

Синтез многомерной оптимальной цифровой АСР газовоздушного тракта энергетического котла

Повышение экономичности работы теплоэнергетического оборудования за счет повышения технического уровня систем автоматического управления возможно по двум основным направлениям: использование современного комплекса технических средств (компьютеризированные управляющие комплексы) и усовершенствование структурных схем систем автоматического регулирования (как правило, за счет введения в контур контроля дополнительных информационных сигналов об изменении технологических параметров или использование более сложного алгоритма управления [1]).

Большой интерес представляют технические решения, которые без привлечения значительных средств позволяют снизить потребление топлива и уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду. Исследования, проведенные в США и ЕС показали, что повышение точности регулирования соотношения топливо-воздух позволяет повысить эффективность энергосбережения от 2 до 20%.

На энергетических и промышленных предприятиях Украины в настоящее время завершается процесс замены аналоговых систем управления на цифровые. Однако, возможности, которые предоставляют современные микропроцессорные технические средства автоматизации, используются не полностью. В частности, на новой технике реализуются типовые схемы и алгоритмы управления, которые были разработаны более полувека лет назад с учетом ограниченных возможностей аналоговых систем управления.

В настоящее время на тепловых электростанциях, оснащенных барабанными котлами, промышленных и теплофикационных котельных для управления газовоздушным трактом используются локальные АСР общего воздуха и разрежения. Задача АСР общего воздуха состоит в синхронном изменении расхода воздуха на горелочные устройства при изменении расхода топлива. Как правило, в типовой АСР общего воздуха (экономичности процесса горения) на вход регулирующего устройства поступают корректирующий сигнал по расходу топлива (жидкого или газообразного) и сигнал отрицательной обратной связи по расходу воздуха. Точное измерение массового расхода воздуха, в отличие от измерения расхода топлива, затруднено, поскольку для его определения используют сигнал переменного перепада давления воздуха на воздухоподогревателе. Поскольку по перепаду давления на воздухоподогревателе технически сложно точно определять массовый расход воздуха во

всем диапазоне рабочих нагрузок котлоагрегата, то точность поддержания материального баланса между расходом топлива и воздуха проверяется по газоанализатору, который измеряет содержание кислорода O_2 или оксида углерода CO в уходящих газах. На основании показаний газоанализатора оператор вручную происходит изменение задания регулятору общего воздуха. Для уменьшения динамического отклонения разрежения в топочной камере при изменении тепловой нагрузки котлом, для регулирования применяют комбинированную АСР с устройством ввода основного внешнего возмущающего воздействия – расхода воздуха. В качестве сигнала по расходу воздуха используют либо перепад давления воздуха на воздухоподогревателе или положение направляющего аппарата дутьевого вентилятора, которое в результате большой нелинейности не позволяет точно определять расход воздуха.

Таким образом, возникает научно-техническая задача исследования возможности применения оптимальных регуляторов для управления типовыми технологическими процессами и создания на их основе современной АСУ, которая не содержит недостатков типовых систем регулирования и максимально реализует потенциал цифровых управляющих комплексов.

Современный подход к концепции автоматического управления связан с рассмотрением объекта управления в виде сложной динамической системы с определенным числом взаимосвязанных между собой входов и выходов. В многомерной концепции управления расчет управляющего воздействия происходит с учетом прямых и перекрестных связей между вектором управления и вектором контролируемых технологических параметров. Рассчитанное управляющее воздействие должно обеспечить минимум заданному критерию качества вида

$$J = \int_0^{\infty} (x^T \cdot Q \cdot x + u^T \cdot R \cdot u) \cdot dt \quad (1)$$

где x – вектор внутреннего состояния объекта управления; u – вектор управляющего воздействия, Q и R – весовые матрицы.

Для решения задачи оптимального управления в соответствии с заданным критерием качества необходима математическая модель, которая адекватно описывает поведение объекта управления во всем диапазоне рабочих нагрузок объекта управления.

Анализ разработанной математической модели динамики барабанного котла [2] показал, что наряду с медленно изменяющимися регулируемыми параметрами (давление пара в паропроводе, солесодержание котловой воды) в объекте управления присутствуют мало инерционные каналы по разрежению дымовых газов в топочной камере и концентрации кислорода в уходящих газах. При большой размерности математической модели и большом численном различии собственных значений матрицы A (матрица внутреннего состояния

объекта управления), которое обусловлено сильным различием скорости протекания переходных процессов в барабанном котле, возникают вычислительные трудности при нахождении матрицы K многомерного регулятора системы. Кроме того, при подключении многомерной системы управления к технологическому объекту все выходы системы должны быть одновременно замкнуты с ее входами, и, в случае отказа одного из каналов управления или измерения, а также, перевода части контролируемых параметров на ручное управление, переходные процессы регулирования в системе могут стать неустойчивым. Поэтому, децентрализация системы управления всем барабанным котлом на локальные, взаимосвязанные технологически и имеющие одинаковую инерционность подсистемы, позволит повысить качество регулирования и надежность многомерной цифровой системы управления.

