

2. Информационная технология: Рекомендации Р50-34.119-90. Архитектура локальных вычислительных сетей в системах промышленной автоматизации. –М.: Госстандарт, 1991
3. *Кругляк К.В.* Промышленные сети: цели и средства. // Современные технологии автоматизации, 2002. № 4.

Коробкин Владимир Владимирович

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

E-mail: yvk@mvs.tsure.ru

347928, Таганрог, ул. Чехова, 2

Тел.: +7(8634)311865

Чернов Евгений Иванович

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

E-mail: kafmps@ttpark.ru.

Korobkin Vladimir Vladimirovich

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: yvk@mvs.tsure.ru

2, Chehova street, Taganrog, 347928, Russia

Phone: +7(8634)371723

Chernov Eugeniyy Ivanovich

Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»

E-mail: kafmps@ttpark.ru

УДК 658.51.011.5.001.2(075.5)

Т.А. Пьявченко, В.М. Карась

АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГОРЕНИЯ В ТОПКЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА

В работе рассматриваются особенности цифровой реализации алгоритмов управления процессом горения в топке парогенератора. По результатам работы сделано заключение о компенсации нагрузки парогенератора благодаря использованию корректирующего регулятора.

Алгоритмы управления; погрешности вычислений; шаг дискретности; компенсирующий регулятор.

T.A. Pyavchenko, V.M. Karas

ALGORITHMS OF DIGITAL CONTROL COMBUSTION ACTION IN A STEAM GENERATOR FIREBOX

In work are considered particularities to digital realization of algorithms of control combustion action in a steam generator firebox. As a result of work is made a conclusion about compensation of the load a steam generator, due to use correcting regulator.

Algorithms of control; inaccuracy of calculations; step of discontinuity; correcting regulator.

Как известно, в энергетике России произошли существенные изменения, связанные, прежде всего, с внедрением современных методов и средств получения электрической энергии. 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 (рис.1).

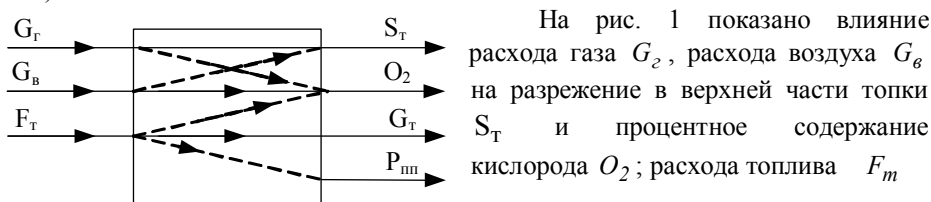


Рис. 1

на давление перегретого пара P_{pp} , на тепловую нагрузку G_m и процентное содержание кислорода O_2 . Поэтому контуры регулирования по таким переменным будут связаны между собой, образуя систему подчиненного или каскадного управления.

КПД парогенератора существенно зависит от режима сгорания топлива, определяемого соотношением топливо-воздух, разрежением в топке, процентным содержанием кислорода в отходящих газах [1]. Эффективный контроль и управление данными параметрами возможен при реализации 2-уровневой автоматизированной системы управления процессом горения в топке парогенератора (рис. 2).

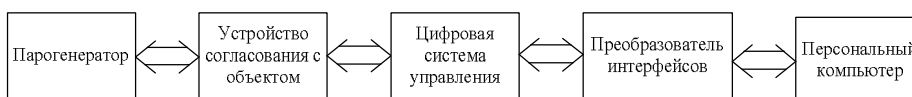


Рис. 2

В настоящей работе рассматриваются алгоритмы управления нижнего уровня АСУТП (рис. 3).

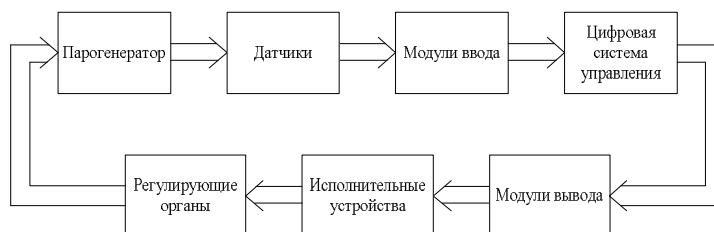


Рис. 3

Система управления должна функционировать так, чтобы обеспечить максимальный КПД парогенераторной установки и экономичность горения при изменении нагрузки.

