

Суходоев Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: smike@aic.ru

Область научных интересов: разработка программного обеспечения для анализа и синтеза систем с интервальными параметрами.

Пушкарёв Максим Иванович, ассистент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ.

E-mail: maxebbc@mail.ru

Область научных интересов: разработка робастных алгоритмов для управления объектами с интервальными параметрами.

Гайворонский Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ

E-mail: saga@tpu.ru.

Область научных интересов: анализ и синтез робастных систем управления в условиях интервальной неопределенности параметров.

УДК 681.5

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОМ АГРЕГАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА RASIS

М.С. Суходоев, М.И. Пушкарёв, С.А. Гайворонский

Томский политехнический университет

E-mail: smike@aic.ru

Проведено математическое моделирование котлоагрегата с учетом интервальности его параметров. Для полученной системы автоматического управления на основе разработанного комплекса программ RASIS рассчитаны параметры ПИД-регулятора. Алгоритмы комплекса программ RASIS основаны на робастном расширении метода корневого годографа с применением уравнений Теодорчика–Эванса. Приводятся переходные процессы для граничных режимов работы котлоагрегата с синтезированным регулятором.

Ключевые слова:

Система автоматического управления, синтез параметров регулятора, корневой метод, интервальная система, гарантированные корневые показатели качества.

Key words:

Automated control system, controller parameters design, root method, interval system, guaranteed root quality indices.

Введение

Газомазутный котельный агрегат предназначен для выработки сухого насыщенного или слабо перегретого пара на технологические нужды промышленных предприятий, систем отопления,

вентиляции и горячего водоснабжения [1].

Расход пара может изменяться в широком диапазоне, а давление и температура поддерживаются в сравнительно узких пределах допустимых отклонений, что обуславливается требованиями заданного режима работы турбины или иного потребителя теплоты. На основании проведенного анализа процесса производства пара как объекта управления необходимо обеспечить:

- стабилизацию давления пара на выходе из котлоагрегата за счет изменения расхода топлива;
- стабилизацию уровня воды в барабане котлоагрегата изменением расхода питающей воды;
- регулирование соотношения расходов топлива и воздуха с целью полного сжигания топлива;
- технологический контроль расходов топлива, питающей воды, пара, температуры и давления потребляемого пара;

- технологическую сигнализацию максимального давления пара в барабане котлоагрегата, минимального и максимального уровней воды в барабане.

Автоматическая система регулирования питания предназначена для поддержания материального соответствия между расходами питательной воды в котел и нагрузке котла по пару. Показателем этого соответствия служит уровень воды в барабане котла [1].

Уровень в барабане изменяется из-за увеличения или уменьшения расхода пара или поступления воды в котел, изменения тепловой нагрузки топки и давления в барабане.

Повышение уровня за верхний допустимый предел (перепитка котла) может привести к постепенному заносу солями пароперегревателя и выбросу влаги из котла, что может явиться причиной повреждения турбины. Снижение уровня за нижний предел (упуск воды из барабана) приводит к нарушению циркуляции в топочных экранах и пережогу труб. Поэтому к надежности регулирования питания предъявляются повышенные требования [2].

Постановка задачи

Таким образом, зона работы автоматической системы регулирования питания ограничена установкой защиты от понижения уровня в барабане котла, с одной стороны, и установкой открытия аварийного слива, с другой. Эти пределы определяют безопасность работы котла, превышение их вызывает аварийную ситуацию.

Автоматическая система регулирования питания барабанного котла должна обеспечить удержание уровня воды в барабане котла в допустимых пределах при:

- отсутствии резких возмущений по нагрузке максимально допустимые отклонения по уровню не должны превышать ± 20 мм;
- скачкообразном возмущении по нагрузке на 10 % максимально допустимые отклонения по уровню не должны превышать ± 50 мм;
- нормальном стационарном режиме работы котла число включений регулятора не должно превышать шести в минуту [1].

Основными возмущениями, оказывающими влияние на уровень воды в барабане котла являются: изменение расхода питательной воды, изменение нагрузки потребителя, изменение расхода топлива, изменение температуры питательной воды.