В газоздушном тракте барабанного котла можно выделить основные конструктивные элементы - это газоход, по которому дымовые газы проходят от топочной камеры до дымовой трубы и воздуховод, по которому воздух подается на горелочные устройства. Регулируемыми параметрами для этого участка являются: разрежение дымовых газов в верхней части топочной камеры и избыток воздуха, характеризующий экономичность процесса горения.

При выводе дифференциальных уравнений газохода и воздуховода, как участков регулирования разрежения в топке, для упрощения расчетов были приняты следующие допущения: газоход после дымососа и воздуховод после дутьевого вентилятора очень короткий и обратная реакция давления в топке на расход топлива и воздуха на входе в топочную камеру пренебрежимо мала; аккумулирующая емкость топки и газоходов сосредоточена в одном объеме, а дросселирующая способность газоходов и поверхностей нагрева сосредоточена в одной точке. Управление технологическим участком осуществляется путем изменения положения направляющего аппарата дымососа и дутьевого вентилятора, с целью изменения массового расхода дымовых газов и воздуха соответственно. С учетом перечисленных допущений регулируемые участки могут быть заменены упрощенной системой, состоящей из емкости, дросселя и дымососа (дутьевого вентилятора). Поскольку динамические и статические свойства барабанного котла в нестационарных режимах работы являются нелинейными, то для получения многорежимной математической модели, нелинейная модель может быть заменена спектром моделей, линеаризованных относительно нескольких типовых режимов.

Регулируемой величиной является отклонение разрежения в топке ΔP_p от заданного значения; входной величиной (регулирующим воздействием) – изменение положения направляющего аппарата дымососа $\Delta \varphi_r$. В качестве внешнего возмущения примем

изменение расхода уходящих газов на притоке ΔM . Таким образом, дифференциальное уравнение участка регулирования разрежения дымовых газов имеет вид:

$$T_2 \Delta \dot{P}_p + T_1 \Delta \dot{P}_p + \Delta P_p = k_4 \Delta \varphi_{\Gamma} + k_3 \Delta \varphi_{\Gamma} + k_2 \Delta \dot{M} + k_1 \Delta M. \quad (2)$$

Динамические свойства воздуховода, определяющие зависимость между изменением подачи воздуха в топку котла и положением направляющего аппарата дутьевого вентилятора $\Delta \varphi_B$, описываются уравнением вида:

$$T_4 \Delta \dot{M}_L + T_3 \Delta \dot{M}_L + \Delta M_L = k_6 \Delta \varphi_B + k_5 \Delta \varphi_B. \quad (3)$$

Коэффициент избытка воздуха λ , который нельзя непосредственно измерить, может быть определен по концентрации кислорода в дымовых газах C_{O_2} практически независимо от состава топлива. Однако на практике C_{O_2} не удастся измерить в точке, расположенной непосредственно за зоной окончания процесса горения. В большинстве случаев точка отбора пробы находится в конвективной части котла. При этом газы первоначально перемешиваются в зоне горения, затем транспортируются через радиационные поверхности и затем дополнительно перемешиваются в зоне конвективных поверхностей нагрева. Во многих случаях эта сложная при детальном описании схема может быть аппроксимирована уравнением:

$$T_6 \Delta \dot{C}_{O_2} + T_5 \Delta \dot{C}_{O_2} + \Delta C_{O_2} = k_8 \Delta M_L(t - \tau) + k_7 \Delta M_B(t - \tau); \quad (4)$$

где τ – время транспортного запаздывания; (принимается равным величине инерционности самого газоанализатора).

Таким образом, регулируемые параметрами газоздушного тракта барабанного котла являются отклонение от номинального значения концентрации кислорода в уходящих газах ΔC_{O_2} и отклонение разрежения в топочной камере, а управляющими воздействиями – изменение положения направляющих аппаратов дутьевого вентилятора $\Delta \varphi_B$ и дымососа $\Delta \varphi_{\Gamma}$; основным внешним возмущающим воздействием является изменение расхода топлива ΔM_B (рис. 1).

