ПЛК) в соответствии с заложенными алгоритмами формирует управляющие воздействия на объект, и так же передает данные на верхний уровень. Математический аппарат модели позволяет имитировать ситуацию, которая происходит во время наступления аварии на объекте. Они имитируют поведение реальных датчиков и воспринимают реальные управляющие команды от ПЛК, далее устанавливаемого в АСУ ТП котла. Модель и алгоритмы моделируются не в пределах одного компьютера, а уже в составе готового ПТК, с контроллерами. Таким образом, можно достичь уже отладки не только алгоритмической части АСУ, но и ее «железа», и также верхнего уровня, в ситуациях различного рода приближенных к действительности.

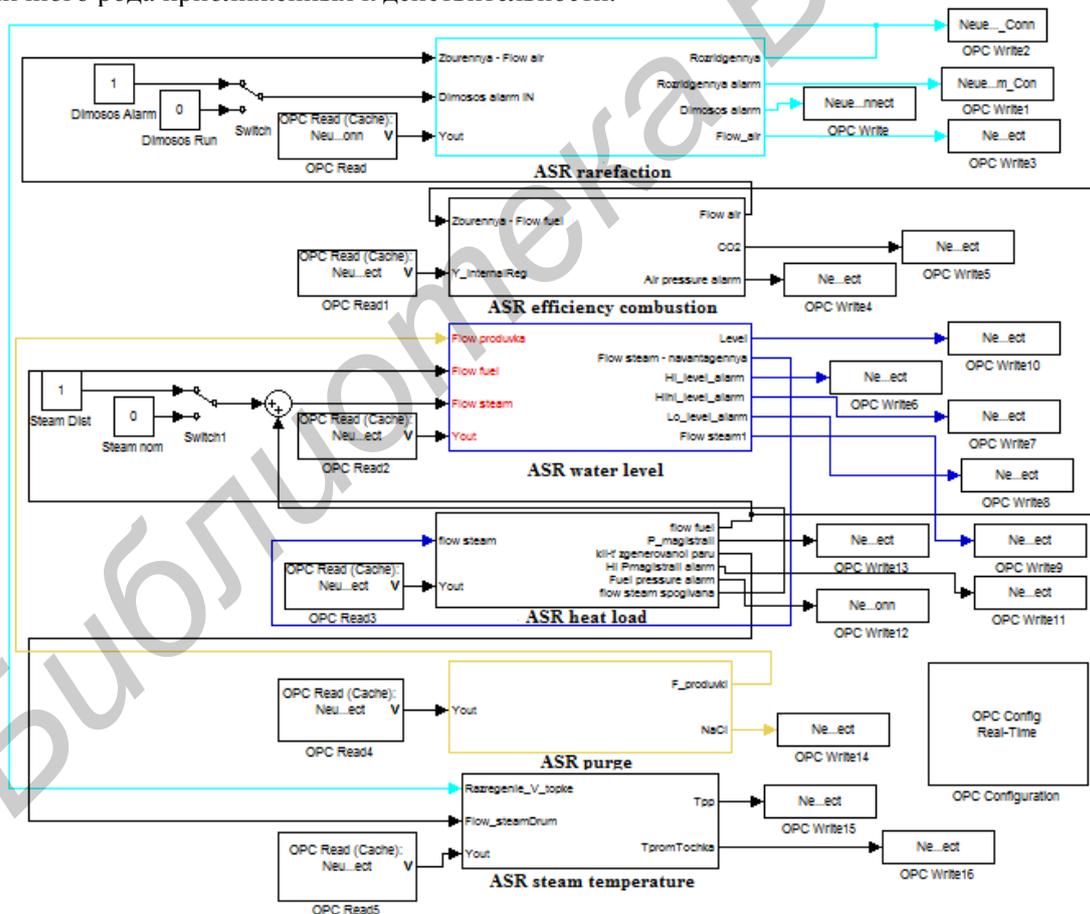


Рис. 1. Математическая модель динамики котла ДКВР 10-13

Синтез пригодных к использованию систем управления осложняется изменением динамических характеристик отдельных элементов котельных агрегатов в зависимости от нагрузки и других факторов, а также существенным транспортным запаздыванием, характерным для контуров управления теплоэнергетическими процессами. Таким образом, для обеспечения нужного качества управления параметры регулятора надо менять в значительных

диапазонах. Для проведения анализа динамических свойств по перечисленным каналам разгонные кривые контуров аппроксимированы инерционными звеньями первого порядка с запаздыванием. В результате аппроксимации были получены передаточные функции  $W(s)$ .