При возмущении расходом пара контура регулирования уровня воды в барабане котла проявляется явно выраженное «набухание» уровня, т. е. изменение его в начальные моменты времени в сторону, несоответствующую знаку возмущающего воздействия. Явление «набухания» можно объяснить следующим образом: при изменении расхода пара, например увеличении, давление в котле уменьшается, происходит дополнительное вскипание воды, увеличение уровня. В дальнейшем уровень начинает падать из-за несоответствия расходов питательной воды и пара.

Настройка регулятора по имевшейся ранее методике не обеспечивала требуемого удержания уровня воды в барабане, поскольку она не учитывала изменения интервальных параметров, а использовала их фиксированные значения. В связи с этим была поставлена задача параметрического синтеза пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора по разработанной авторами методике.

Математическая модель системы

Математическую модель двухимпульсной автоматической системы управления уровнем воды в барабане котлоагрегата можно представить в виде, показанном на рис. 1. Передаточная

функция $\frac{K_d}{T_d s + 1}$ описывает датчик расхода пара, где K_d , T_d – соответственно коэффициент передачи датчика и его постоянная времени. Котлоагрегат представлен передаточной функцией

$\frac{K_\kappa}{T_\kappa s}$, где K_κ , T_κ – соответственно коэффициент передачи и постоянная времени барабана

котлоагрегата. Трубопровод имеет передаточную функцию $\frac{1}{T_m s + 1}$, где T_m – постоянная

времени трубопровода. Передаточная функция $\frac{-K_n}{T_n s + 1}$ характеризует явление «набухания»

уровня воды при изменении расхода пара (K_n , T_n – соответственно скорость «набухания» и его постоянная времени). Датчик расхода пара частично компенсирует явление «набухания». Имеющиеся в модели нелинейные характеристики накладывают ограничение на скорость и величину открытия клапана.

Выходом объекта управления является уровень воды в барабане котлоагрегата и нормальным является нулевой уровень.

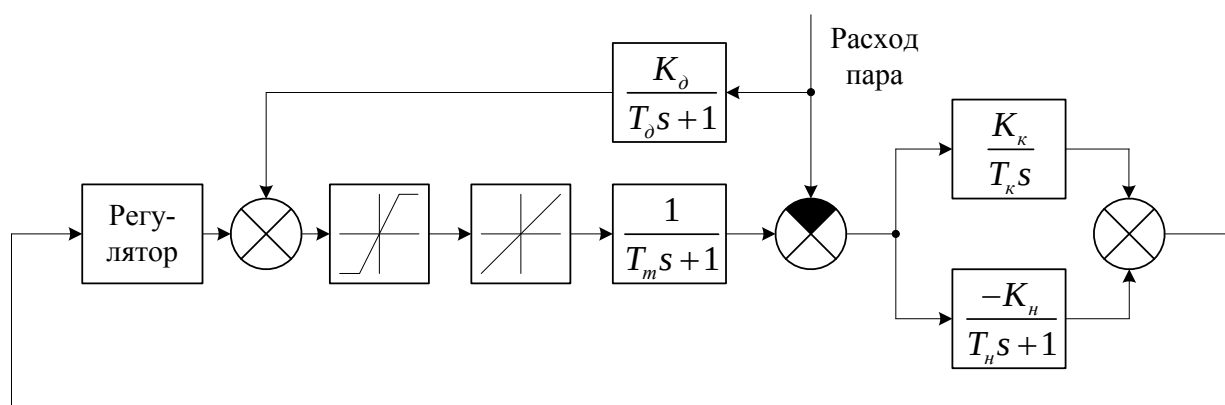


Рис. 1. Математическая модель системы автоматического управления уровнем воды в барабане котлоагрегата

Зная характеристики элементов котлоагрегата, можно составить структурную схему системы автоматического управления уровнем воды в барабане котлоагрегата (рис. 2).