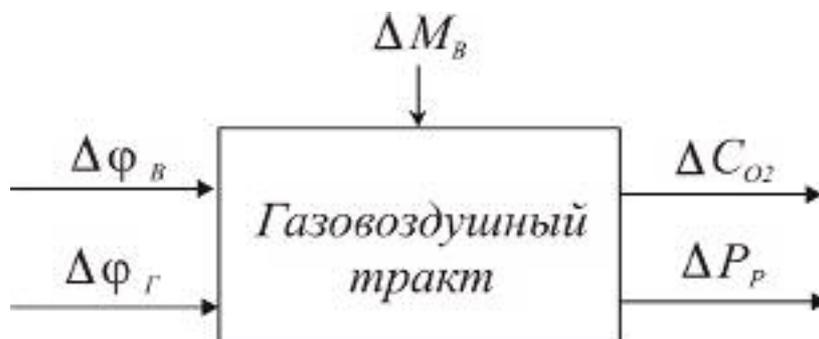


Рис. 1 – Параметрическая схема газоздушного тракта

Численные значения коэффициентов дифференциального уравнения (2) определяются с помощью следующих соотношений:

$$T_1 = (2a_L^{\Gamma} + 2a_P^{\Gamma}) \frac{m_{\Gamma}}{\bar{P}_{\Gamma}} \alpha; T_2 = ((a_L^{\Gamma})^2 + 2a_P^{\Gamma} a_L^{\Gamma}) \left(\frac{m_{\Gamma}}{\bar{P}_{\Gamma}} \alpha \right)^2; k_3 = -b_P^{\Gamma}; k_1 = a_L^{\Gamma} + a_P^{\Gamma};$$

$$k_2 = ((a_L^{\Gamma})^2 + a_L^{\Gamma} a_P^{\Gamma}) \frac{m_{\Gamma}}{2\bar{P}_{\Gamma}} \alpha; k_4 = -a_L^{\Gamma} b_P^{\Gamma} \frac{m_{\Gamma}}{2\bar{P}_{\Gamma}} \alpha,$$

где m_{Γ} – масса дымовых газов в газоходе котла в стационарном режиме работы, кг; \bar{P}_{Γ} – давление дымовых газов в верхней части топочной камеры, Па; α – коэффициент (для газа ~ 0.85), $a_L^{\Gamma} = \frac{\Delta H_M}{\Delta Q}$, $b_P^{\Gamma} = \frac{\Delta H_{\phi}}{\Delta \phi}$, $a_P^{\Gamma} = \frac{\Delta H^F}{\Delta Q^F}$ – определяются графически по напорным характеристикам воздуховода и дутьевого вентилятора.

Численные значения коэффициентов дифференциального уравнения (3) определяются с помощью следующих соотношений:

$$T_4 = \frac{a_P^B (a_L^B)^2}{a_L^B + a_P^B} \left(\frac{m_B}{2\bar{P}_B} \alpha \right)^2; T_3 = \frac{2a_P^B a_L^B + (a_L^B)^2}{a_L^B + a_P^B} \left(\frac{m_B}{\bar{P}_B} \alpha \right); k_6 = \frac{b_P^B a_L^B}{a_L^B + a_P^B} \left(\frac{m_B}{2\bar{P}_B} \alpha \right); k_5 = \frac{b_P^B}{a_L^B + a_P^B},$$

где m_B – масса дымовых газов в воздуховоде котла в стационарном режиме работы, кг;

\bar{P}_B – среднее значение давления воздуха в воздуховоде, Па, $a_L = \frac{\Delta H_M}{\Delta Q}$, $b_P = \frac{\Delta H_{\phi}}{\Delta \phi}$,

$a_P = \frac{\Delta H^F}{\Delta Q^F}$ – определяются графически по напорным характеристикам газохода и дымососа.

Дифференциальное уравнение, описывающее динамику изменения концентрации кислорода ΔC_{O_2} в дымовых газах, параметризуется с помощью следующих соотношений:

$$T_6 = T_B^2; T_5 = 2T_B; T_B = \frac{\bar{T}_B}{3}; k_8 = \frac{21}{\bar{M}_L \bar{\lambda}}; k_7 = -\frac{21}{\bar{M}_B \bar{\lambda}};$$

где \bar{M}_B , \bar{M}_L – номинальные расходы топлива и воздуха соответственно, кг/с; $\bar{\lambda}$ – коэффициент избытка воздуха; \bar{T}_B – среднее время прохода дымовых газов от топки до места замера, с.

Численные значения коэффициентов дифференциальных уравнений (2) ÷ (4), для дальнейшего численного моделирования системы управления, были определены по конструктивным и теплотехническим параметрам газо-мазутного барабанного котла ГМ-50 для трех номинальных режимов, соответствующих 50, 75 и 100% тепловой мощности (таблица 1).