Регулирование процесса горения сводится к поддержанию с заданной точностью следующих величин:

- экономичности процесса горения, т.е. избытка воздуха в топке, определяемого содержанием O_2 за пароперегревателем;
- разрежения в верхней части топки.

Реализация указанной задачи осуществляется в соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 4.

Система управления парогенератором является многоконтурной (рис. 4). Объект управления представлен каналами: 1 – расход топлива $F_m \rightarrow$ давление в барабане P_6 , 2 – расход топлива $F_m \rightarrow$ теплота G_m , 3 – расход топлива $F_m \rightarrow$ давление перегретого пара P_{mm} , 4 – расход топлива $F_m \rightarrow$ процентное содержание кислорода O_2 в отходящих газах, 5 – расход воздуха $G_e \rightarrow$ избыток воздуха в топке Q_6 , 6 – расход воздуха $G_e \rightarrow$ процентное содержание кислорода O_2 в продуктах сгорания топлива, 7 – расход газа $G_2 \rightarrow$ разрежение в верхней части топки S_m .

В соответствии с рис. 4 регуляторы имеют следующее назначение:

- главный регулятор (регулятор давления) обеспечивает выработку определенного количества пара парогенератором с заданными параметрами давления и температуры путем выдачи сигнала управления регулятору топлива;
- 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;
- регулятор разрежения поддерживает заданное разрежение в верхней части топки котла.

Цифровое управляющее устройство, как отмечалось выше, реализует каскадное регулирование, при котором контуры регулирования оказываются вложенными друг в друга. Так, главный регулятор давления вырабатывает задание регуляторам топлива и расхода воздуха, каждый из которых, в свою очередь, формирует управляющие воздействия на соответствующие каналы парогенератора (рис.4). Регулятору расхода воздуха подчиняются регулятор разрежения с каналом 7 объекта управления и регулятор кислорода, компенсирующий действие возмущения от сгорающего топлива.

Главный регулятор давления вырабатывает управляющий сигнал по пропорционально-интегрально-дифференциальному (ПИД) закону управления. Регуляторы топлива, кислорода (корректирующий регулятор) и разрежения формируют управление в соответствии с ПИ законом. Регулятор общего воздуха имеет пропорциональный (П) закон управления. Такая унификация законов управления облегчает задачу программирования управляющего устройства в микроконтроллере, поскольку их можно реализовать с помощью одной программы.

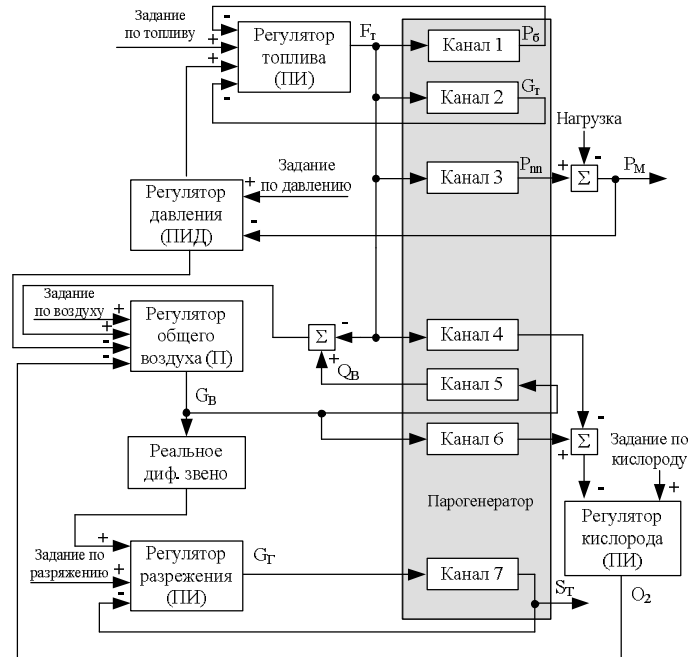


Рис. 4

ПИД закон управления можно представить в виде системы разностных уравнений (1), в которой сигнал u_{k1i} реализует пропорциональную составляющую, u_{k2i} – интегральную составляющую с использованием формулы трапеций, u_{k3i} – дифференциальную составляющую при вычислении производной [2] с использованием 2-х членов ряда (2).