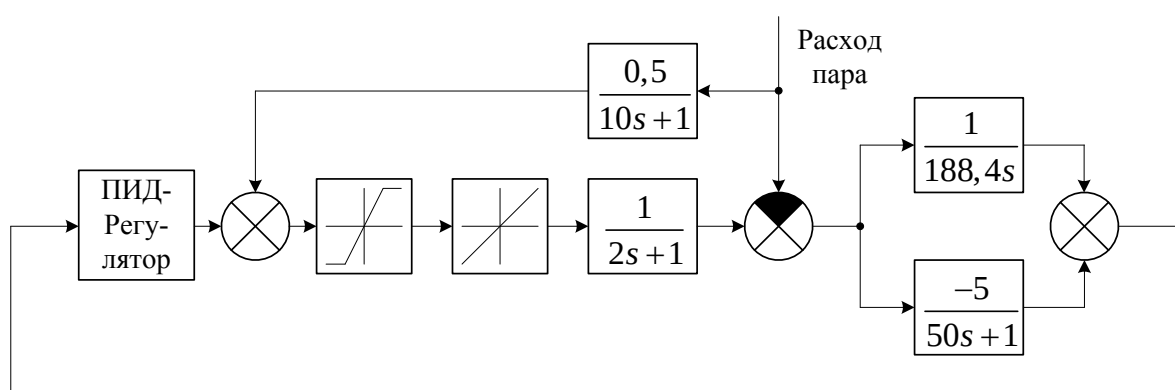


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления уровнем воды в барабане котлоагрегата

Реакция объекта управления на ступенчатое воздействие показана на рис. 3.

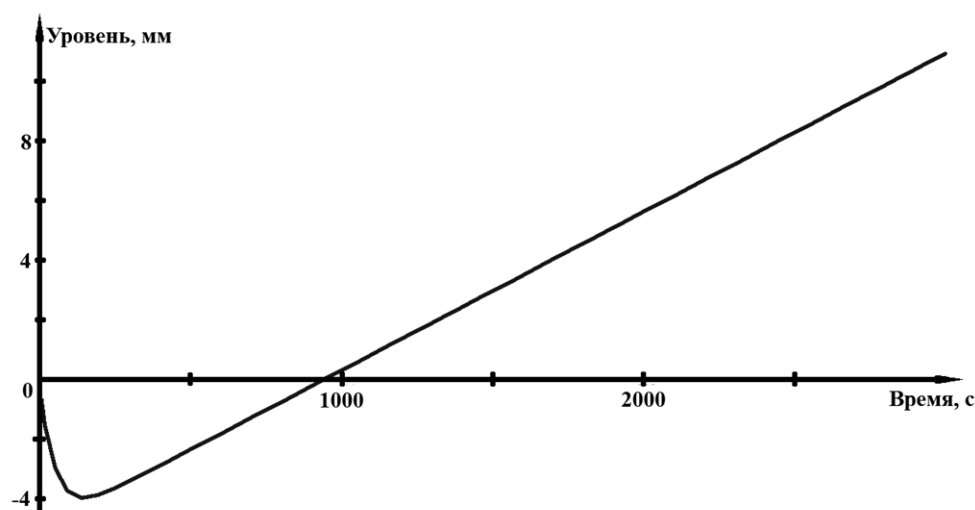


Рис. 3. Реакция объекта управления на ступенчатое воздействие

Преобразовав передаточные функции объекта управления (барабан котлоагрегата и трубопровод), получим передаточную функцию вида: $\frac{-892s + 1}{18840s^3 + 9796,8s^2 + 188,4s}$.

Допустим, что параметры объекта имеют интервальные параметры, а именно:

- T_k может увеличиться на 1 % из-за появления накипи и нагара на стенках барабана котлоагрегата;
- K_n, T_n могут изменяться на 20 %;
- T_m может увеличиться на 5 %.

Следовательно, интервальная система автоматического управления уровнем воды в барабане котлоагрегата примет вид, показанный на рис. 4, где $a_3 = [15072; 23975, 78]$, $a_2 = [7912, 8; 11816, 64]$, $a_1 = [188, 4; 190, 28]$.

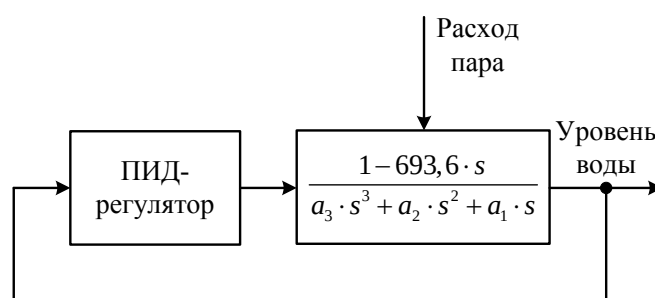


Рис. 4. Структурная схема интервальной системы автоматического управления уровнем воды в барабане котлоагрегата

Пакет прикладных программ RASIS

Для исследования котлоагрегата используем разработанный авторами пакет прикладных программ (ППП) RASIS [3], структура которого приведена на рис. 5.