Производительность дымососа – разрежения в топке котла

$$W(s) = \frac{20.6s + 278}{0.0566s^2 + 1.67s + 1}.$$

Расход воздуха – разрежения в топке котла  $W(s) = \frac{80.3s + 1080}{0.0566s^2 + 1.67s + 1}.$

Производительность вентилятора – расход воздуха  $W(s) = \frac{0.00455s + 0.224}{0.000347s^2 + 0.748s + 1}.$

Производительность вентилятора – давление воздуха  $W(s) = \frac{0.5}{16s + 1}.$

Расход воздуха – содержание  $O_2$   $W(s) = \frac{2.74s + 0.224}{56s^2 + 16s + 1}.$

Расход топлива – содержание  $O_2$   $W(s) = \frac{-39.8}{56s^2 + 16s + 1}.$

Подача питательной воды – уровень в барабане  $W(s) = \frac{0.022}{s} e^{-20s}.$

Расход топлива – уровень в барабане  $W(s) = \frac{0.015}{60s + 1} + \frac{-1}{100s + 1}.$

Расход пара – уровень в барабане  $W(s) = \frac{0.26}{s} e^{-70s}.$

Количество сгенерированного пара – давление в магистрали  $W(s) = \frac{1}{32s + 1}.$

Количество сгенерированного пара – расход потребляемого пара:

$$W(s) = \frac{0.8s}{28.25s + 1} \cdot \frac{1}{43.67s + 1}$$

Расход пара – давление в магистрали  $W(s) = \frac{30.03s + 1}{28.25s + 1} \cdot \frac{40s + 1}{43.67s + 1}.$

Расход пара – расход потребляемого пара  $W(s) = 0.0195 \cdot \frac{41s}{41s + 1}.$

Расход топлива – давление топлива  $W(s) = \frac{0.2}{20s + 1}.$

Расход топлива – тепловосприятие топки  $W(s) = \frac{0.5}{10s + 1}.$

Расход топлива – количество сгенерированного пара  $W(s) = \frac{0.6}{20s + 1}.$

Физическая реализация модели возложена на промышленный программируемый логический контроллер модульного типа Phoenix Contact PLC [4]. Это позволяет привязать необходимое количество логических входов/выходов модели к физическим унифицированным интерфейсам контроллера, а, следовательно, и к внешнему аппаратному обеспечению, в котором были реализованы алгоритмы управления. В ПО контроллера были реализованы типовые законы управления контуров регулирования [3]. В результате работы были получены следующие переходные процессы, отраженные на рис. 2 и 3.

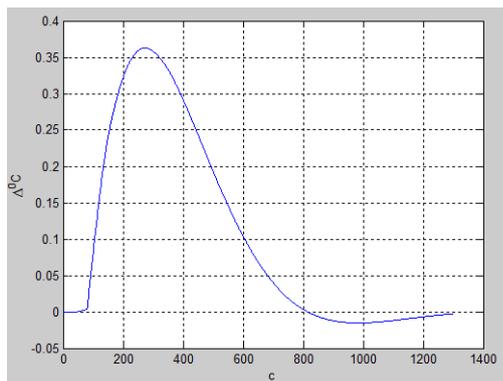


Рис. 2. Переходный процесс по каналу возмущения – выход в системе регулирования температуры перегретого пара

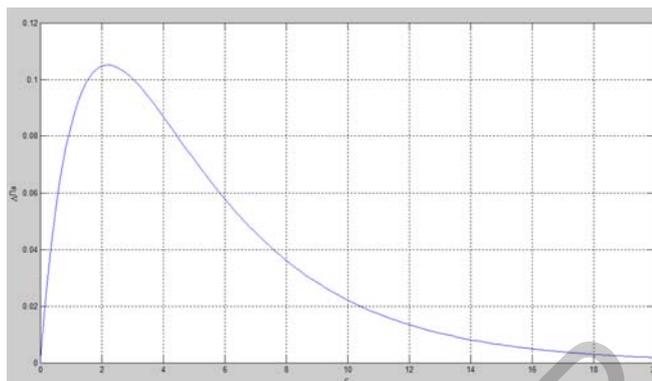


Рис. 3. Переходный процесс по каналу возмущения – выход в системе регулирования разрежением

Таким образом, системы регулирования должны определять окончательные параметры настроек регуляторов при вводе объекта в эксплуатацию, после его модификации или значительного изменения характеристик. Фактически, автоматизированные адаптивные системы управления используются все время, просто функции модулей адаптации выполняет опытный оператор. Поэтому разработка систем, которые могут самостоятельно или под наблюдением оператора подстраиваться под изменения объекта управления, является актуальной научной и практической задачей. Сохранение высокого качества управления контурами и элементами оборудования способствует экономии ресурсов и энергоносителей, повышению срока службы оборудования, положительно отразится на общей работе подконтрольных технологических процессов и инженерных систем. И решению этой задачи способствует стендовое исследование динамики подконтрольного объекта в составе с реальными промышленными ПТК.

### Выводы

Описано место комплексной математической модели объекта управления в проектировании высокоэффективных АСУ ТП энергетической отрасли. На примере модели динамики барабанного котла серии ДКВР показаны преимущества использования комплексной модели для тестирования, отладки и оптимизации алгоритмов управления на этапе стендовых испытаний промышленного ПТК. Результаты исследования модели свидетельствуют о возможности создания настраиваемой нелинейной динамической имитационной модели барабанного парового котла, которую с соответствующими программно-аппаратными средствами ПТК возможно использовать в АСУ ТП для целей управления и диагностирования.

### Список литературы

1. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. М., 1981.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М., 1981.
3. Ключев А. С., Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. М., 1970.
4. Control Technology, I/O Systems and Automation Infrastructure 2013/2014. Germany, 2013.