

УДК 681.51.01

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ ВОДОЙ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ И ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ТЭС И АЭС

Г.Т. КУЛАКОВ, А.Н. КУХОРЕНКО

*Белорусский национальный технический университет
проспект Независимости 65, Минск 220013, Беларусь**Командно-инженерный институт МЧС
Машиностроителей, 25, Минск, 220118, Беларусь**Поступила в редакцию 29 января 2015*

Совершенствование автоматических систем управления технологическими процессами является средством повышения эффективности и надежности работы на тепловых и атомных электростанциях, главной задачей при построении которых является правильный выбор структуры и параметров динамической настройки систем регулирования. Тенденция замены аналоговых систем управления на цифровые реализует широкие возможности по внедрению самых совершенных алгоритмов регулирования, что гарантирует получение высокой точности и быстродействия в системе управления. Особая роль в решении данной задачи принадлежит разработке и внедрению более эффективных систем автоматического регулирования уровней воды в барабане котла или парогенератора при переменных режимах работы.

Регулирование уровня воды в барабане главным образом сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей питательной воды, поэтому параметром, характеризующим материальный баланс, является именно уровень воды в его барабане. К стабилизации уровня предъявляются довольно жесткие требования: при этом максимально допустимые отклонения по уровню воды в барабане котла при стационарном режиме и отсутствии резких возмущений по нагрузке не должны превышать ± 20 мм, а при скачкообразном возмущении по нагрузке на 10 % (исходная нагрузка – номинальная) – ± 50 мм [1, с. 53]. Точность поддержания заданного уровня в стационарных режимах парогенераторов ПГВ-1000 энергоблоков с ВВЭР-1000 АЭС составляет ± 50 мм [2, с. 422].

Трехимпульсная классическая система автоматического регулирования (САР) уровня воды в барабане и ее модификации получили широкое распространение на ТЭС и АЭС [1–6]. Типовая трехимпульсная САР совмещает принципы регулирования по отклонению и возмущению.

Охват ПИ-регулятора типовой САР с жесткой или гибкой обратной отрицательной связью по отношению к внешнему контуру системы превращает регулятор уровня во внешнем контуре регулирования в статический. В результате при отработке задающего сигнала отсутствует статическая ошибка регулирования, т.к. динамика участка «расход питательной воды – уровень в барабане котла» характеризуется отсутствием самовыравнивания. Вместе с тем, при отработке внутреннего возмущения и внешнего – с явлением «набухание уровня» появляются статические ошибки регулирования в конце переходного процесса, что является основным недостатком типовой классической 3-х импульсной САР.

Проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков модернизированной типовой САР [6]: каскадной САР (КСАР); с дифференциатором; с нелинейными элементами в канале измерения уровня и вместо дифференциатора; с сигналом по отношению к расходам

пара и воды; с сигналом по скорости изменения уровня; с динамическим фильтром вместо дифференциатора в канале изменения расхода пара. Для улучшения статических свойств трехимпульсного регулятора питания рекомендовано использовать схему с дифференциатором в канале сигнала по материальному небалансу расходов пара и питательной воды или КСАР. В этом случае можно отказаться от коррекции сигналов датчиков по параметру рабочей среды. Обе модификации близки по своим статическим и динамическим свойствам, однако в системе регуляторов МЗТА автор Гуревич Э.З. отдал предпочтение САР с дифференциатором [6].

Проведенные исследования типовой КСАР показали, что переходные процессы в них имеют характер затухающих колебаний, интенсивность которых, как правило, оказывается явно недостаточной. КСАР на базе оптимального регулятора без учета динамики внутреннего контура характеризуется существенным увеличением регулирующего воздействия при отработке внешнего возмущения. При этом учет динамики внутреннего контура системы существенно снижает регулирующее воздействие при отработке внешнего возмущения расходом пара, однако уменьшение динамической ошибки регулирования по уровню приводит к увеличению максимальной величины регулирующего воздействия, которые больше, чем в типовой САР.

Результаты моделирования переходных процессов САР с дифференциатором с использованием пакета Simulink программного обеспечения MATLAB показали, что они при малой величине регулирующего воздействия также не обеспечивают существенного улучшения качества регулирования.

Для разрешения указанного противоречия была разработана инвариантная САР с выделением эквивалентного внешнего возмущения без его непосредственного измерения и ограничением максимальной величины регулирующего воздействия (расхода питательной воды).

При этом структуру основного регулятора выбираем по передаточной функции опережающего участка на базе передаточной функции оптимального регулятора при отработке задающего сигнала:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{1}{W_{оп}^*(p)} \cdot \frac{W_{зд1}(p)}{1 - W_{зд1}(p)}, \quad (1)$$

где $W_{оп}^*(p) = \frac{k_{оп}}{T_{оп}^*p + 1}$ (2) – передаточная функция опережающего участка (расход питательной

воды – перемещение стока регулирующего питательного клапана); $k_{оп}$ – коэффициент передачи; $T_{оп}^*$ – постоянная времени разгона экспоненты; $W_{зд1}(p) = \frac{1}{T_{зд1}p + 1}$ (3) – заданная

передаточная функция системы по задающему воздействию. Здесь $T_{зд1}$ – постоянная времени критерия оптимальности, определяющая полное время отработки скачка задания.

Подставив (2) и (3) в (1), получаем передаточную функцию ПИ-регулятора, у которого время интегрирования $T_{и}(p) = T_{оп}^*$, а коэффициент передачи $k_{оп} = T_{оп}^* / k_{оп} \cdot T_{зд1}$. При этом ПИ-регулятор охватываем гибкой обратной связью. С уменьшением численного значения $T_{зд1}$ повышается быстродействие системы при отработке задания и уменьшается максимальная динамическая ошибка регулирования при отработке внутреннего возмущения.

Для выделения эквивалентного внешнего возмущения параллельно инерционному участку объекта регулирования формируем динамическую модель последнего, выход которой в элементе сравнения вычитаем от основной регулируемой величины (уровня воды в барабане), а полученную разность подаем на устройство компенсации внешнего эквивалентного возмущения, ограниченный выход которого подается с противоположным знаком на вход основного регулятора. При этом структуру устройства компенсации выбираем из условия независимости уровня в барабане при скачкообразном изменении внешнего возмущения на выходе системы.

Для улучшения качества регулирования при возмущении расходом пара прежде чем переводить котел на новую нагрузку при плановом изменении последней, на дополнительный

элемент сравнения выходов датчика уровня воды и модели инерционного участка подают сигнал, пропорциональный плановому изменению нагрузки. Затем с запаздыванием, равным запаздыванию по каналу регулирующего воздействия, осуществляем плановый переход на новую нагрузку. В результате существенно повышается быстродействие системы (время регулирования сокращается в 4 раза) и улучшаются другие показатели качества переходных процессов при основных возмущениях с уменьшением максимальной величины регулирующего воздействия (расходом питательной воды) по отношению САР с дифференциатором на 30 %.

Список литературы

1. *Клюев А.С., Лебедев А.Т., Новиков С.И.* Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. М., 1985.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егунова. М., 2000.
3. *Плетнев Г.П.* Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. М., 2007.
4. *Демченко В.А.* Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. Одесса, 2001.
5. *Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н.* // Матер. II междунар. научн.-практ. конф. «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино-и приборостроении». Минск, 13–14 марта 2013 г. С. 21–22.
6. *Гуревич Э.З.* Состояние, перспективы развития и технико-экономическая оценка автоматизации питания барабанных парогенераторов. Минск, 1974.