Численные значения коэффициентов модели динамики
газовоздушного тракта для котла ГМ-50

Паропроизводительность, т/ч	Коэффициент						
	$T_1,$ c	$T_2,$ c^2	$T_3,$ c	$T_4,$ c^2	$T_5,$ c	$T_6,$ c^2	$k_1,$ $\frac{Па \cdot c}{кг}$
25	1.67	0.0566	0.0748	$3.47 \cdot 10^{-4}$	16	56	1080
37.5	1.33	0.0574	0.112	$8.16 \cdot 10^{-4}$	16	56	861
50	1.04	0.0572	0.152	$7.22 \cdot 10^{-4}$	16	56	673
Паропроизводительность, т/ч	Коэффициент						
	$k_2,$ $\frac{Па \cdot c^2}{кг}$	$k_3,$ $\frac{Па}{\%}$	$k_4,$ $\frac{Па \cdot c}{\%}$	$k_5,$ $\frac{кг \cdot c}{\%}$	$k_6,$ $\frac{кг \cdot c^2}{\%}$	$k_7,$ $\frac{\% \cdot c}{кг}$	$k_8,$ $\frac{\% \cdot c}{кг}$
25	80.3	-278	-20.6	0.224	$4.55 \cdot 10^{-3}$	-39.8	2.74
37.5	87.6	-254	-25.8	0.178	$6.73 \cdot 10^{-3}$	-26.5	1.82
50	106	-125	-19.7	0.147	$6.71 \cdot 10^{-3}$	-19.9	1.37

Таким образом, многорежимная математическая модель газовоздушного тракта энергетического котла, линеаризованная в окрестностях возможных режимов функционирования, может быть представлена системой матричных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x} = \bar{A}_i \cdot x + \bar{B}_i \cdot u + \bar{F}_i \cdot f; \\ y = \bar{C} \cdot x; \end{cases} \quad (5)$$

где x – вектор внутренних состояний, соответствующих i -му режиму функционирования системы; y – вектор контролируемых параметров (выход системы), u – вектор управляющих воздействий, f – вектор основных возмущений, \bar{A}_i , \bar{B}_i , \bar{F}_i , \bar{C} – матрицы коэффициентов соответствующих размерностей.

Полученная математическая модель газовоздушного тракта котла средней мощности (параметризованная для барабанного котла ГМ-50) позволят исследовать возможности применения новых алгоритмов управления, в том числе оптимального многомерного управления.

Для синтеза оптимальной системы управления математическая модель газовоздушного тракта (5) необходимо расширить моделью измерительных

преобразователей в каналах контроля регулируемых параметров (инерционное звено с транспортным запаздыванием).

Для процедуры синтеза цифровой АСР математическая модель (5) переводится из непрерывной шкалы времени в дискретную ($A = e^{\bar{A} \cdot \Delta t}$, $B = \bar{A}^{-1} \cdot (A - I) \cdot \bar{B}$, $F = \bar{A}^{-1} \cdot (A - I) \cdot \bar{F}$, $C = \bar{C}$) и записывается в виде системы разностных уравнений (6) с соответствующим периодом дискретности Δt :

$$\begin{cases} x_{i+1} = A \cdot x_i + B \cdot u_i + F \cdot f_i, \\ y_i = C \cdot x_i; \end{cases} \quad (6)$$

где x_i – вектор внутреннего состояния системы; y_i – вектор выхода (отклонение содержания кислорода в дымовых газах ΔC_{O_2} и разрежения в топочной камере ΔP_p); u_i – изменение управляющего воздействия (положение направляющих аппаратов дутьевого вентилятора $\Delta \varphi_B$ и дымососа $\Delta \varphi_r$); f_i – возмущающее воздействие (расход топлива ΔM_B).

Возможно два решения поставленной задачи: синтез оптимального регулятора состояния со статическим компенсатором измеряемого возмущения и синтез оптимального регулятора с динамическим компенсатором неизмеряемого возмущения.

Первое решение может быть получено путем минимизации следующего критерия качества [3]:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{ (z_i - y_i)^T \cdot Q \cdot (z_i - y_i) + u_i^T \cdot R \cdot u_i \}.$$

Откуда управляющее воздействие определяется следующим соотношением

$$u_i = -K \cdot x_i + \bar{K}_f,$$

где $P = LQ2(A, B, C^T \cdot Q \cdot C, R)$ – решение уравнения Риккати второго типа, $K = R^{-1} \cdot B^T \cdot P$ – матрица регулятора, $\bar{K}_f = R^{-1} \cdot B^T \cdot [A - I - B \cdot K]^{-T} \cdot P \cdot F$ – матрица компенсатора измеряемого возмущения (расход топлива) (рисунок 2). Численные значения коэффициентов весовых матриц $Q = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 0.05 \end{bmatrix}$ и $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.25 \end{bmatrix}$ определены итеративным подбором по результатам моделирования замкнутой АСР.