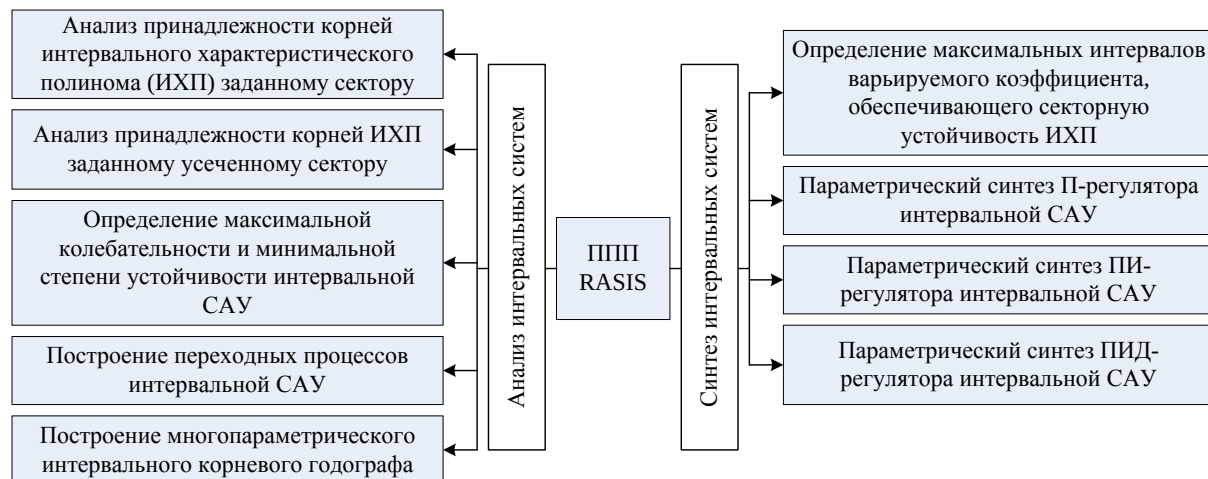


Рис. 5. Блок-схема функций ППП РАСИС

Приведем ниже назначение, входные и выходные параметры подпрограмм КР РАСИС.

Функция *defineSectorApexes* (*power*, *beta*) возвращает матрицу, состоящую из возможных граничных вершин для полинома с заданной в *power* степенью интервального характеристического полинома (ИХП) для колебательности *beta*. Количество строк в результирующей матрице равно количеству возможных граничных вершин в ИХП. В столбцах записана 1, если этому интервальному коэффициенту соответствует максимальное значение, или 0, если минимальное.

Функция *defineTruncatedSectorApexes* (*power*, *beta*, *alpha*) возвращает матрицу, состоящую из возможных граничных вершин для полинома с заданными в *power* степенью ИХП, колебательностью *beta* и степенью устойчивости *alpha*.

Функция *isTInTruncatedSector* (*Tmin*, *Tmax*, *apexes*, *beta*, *alpha*) проверяет, все ли вершины, указанные в *apexes*, лежат в усеченном секторе, ограниченном колебательностью *beta* и степенью устойчивости *alpha*. *Tmin* и *Tmax* – матрицы-вектора, в которых указываются минимальные и максимальные значения интервальных коэффициентов, начиная с максимальной степени ИХП.

Функция *defineMaxAlphaMinBeta* (*Tmin*, *Tmax*, *apexes*) возвращает максимальную колебательность и минимальную степень устойчивости ИХП со значениями интервальных коэффициентов, указанных в *Tmin* и *Tmax*. Максимальная колебательность и минимальная степень устойчивости определяются по вершинам, указанным в *apexes*.

При построении переходных процессов системы используется встроенная в MATLAB функция *step*. Параметрами выбираются вершины ИХП с максимальной колебательностью и минимальной степени устойчивости.