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{k_i} &= \sum_{l=1}^r g_{k_{lr}} - y_{k(i-1)}, \\ u_{k1i} &= K_{регk} \varepsilon_{k_i}, \\ u_{k2i} &= u_{k2(i-1)} + \frac{K_{регk} T_0}{2T_{uk}} (\varepsilon_{k_i} + \varepsilon_{k(i-1)}) \\ u_{k3i} &= K_{регk} \frac{T_{дифk}}{T_0} \left(\frac{3}{2} \varepsilon_{k_i} - 2\varepsilon_{k(i-1)} + \frac{1}{2} \varepsilon_{k(i-2)} \right) \\ u_{k_i} &= u_{k1i} + u_{k2i} + u_{k3i}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon}_{k_i} = \frac{1}{T_0} (\Delta \varepsilon_{k_i} + \frac{1}{2} \Delta^2 \varepsilon_{k_i} + \frac{1}{3} \Delta^3 \varepsilon_{k_i} + \dots), \quad (2)$$

где $\Delta \varepsilon_{k_i} = \varepsilon_{k_i} - \varepsilon_{k(i-1)}$, $\Delta^2 \varepsilon_{k_i} = \varepsilon_{k_i} - 2\varepsilon_{k(i-1)} + \varepsilon_{k(i-2)}$, ...

В уравнениях (1) и (2) введены следующие обозначения: k – номер регулятора ($k = \overline{1,5}$); r – количество входов g на каждом регуляторе, $r = 4, 3$, либо 2

(см. рис. 4); i – номер шага вычислений, равного шагу дискретности по времени T_0 ; $K_{регk}$, T_{uk} , $T_{дифk}$ – параметры настройки k -го регулятора.

Задержка выходных сигналов y на шаг дискретности T_0 обусловлена конечным временем преобразований в модулях ввода/вывода $T_{АЦП}$ (рис. 3), конкретным временем передачи информации по линиям связи $T_{АПД}$ и временем вычислений $T_{выч}$ по алгоритмам (1) для всех 5-и регуляторов в арифметико-логическом устройстве (АЛУ) микроконтроллера. Вычисления по уравнениям (1) выполняются в том случае, если ошибка ε_{k_i} превышает допустимую $\varepsilon_{k_{дон}}$, если же выполняется условие

$$\varepsilon_{k_i} \leq \varepsilon_{k_{дон}}, \quad (3)$$

то на соответствующий канал парогенератора поступает управление, вычисленное на предыдущем шаге, т.е. $u_{k_i} = u_{k_{i-1}}$.

Цифровая реализация алгоритмов управления по сравнению с аналоговой обладает такими существенными достоинствами, как возможность реализации сложных законов управления и простота перестраиваемости алгоритмов благодаря перепрограммированию.

Однако из-за квантования по уровню и по времени, в последовательной процедуре вычислений возникают определенные сложности, которых можно избежать. Например, квантованием по уровню можно пренебречь, выбрав достаточной длину разрядов аналого-цифрового преобразования и разрядной сетки АЛУ микроконтроллера (уже при 16-и разрядах погрешность округления при вычислении кода управления по алгоритмам (1) весьма мала). Чтобы величина квантования по времени не приводила замкнутую систему управления в неустойчивое состояние, необходимо при выборе технических средств для управления конкретным объектом исходить из условия

$$T_{сум} \leq T_0 \leq 0,15\tau_{оуmin} \quad (4)$$

или

$$T_{сум} \leq T_0 \leq 0,1T_{оуmin}, \quad (5)$$

где

$$T_{сум} = \sum_{k=1}^5 (T_{АЦП} + \alpha \cdot T_{выч})_k + T_{АПД}, \quad (6)$$

α – коэффициент, учитывающий время на повторный расчет управляющих воздействий и сравнение результатов для повышения надежности вычислений, $\tau_{оуmin}$ – минимальное из всех значений величин транспортного запаздывания в каналах парогенератора, $T_{оуmin}$ – минимальное из всех значений величин постоянных времени каналов парогенератора. За окончательное значение T_0 принимается меньшее, вычисленное по (4) или (5). При этом поведение цифровой системы управления будет приближаться к поведению аналоговой.

Погрешности метода, связанные с численными алгоритмами вычислений интегралов и производных, при управлении “медленными” объектами, такими как парогенератор, будут малы на столько, что их можно не учитывать.

Особую опасность представляет трансформированная погрешность, зависящая от коэффициентов алгоритмов управления и от величины погрешностей представления сигналов g и y . Чтобы трансформированная погрешность не пре-

вышала погрешностей указанных сигналов, необходимо применить масштабирование алгоритмов управления с тем, чтобы их коэффициенты не превышали единицы. Выбор параметров регуляторов для каналов парогенератора показал, что перечисленные выше требования выполняются.