Матрица наблюдателя состояния определяется следующим соотношением

$$L = P \cdot C^T \cdot R^{-1}$$

где $L^T = LQ2(A^T, C^T, Q, R)$ – решение уравнения Риккати второго типа, Q и R – единичные матрицы соответствующей размерности.

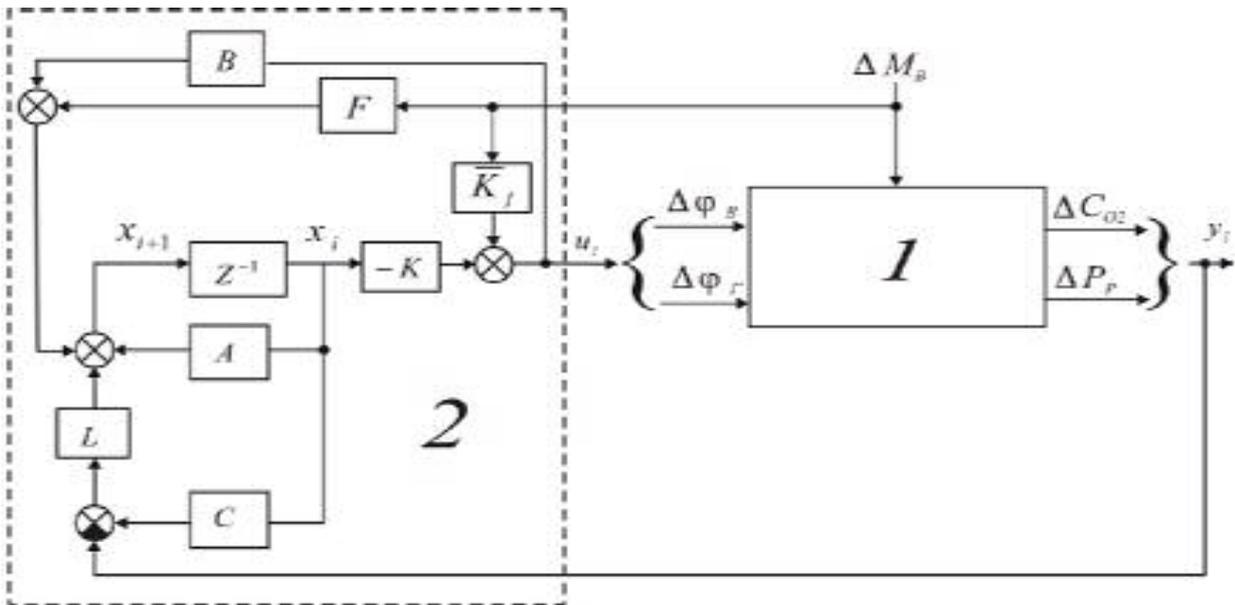


Рис. 2 – Структурная схема цифровой оптимальной АСР с компенсатором:
 1 – объект управления (газовоздушный тракт), 2 – цифровая оптимальная АСР со
 статическим компенсатором измеряемых возмущений

Определив новые переменные $\Delta u_i = u_i - u_{i-1}$, $e_i = (z - y_i)$ (z – сигнал задания), $S_i = [e_i, \Delta x_i]^T$ и, минимизируя функционал энергии вида:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{e_i^T \cdot Q \cdot e_i + \Delta u_i^T \cdot R \cdot \Delta u_i\}, \quad (7)$$

можно получить решение второй задачи в виде следующей зависимости $\Delta u_i = -K1 \cdot e_i - K2 \cdot \Delta x_i$, что соответствует структуре дискретного ПИ-

регулятора – $u_i = -K1 \cdot \sum_{j=0}^i e_j - K2 \cdot x_i$ [3]. Так как уравнения в приращениях не зависят от

векторов z и f , то для восстановления недостающих координат можно использовать обычный наблюдатель состояния $\Delta \bar{x}_{i+1} = \bar{A} \cdot \Delta \bar{x}_i + \bar{B} \cdot \Delta u_i + L \cdot (\Delta y_i - C \cdot \Delta \bar{x}_i)$, где L – матрица

наблюдателя состояния системы, $\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -C \cdot A \\ 0 & A \end{bmatrix}$, $\bar{B} = \begin{bmatrix} -C \cdot B \\ B \end{bmatrix}$, $\bar{C} = [1 \ 0]$, $K = [K_1, K_2]$.

