

Пахомов Юрий Викторович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Кафедра систем автоматического управления; студент.

Pahomov Jury Viktoronitch

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: fin_val_iv@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.

The Department of Automatic Control Systems; student.

УДК 51-32

Т.А. Пьявченко, В.М. Карась

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ СЛОЖНЫХ
ОБЪЕКТОВ С ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

В работе рассматриваются вопросы расчета параметров настройки регуляторов на основе частотного метода. По результатам работы с большой точностью определены параметры настройки регуляторов для объектов с существенным транспортным запаздыванием.

Регуляторы; парогенератор; транспортное запаздывание; критерий Найквиста.

T.A. Pyavchenko, V.M. Karas'

**CALCULATION PARAMETERS ADJUSTMENT OF REGULATORS
FOR OBJECT WITH TRANSPORT DELAY**

Questions of the calculation parameter adjustment regulator on base of the frequency method are considered in work. On result of the work with big accuracy are determined parameters of the adjustment regulator for object with essential transport delay.

Regulator; steam generator; transport delay; criterion Naykvista.

Использование микроконтроллеров и мощных промышленных компьютеров (ПК) позволяют создавать иерархические автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) с оптимальными режимами работы объектов управления. Одним из таких объектов на тепловых электростанциях является парогенератор, предназначенный для выработки пара высокого давления и высокой температуры. Парогенератор является сложным динамическим объектом, технологические переменные которого в силу физических законов взаимно влияют друг на друга. КПД парогенератора существенно зависит от режима сгорания топлива, определяемого соотношением топливно-воздух, разрежением в топке, процентным содержанием кислорода в отходящих газах. В парогенераторе регулируемые параметрами являются давление в барабане P_b и за котлом в паровой магистрали P_m , регулирующим воздействием – изменение подачи в топку топлива F_T и необходимого для горения воздуха G_B . При изменении расходов топлива и воздуха

меняется количество тепла G_T , воспринятого котельным агрегатом. Тепловосприятие G_T является промежуточным параметром, характеризующим воздействие топki на испарительное устройство котла. Контроль и управления данными параметрами осуществляется в рамках автоматизированной системы управления процессом горения [1].

В настоящей работе предлагается методика расчета параметров настройки регуляторов при управлении сложным многосвязным объектом с транспортным запаздыванием. При этом в управляющем устройстве реализуется каскадное регулирование, при котором контуры регулирования оказываются вложенными друг в друга. Главный регулятор – регулятор давления, получая задание по требуемому давлению в магистрали от верхнего уровня управления, вырабатывает задание регуляторам топлива и воздуха, которые, в свою очередь, формируют управляющие воздействия на соответствующие каналы парогенератора (рис. 1).

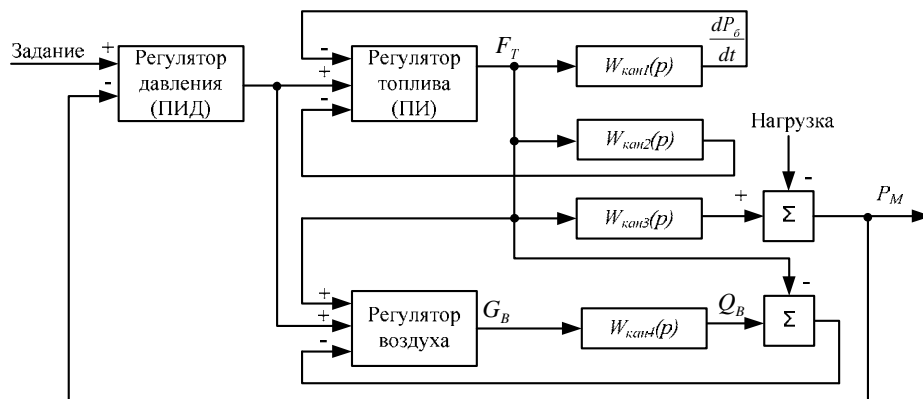


Рис. 1. Структурная схема многоконтурной системы управления каналами парогенератора

В соответствии с рис. 1 регуляторы имеют следующее назначение:

- ♦ главный регулятор (регулятор давления) обеспечивает выработку определенного количества пара парогенератором с заданными параметрами давления и температуры путем выдачи сигнала управления регуляторам топлива и воздуха;
- ♦ регулятор топлива автоматически поддерживает тепловую нагрузку котла при сжигании природного газа в соответствии с заданием;
- ♦ регулятор общего воздуха обеспечивает экономичность процесса горения при сжигании природного газа путем согласования расхода воздуха с расходом топлива.