Функция *edgeTheoremBuild* (*Tmin*, *Tmax*, *k*, *r*) строит на *k*-ом графике все ребра многогранника P_m с *r* точками на каждом ребре.

Функция *findCrossWithBAndN* (*beta*, *alpha*, *T*, *TVar*) находит точки пересечения ветви корневого годографа, изменяющегося по варьируемой составляющей ИХП *TVar*, с границами, заданными степенью устойчивости *alpha* и колебательностью *beta*. Неизменная часть ИХП задается в параметре *T*.

Функция *synthesBN* (*Tmin*, *Tmax*, *TVar*, *beta*, *alpha*) находит минимальное и максимальное значения коэффициента T_k , при котором корневой годограф ИХП входит в заданную область, ограниченную максимальной колебательностью *beta* и степенью устойчивости *alpha*. При невозможности решения функция возвращает значение 1.

Процедуры синтеза П-, ПИ- и ПИД- регуляторов реализуется на основе вышеописанных подпрограмм.

Синтез регулятора

Пусть проектируемая система управления котлоагрегатом гарантирует выполнение следующих критериев качества его работы:

- переходный процесс системы должен иметь апериодический вид;
- максимальная колебательность должна быть не выше 1;
- минимальная степень устойчивости должна быть не ниже 0,001.

В результате синтеза параметров ПИД-регулятора с применением ППП RASIS были получены следующие варианты настроек:

$$K_{II} = 0,175, \quad T_{II} = 0,0001, \quad T_D = 5,87; \quad (1)$$

$$K_{II} = 0,177, \quad T_{II} = 0,0001, \quad T_D = 6,61; \quad (2)$$

$$K_{II} = 0,178, \quad T_{II} = 0,0001, \quad T_D = 7,34. \quad (3)$$

Многопараметрические корневые годографы, согласно реберной теореме, для САУ с полученными настройками для синтезированных вариантов коэффициентов регулятора (1) и (3) представлены на рис. 6.

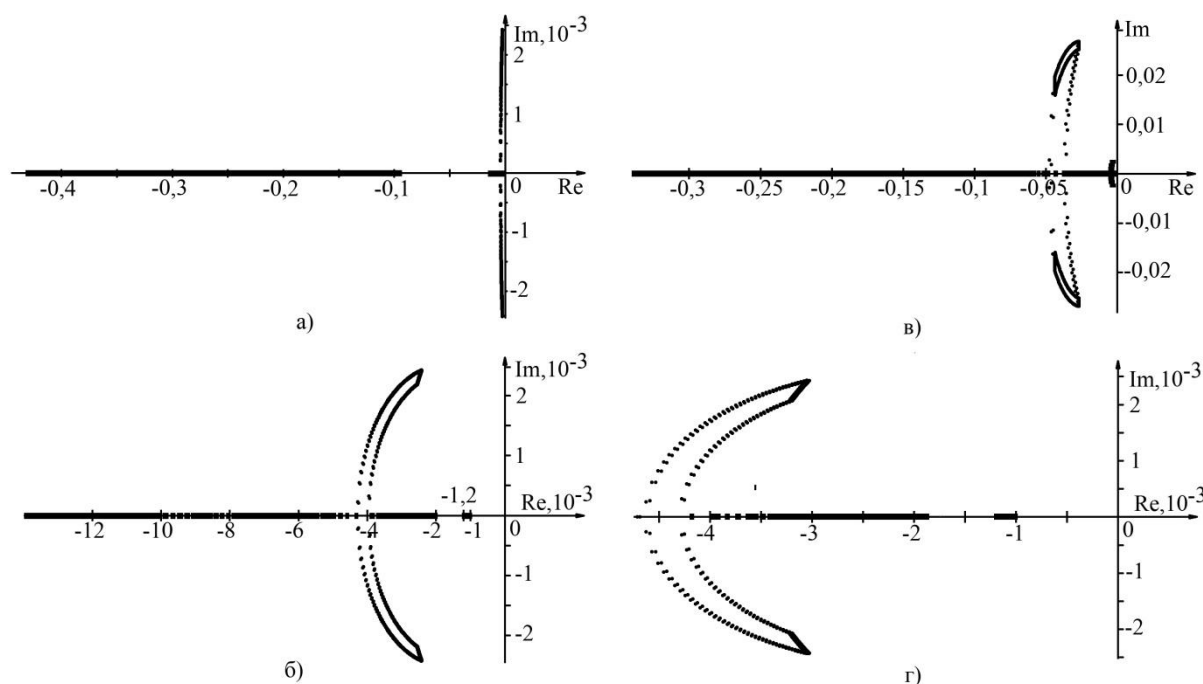


Рис. 6. Многопараметрический корневой годограф для регулятора с настройками ПИД-регулятора (1) (а, б), (3) (в, г) в разных масштабах