Особенностью синтезированной системы управления с динамическим компенсатором неизмеряемых возмущений (рисунок 3) является использование только двух датчиков – по концентрации кислорода в уходящих газах и разрежению в топочной камере. В первом случае необходимо дополнительно измерять расход топлива (см. рисунок 1).

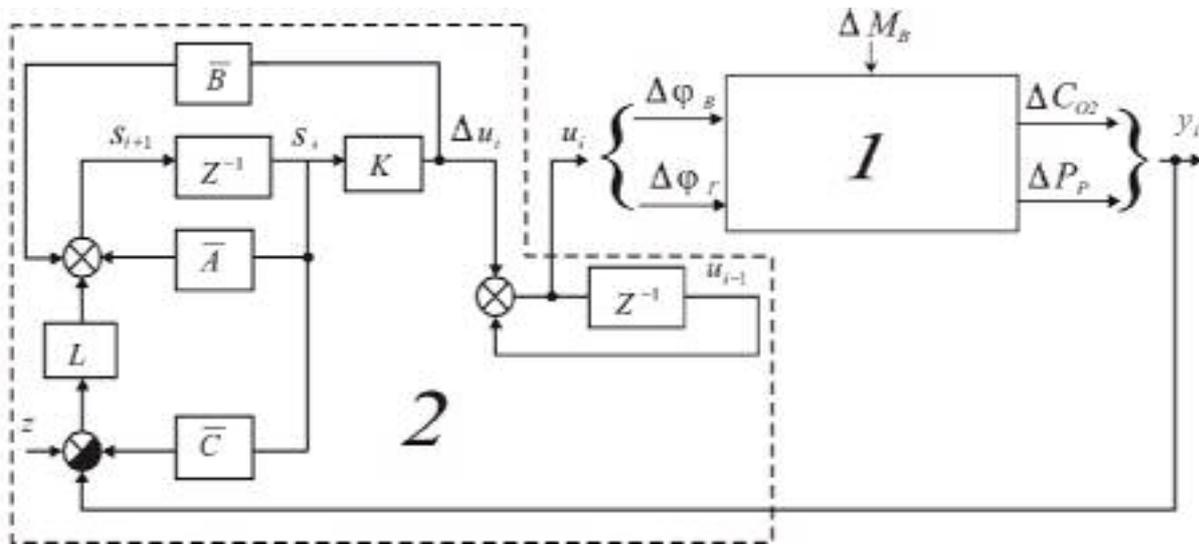


Рис. 3 – Структурная схема цифровой АСР с оптимальным ПИ-регулятором:
 1 – объект управления (газовоздушный тракт), 2 – цифровой оптимальный ПИ-регулятор

В таблице 2 представлены результаты моделирования переходных процессов в сконструированных АСР при скачкообразном уменьшении расхода топлива на 10% от номинального значения ($\Delta M_B = -0.096 \text{ кг/с}$).

Таблица 2

Прямые показатели качества регулирования

Показатель качества	Без регулятора	С компенсатором измеряемых возмущений	Оптимальный ПИ-регулятор
Максимальное динамическое отклонение регулируемого параметра	$\Delta C_{O_2} = 1.91\%$ $\Delta P_p = -6.59 \text{ кгс/м}^2$	$\Delta C_{O_2} = 0.0191\%$ $\Delta P_p = 1.98 \text{ кгс/м}^2$	$\Delta C_{O_2} = 1.65\%$ $\Delta P_p = -4.80 \text{ кгс/м}^2$
Максимальное динамическое отклонение управляющего воздействия	– –	$\Delta \varphi_B = -11.33\%$ $\Delta \varphi_G = -9.15\%$	$\Delta \varphi_B = -12.95\%$ $\Delta \varphi_G = -10.76\%$
Время регулирования, с: Концентрация O_2 Разрежение	– –	30 8	90 8
Статическая ошибка	– –	$\Delta C_{O_2} = -0.0178\%$ $\Delta P_p = -0.0702 \text{ кгс/м}^2$	$\Delta C_{O_2} = 0$ $\Delta P_p = 0$

На основании результатов моделирования (см. таблица 2) можно сделать вывод, что единственным недостатком АСР с оптимальным регулятором состояния и компенсатором измеряемых возмущений является необходимость прямого измерения возмущающих воздействий и наличие статической ошибки регулирования. Однако ее величина не превышает 1% от максимального отклонения контролируемых параметров в АСР с отключенным регулятором и является технологически допустимой, не превышая зону нечувствительности промышленных регуляторов (как правило, 3÷5 % от номинального значения технологического параметра).