Согласно экспериментальным динамическим характеристикам и их параметрам [2], имеем следующие передаточные функции по каналам объекта:

$$W_{кан_1}(p) = \frac{e^{-20p}}{(1+100p)} \text{ – передаточная функция по каналу расход топлива}$$

F_T изменение давления в барабане $\frac{dP_б}{dt}$ (канал 1);

$$W_{кан_2}(p) = \frac{e^{-25p}}{(1+18p)} - \text{передаточная функция по каналу расход топлива } F_T$$

– теплота G_T (канал 2);

$$W_{кан_3}(p) = \frac{2e^{-60p}}{(1+240p)} - \text{передаточная функция по каналу расход топлива}$$

F_T – давление перегретого пара P_{III} (канал 3);

$W_{кан_4}(p) = W_{G_B-Q_B}$ – передаточная функция по каналу расход воздуха G_B – избыток воздуха в топке Q_B .

Поскольку в основных каналах объекта присутствует существенное транспортное запаздывание, то для расчета параметров настройки регуляторов воспользуемся частотным методом, основанным на критерии Найквиста. При расчете параметров ПИД регуляторов в соответствии с указанным методом необходимо выполнить следующие шаги [3]:

а) записать передаточную функцию разомкнутого контура соответствующего канала $W_i(p) = W_{рег_i}(p) \cdot W_{кан_i}(p), i = 1, 2, 3$;

б) записать выражение для фазочастотной характеристики разомкнутого контура соответствующего канала управления $\Phi_i(\omega), i = 1, 2, 3$;

в) приравнять полученное выражение к желаемому запасу по фазе на частоте среза $\Phi_i(\omega_{ср_i}) = \gamma_{ср_i}, i = 1, 2, 3$ определить значение частоты $\omega_{ср_i}$, положив, используя метод компенсации постоянных времени [4], $T_{ui} = T_{оу_i}, T_{диф_i} = \tau_{оу_i}$;

г) подставив вычисленное в предыдущем пункте значение $\omega_{ср_i}$ в выражение для модуля комплексного коэффициента передачи разомкнутого контура соответствующего канала управления: $|W_i(j\omega_{ср_i})| = A(\omega_{ср_i}), i = 1, 2, 3$ и приравняв его к 1, определить коэффициент настройки $K_{рег_i}$;

д) регулируя величину запаса устойчивости по фазе $\gamma_{ср_i}$, можно менять значение $K_{рег_i}$, изменяя тем самым качество переходного процесса.

Согласно принципу каскадного регулирования [4], расчет параметров настройки регуляторов начнем с регулятора топлива, являющегося внутренним по отношению к главному регулятору – регулятору давления. Расчет основывается на заданных показателях качества процесса управления: перерегулирование – не более 5 % [4], статическая ошибка – нулевая. Последнее требование обеспечивается введением интегральной составляющей в закон управления, поэтому в регуляторе топлива реализован ПИ закон управления. Показатели переходного процесса и компенсация транспортного запаздывания обеспечиваются определенным запасом по фазе. Величина запаса по фазе для систем управления второго, третьего и более порядка может быть выбрана из диапазона его изменения от 45 до 80°. При этом чем меньше данное значение, тем больше перерегулирование и число колебаний в переходном процессе. При увеличении запаса по фазе уменьшается перерегулирование, и процесс стремится к монотонному. Структурная схема модели объекта по каналу 1 показана на рис. 2.

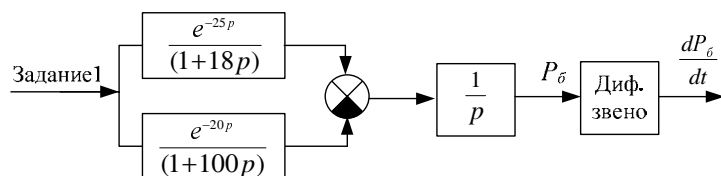


Рис. 2. Структурная схема модели объекта по каналу 1

Для расчетов параметров настройки регулятора топлива преобразуем модель указанного канала объекта управления, заменив параллельную связь передаточных функций одной и получив структурную схему, показанную на рис. 3. В соответствии с этой структурной схемой выполним расчет параметров настройки регулятора топлива.