Максимальная колебательность для каждой из интервальных систем составляет не более 1, а минимальная степень устойчивости не менее 0,001.

Для различных наборов полученных настроек регулятора на рис. 7, 8 показаны реакции системы на единичное воздействие в граничных вершинах параметрического многогранника.

Как видно из графиков на рис. 7 и 8, время регулирования в переходных процессах для настроек регулятора (1) и (3) не превышает времени, соответствующего заданной минимальной степени устойчивости системы. Это факт свидетельствует о робастных свойствах системы с синтезированным регулятором.

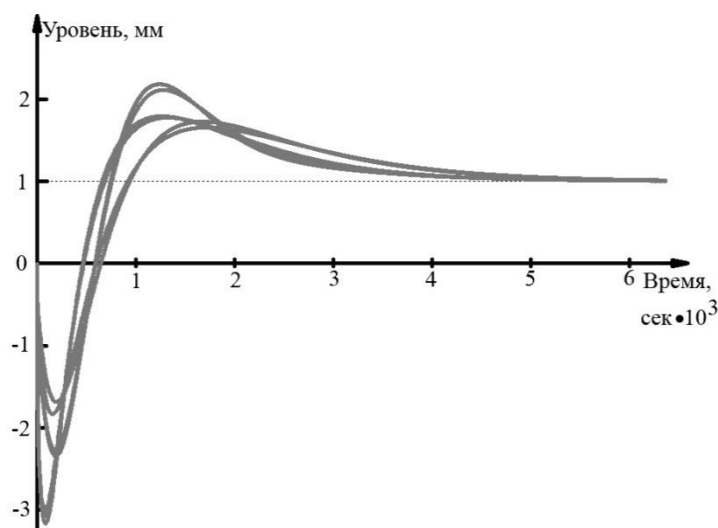


Рис. 7. Переходные процессы с настройками регулятора (1)

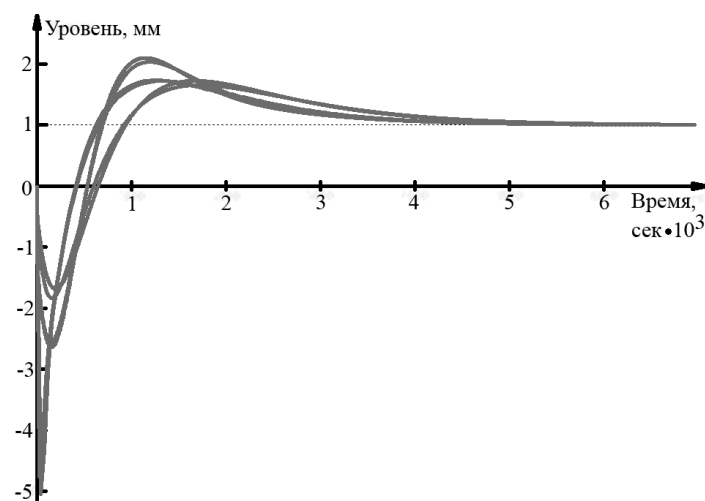


Рис. 8. Переходные процессы с настройками регулятора (3)

Заключение

В результате параметрического синтеза ПИД-регулятора интервальной САУ котлоагрегата получены настройки, при которых области локализации корней интервального характеристического полинома расположены в желаемой области, а переходный процесс имеет апериодический вид и допустимое время регулирования при любых значениях интервальных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев А.С, Товарнов А.Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. – 280 с.
2. Кузьменко Д.Я. Регулирование и автоматизация паровых котлов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 160 с.
3. Суходоев М.С. Анализ и синтез робастных систем автоматического управления в среде Matlab // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312 – № 5. – С. 61–66.

Поступила 19. 10. 2011.