В таблице 3 представлены интегральные показатели качества, полученные как результат реакции системы на дельта-функцию по каналу основного возмущения. В

критерии качества $J = \sum_{i=0}^{\infty} y_i^T \cdot Q \cdot y_i + u_i^T \cdot R \cdot u_i$ весовые матрицы имеют следующую

структуру $Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{\bar{C}_{O_2}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\bar{P}_P^2} \end{bmatrix}$, $R = \begin{bmatrix} \frac{1}{\bar{\Phi}_B^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\bar{\Phi}_T^2} \end{bmatrix}$, где $\bar{C}_{O_2} = 2 \%$, $\bar{P}_P = -3.06$ кгс/м², $\bar{\Phi}_B = 100 \%$,

$\bar{\Phi}_T = 100 \%$.

Таблица 3

Интегральные качества регулирования

Показатель качества	Без регулятора	С компенсатором измеряемых возмущений	Оптимальный ПИ-регулятор
$J = \sum_{i=0}^{\infty} y_i^T \cdot Q \cdot y_i + u_i^T \cdot R \cdot u_i$	11.4	19.7	38.7
$J_y = \sum_{i=0}^{\infty} y_i^T \cdot Q \cdot y_i$	11.4	19.3	38.6
$J_u = \sum_{i=0}^{\infty} u_i^T \cdot R \cdot u_i$	0	0.456	0.0541

Как видно из таблицы 3 в АСР с компенсатором измеряемого возмущения значение интегрального критерия J в два раза меньше, чем у оптимального ПИ-регулятора. Однако, величина части интегральной суммы J_u , которая учитывает вклад управляющего воздействия, больше в 8.5 раз. Таким образом, для компенсации резких скачкообразных возмущений, АСР с компенсатором требует большого и быстрого изменения управляющего воздействия, что должно быть учтено при ее технической реализации.

Таким образом, при выборе для реализации той или иной оптимальной цифровой АСР необходимо учитывать технологические требования к стабилизируемым параметрам, технические возможности исполнительных механизмов направляющих аппаратов дутьевого вентилятора и дымососа, а также характер изменения основного возмущающего воздействия – расхода топлива.

Описанная выше математическая модель АСР газо-воздушного тракта энергетического котла может быть использована как в учебном процессе, так и научных исследованиях (разработка и применение многомерных оптимальных систем управления) [4]. Однако, сугубо компьютерное моделирование сложных теплоэнергетических процессов, недостаточно для формирования у студентов всестороннего представления о многообразии форм и проявлений динамических и статических свойств реального объекта управления. С другой стороны, внедрение в энергетике новых перспективных систем управления, сдерживается недоверием к результатам численного моделирования. Частичное решение указанных проблем возможно с помощью экспериментальных установок, которые имитируют физические свойства исследуемого технологического участка в реальном режиме времени.

На рис. 4 представлено трехмерное изображение учебно-исследовательского лабораторного стенда, который имитирует динамические и статические характеристики газозадушного тракта энергетического котла. Конструктивно лабораторный стенд состоит из основания 1, на котором устанавливается прямоугольная емкость 2, имитирующая топочную камеру котла.

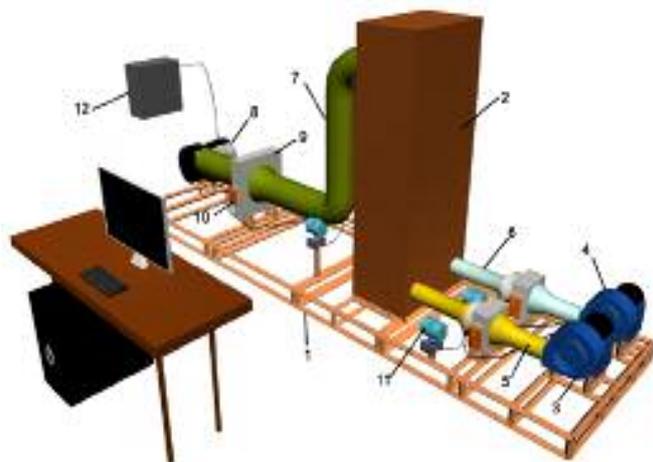


Рис.4 – Макет лабораторного стенда

Для увеличения инерционности переходных процессов емкость внутри делится на несколько секций. С одной стороны к емкости подключены два воздуховода, на которых установлены поворотные заслонки, предназначенные для изменения расходов воздуха от вентиляторов 3 и 4. Воздуховод 5 имитирует подачу газа в топочную камеру, а воздуховод 6 – воздуха. Воздуховод 7 имитирует конвективный газоход котла, по которому с помощью вентилятора 8 удаляется наружу воздух из емкости 2. Поворотная заслонка 9 предназначена для изменения производительности вентилятора 8. Перемещение поворотных заслонок осуществляют электроприводы со встроенным датчиком положения.