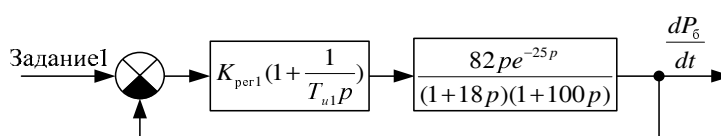


Рис. 3. Структурная схема модели системы управления по каналу 1

Выражение для разомкнутой системы в соответствии с рис. 3 имеет вид:

$$W_{раз1}(p) = K_{рег1} \frac{T_{u1}p + 1}{T_{u1}p} \cdot \frac{82pe^{-25p}}{(1+18p)(1+100p)}. \quad (1)$$

Учитывая, что величина запаздывания в объекте не должна превышать значения его постоянной времени, в соответствии с методом компенсации постоянных времени [4] выбираем значение постоянной интегрирования в регуляторе как $T_{u1} = T_{oy1} = 18 \text{ с}$. В результате

$$W_{раз1}(p) = 4,56K_{рег1} \frac{e^{-25p}}{1+100p}. \quad (2)$$

Задавая запас по фазе $\gamma_{ср1} = 75^\circ = \frac{\pi}{2,4}$, записываем выражение фазочастотной характеристики на частоте среза $\omega_{ср}$ и находим её значение путем графического решения уравнения.

$$\begin{aligned} \varphi_1(\omega_{ср1}) &= -\text{arctg}100\omega_{ср1} - 25\omega_{ср1} = -\pi + \gamma_{ср1} = -0,583, \\ \omega_{ср1} &= 0,0254 \text{ рад/с}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для расчета $K_{рег1}$ запишем выражение для амплитудно-частотной характеристики

$$A_1(\omega) = \frac{K_{oy1}K_{рег1}e^{-25(j\omega)}}{T_u j\omega(1+100(j\omega))}. \quad (4)$$

Поскольку на частоте среза амплитудно-частотная характеристика $A_1(\omega_{cp1})$ равна 1, то из выражения (4) можно найти величину коэффициента K_{pez_1} . В результате $K_{pez_1} = 0,07$.

Следовательно, передаточная функция регулятора топлива имеет вид

$$W_{pez1}(p) = 0,07(1 + \frac{1}{18p}). \quad (5)$$

Расчитанные параметры настройки регулятора топлива обеспечивают наименьшее время переходного процесса и отсутствие перерегулирования.

Вторым внутренним регулятором по отношению к регулятору давления является регулятор общего воздуха с пропорциональным законом регулирования, параметр пропорциональности которого выбирается согласно технологическим требованиям по избытку воздуха в топке.

После расчета параметров настройки подчиненных регуляторов можно перейти к расчету параметров главного регулятора, имеющего ПИД закон управления.

На рис. 4 изображена структурная схема контура канала управления по давлению с подчиненным внутренним контуром управления по топливу, которую можно преобразовать к одноконтурной системе (рис. 5).

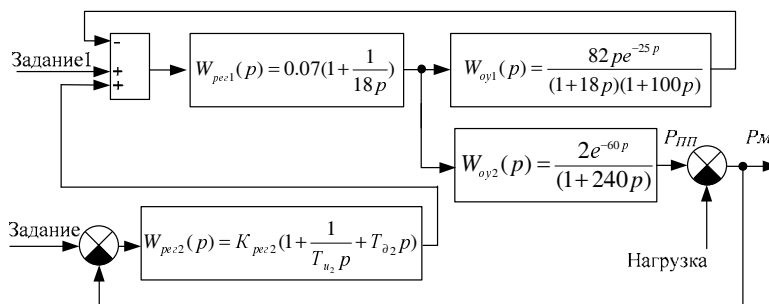


Рис. 4. Структурная схема модели системы управления с вложенным контуром

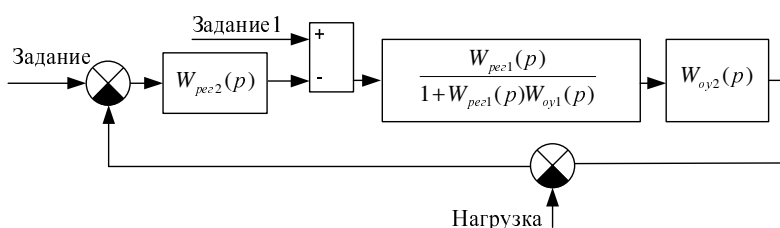


Рис. 5. Преобразованная структурная схема модели главного контура системы управления

Запишем выражение передаточной функции разомкнутой системы:

$$W_{раз2}(p) = \frac{W_{pez1}(p)W_{oy2}(p)W_{pez2}(p)}{1 + W_{pez1}(p)W_{oy1}(p)}. \quad (6)$$