Заметим, что погрешности вычислений в АЛУ не будут накапливаться, если сигналы обратных связей y по каналам управления (рис. 4) будут замыкаться на каждом шаге дискретности T_0 , поскольку система спроектирована устойчивой со статической ошибкой, равной нулю [3].

Результаты моделирования многоконтурной системы управления парогенератором (рис. 4) в пакете MatLab подтвердили все теоретические предпосылки. На рис. 5 представлены графики технологических переменных при задании [1]: по процентному содержанию кислорода $O_2 = 1\%$ (рис. 5, а), по разрежению $S_m = 25$ Па (рис. 5, б), по давлению пара в магистрали $P_m = 3$ кПа (рис. 6).

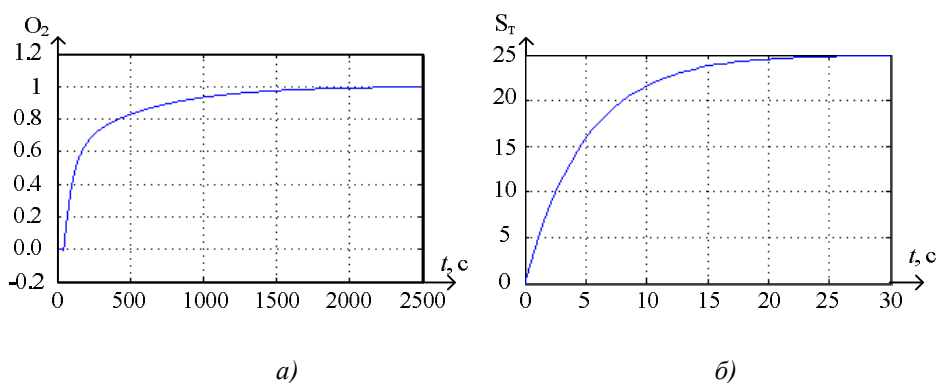


Рис. 5

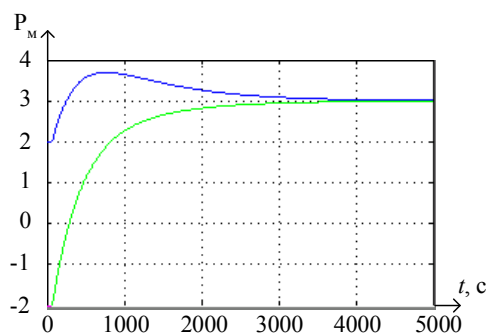


Рис. 6

Важно отметить, что в спроектированной цифровой системе управления изменение нагрузки на парогенератор не влияет на установившиеся значения указанных параметров (рис. 6), что объясняется использованием корректирующего регулятора (регулятор кислорода на рис. 4), который позволяет обеспечить требуемый в соответствии с критерием экономичности процесса горения расход воздуха по отношению к расходу топлива. Этот же критерий лежит в основе алгоритмов расчета в ПК (рис. 2) заданий каждому регулятору.

Использование микроконтроллеров для реализации алгоритмов управления нижнего уровня (1) по сравнению с промышленными регуляторами упрощает

структуру межсетевых обмена с ПК, на которых реализуются автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчера, и расширяет возможности по использованию сложных оптимальных алгоритмов управления парогенераторами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987.
3. Пьявченко Т.А. Алгоритмы первичной обработки информации. Известия ТРТУ. Тематический выпуск: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием “Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении”. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005, №1(45).

Пьявченко Тамила Алексеевна,
Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г.Таганроге
E-mail: pta@tsure.ru
347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44
Тел.: +7(8634)371602

Карась Вячеслав Михайлович
Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г.Таганроге
E-mail: Alkey777@mail.com .

Pyavchenko Tamila Alekseevna
Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»
E-mail: pta@tsure.ru
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia
Phone: +7(8634)371602

Karas Vyichslav Mihailovich
Taganrog Institute of Technological – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»
E-mail: Alkey777@mail.com

УДК 65.012.122

В.Ф. Беккер

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ ГУБЧАТОГО ТИТАНА

Рассмотрена методология системного подхода к управлению непрерывно-дискретным производством губчатого титана. Актуальность работы определяется необходимостью улучшения качества сложного многомерного и многоуровневого управления. Системный анализ внутренней структуры распределенного объекта управления и взаимодействия его с внешней средой, задающей условия функционирования, обеспечивает планомерное решение иерархии взаимосвязанных задач и расширяет горизонт прогноза.