Таким образом, на данном стенде могут быть реализованы две типовые автоматические системы регулирования – разрежения дымовых газов и процесса горения по соотношению «топливо-воздух» и оптимальная многомерная цифровая АСР с компенсатором измеряемых возмущений. Для их построения используются датчики избыточного давления и разрежения 11 типа «Сафир». Коммутация электрических соединений выполняется в сборочном шкафу 12. На персональном компьютере устанавливается свободно программируемая SCADA-система, в которой реализуются типовые и перспективные алгоритмы управления.

Список литературы

1. Кокорев С.В., Давыдов Н.И., Анисяев Е.М. Разработка, исследование и испытания системы регулирования разрежения в топке котла-утилизатора комплекса по обезвреживанию и переработке твердых бытовых и биологических отходов // Электрические станции. - 2006. - С. 38-42.
2. Ложечников В.Ф., Стопакевич А.А. Структура многомерной математической модели динамики барабанного котла средней мощности // Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии: Труды Украинской академии экономической кибернетики (Южный научный центр). – Киев-Одесса: ИСЦ, 1999. – Вып.1. – Ч.2. – С. 167-176.
3. Стопакевич А.А. Сложные системы: анализ, синтез, управление. – Одесса: КРЕД, 2004. – 277 с.
4. В.Ф. Ложечников. Оптимальное цифровое управление газоздушным трактом барабанного котла средней мощности // Холодильная техника и технология, 1 (111) 2008. с. 69 – 72.

Ключевые слова: Оптимальное управление, регулятор состояния, компенсатор измеряемого возмущения, критерий качества регулирования, технологический участок, физическая модель, автоматическая система регулирования.

Ключові слова: Оптимальне управління, регулятор стану, компенсатор вимірюваного збурення, критерій якості регулювання, технологічна ділянка, фізична модель, автоматична система регулювання.

Keywords: Optimal control, state regulator, the measured disturbance compensator, quality control criteria, technological line, physical model, automatic control system.

УДК 681.5.015.23:658.264

Аннотация

Ложечников В.Ф., Улицкая Е.О.

Синтез многомерной оптимальной цифровой АСР газо-воздушного тракта энергетического котла

В работе рассмотрена многорежимная математическая модель динамики газозоудшного тракта барабанного котла средней мощности. По математической модели синтезирована современная многомерная оптимальная система управления технологическим участком и исследована ее работа в сравнении со штатной АСР. Также представлены показатели качества переходных процессов в сконструированных оптимальных системах управления. Приведен проект физической модели подобиа газозоудшного тракта энергетического котла.

Рис. 4.: Табл.: 3: Библиогр.: 4.

УДК 681.5.015.23:658.264

Анотація

Ложечніков В.Ф., Уліцька О.О.

Синтез багатовимірної оптимальної цифрової АСР газоповітряного тракту енергетичного котла.

У роботі розглянута багаторежимна математична модель динаміки газоповітряного тракту барабанного котла середньої потужності. З отриманої моделі синтезована сучасна багатовимірна оптимальна систему керування означеною ділянкою, та досліджена її робота у

порівнянні з типовою АСР. Наведені показники якості перехідних процесів у сконструйованих оптимальних системах управління. Запропонована фізична модель газоповітряного тракту енергетичного котла.

Лл.: 4.: Табл.: 3.: Бібліогр.: 4.

UDC 681.5.015.23:658.264

Abstract

Lozhechnikov V.F., Ulitskaya E.O.

Synthesis of multidimensional optimal digital automatic control system of the gas-air tract of average power drum-type boiler

The structure of many-dimensional analytical multiple mode mathematical model and the expressions stating the coefficients of the gas-air tract of average power drum-type boiler is considered. The obtained model has been applied for constructing a modern high-quality computer control system of the boiler. This article also concerns research and development on the digital optimal multivariable regulator, which is used for controlling the standard technological section – gas-air tract of average power drum-type boiler. Besides this, the quality control criteria of the technological parameters are presented. The physical model design of gas-air tract of energetic steam generator is regarded too.

Figs. 4.: Tabl. 3.: Refs. 4.

Ложечников В.Ф. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизации технологических процессов» Одесского национального политехнического университета.

Улицкая Е.О. – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматизации технологических процессов» Одесского национального политехнического университета.