В соответствии с выражением (6) модуль комплексного коэффициента передачи для этого выражения имеет вид

$$|W_{раз2}(j\omega)| = \frac{2K_{pez1}K_{pez2}\sqrt{1+100^2\omega^2}\sqrt{T_{u2}\omega^2+(1-T_{u2}T_{\partial2}\omega^2)^2}}{T_{u2}\omega\sqrt{(1+240^2\omega^2)}\sqrt{\left(\frac{100^2}{K_{pez1}^2 78^2}\omega^2 \cos^2 25\omega - \frac{200}{K_{pez1} 78}\omega \sin 25\omega + 1\right)1+W_{pez1}(p)W_{oy1}(p)}}$$

а фазочастотная характеристика

$$\varphi(\omega_{cp2}) = -20\omega_{cp2} \operatorname{arctg} 100\omega_{cp2} \operatorname{arctg} \frac{T_{u2}\omega_{cp2}}{1-T_{u2}T_{\partial2}\omega_{cp2}^2} - \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} 240\omega_{cp2} + \\ + \operatorname{arctg} \frac{\frac{100^2}{K_{pez1}^2 78^2}\omega_{cp2} \cos 25\omega_{cp2}}{1 - \frac{100}{K_{pez1} 78}\omega_{cp2} \sin 25\omega_{cp2}} = -\pi + \gamma_{cp2}.$$

Определим значения постоянной времени регулятора как $T_{u2} = T_{oy2} = 240$ с, $T_{\partial2} = \tau_{oy2} = 60$ с, $K_{pez1} = 0,07$, тогда в соответствии с методом, изложенным выше, зададим запас по фазе $\gamma_{cp2} = 80^\circ$ и получим частоту среза $\omega_{cp2} = 0,0056$ рад/с. При этом $K_{pez2} = 0,055$.

Результат моделирования главного контура управления, изображенного на рис. 5, с полученными выше значениями параметров настройки регулятора давления, заданием в 10 МПа и возмущением в 2 МПа представлен на рис. 6.

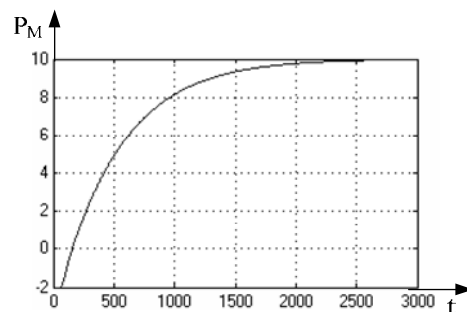


Рис. 6. Выходная реакция модели системы управления сложным объектом

Как следует из графика переходной характеристики, рассчитанные параметры настройки регулятора давления обеспечивают полную компенсацию возмущения (изменение давления пара в магистрали при изменении числа потребителей электроэнергии) и нулевую статическую ошибку.

Использование частотного метода, основанного на критерии Найквиста, для расчета параметров настройки регуляторов сложных динамических систем, позволяет не только определять значения параметров настройки регуляторов для объектов, обладающих существенным транспортным запаздыванием, но и предоставляет широкие возможности для их точного вычисления, несмотря на присутствие нелинейных составляющих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пьявченко Т.А., Карась В.М.* Алгоритмы цифрового управления процессом горения в топке парогенератора // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – №2. – С. 148-154.
2. *Плетнев Г.П.* Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 352 с.
3. *Пьявченко Т.А.* Расчет параметров ПИД-закона управления для объектов с транспортным запаздыванием // Известия ТРТУ. Тематический выпуск “Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении”. – 2006. – №5 (60). – С. 83-88.
4. *Чиликин М.Г., Сандлер А.С.* Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

Пьявченко Тамила Алексеевна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: pta@tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 88634371689.

Кафедра систем автоматического управления; профессор.

Карась Вячеслав Михайлович

E-mail: Alkey777@mail.com.

Кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Pyavchenko Tamila Alekseevna

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: pta@tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 88634371689.

The Department of Automatic Control Systems; professor.

Karas' Vyacheslav Mixaylovich

E-mail: Alkey777@mail.com.

The Department of Automatic Control Systems; postgraduate student.

УДК 501.462

Е.А. Плаксиенко

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Построено эффективное стабилизирующее управление нелинейным оборудованием электростанций на основе нелинейных моделей, представленных в квазилинейной форме. Управление получено путём решения полиномиального уравнения с применением системы алгебраических уравнений. Приведен пример.

Объект; управление; модель; нелинейность.

Е.А. Plaksienko

EFFECTIVE CONTROL OF ELECTRICAL POWER-STATIONS EQUIPMENT

On base of nonlinear model, represented in the semi-linear form, is found effective control stability for equipment of electrical power-stations. Control is found by solved of polynomial equation with application system of algebraic equation. Example is given.

Plant; control; model; nonlinear.