

УПРАВЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ И ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ.

УДК 681.5.015.23:658.264

В.Ф. Ложечников, Е.О. Улицкая

СИНТЕЗ МНОГОМЕРНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНЫМ ТРАКТОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА

Введение

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 современных микропроцессорных технических средств автоматизации используются не полностью. В частности, на новой технике реализуются типовые схемы и алгоритмы управления, разработанные более полувека назад с учетом ограниченных возможностей аналоговых систем управления.

В настоящее время на тепловых электростанциях, оснащенных барабанными котлами, промышленных и теплофикационных котельных для управления газозвоздушным трактом используются локальные автоматические системы управления (АСУ) общего воздуха и разрежения. Задача АСУ общего воздуха состоит в синхронном изменении расхода воздуха на горелочные устройства при изменении расхода топлива. Как правило, в типовой АСУ 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 определить 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 отходящих газах. На основании показаний газоанализатора оператор вручную изменяет задание регулятору общего воздуха. Для уменьшения динамического отклонения разрежения в топочной камере при изменении тепловой нагрузки котлом для регулирования применяют комбинированную АСУ с устройством ввода основного внешнего возмущающего воздействия — расхода воздуха. В качестве сигнала по расходу воздуха используют либо перепад давления воздуха на воздухоподогревателе, либо положение направляющего аппарата дутьевого вентилятора, которое в результате большой нелинейности не позволяет точно определять расход воздуха.

Постановка задачи

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

При современном подходе к концепции автоматического управления объект управления рассматривается как сложная динамическая система с определенным числом взаимосвязанных входов и выходов. В многомерной концепции управления при расчете управляющего воздействия учитываются прямые и перекрестные связи между вектором управления и вектором контролируемых технологических параметров.

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

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 находятся малоинерционные каналы по разрежению дымовых газов в топочной камере и концентрации кислорода в отходящих газах. При большой размерности математической модели и большом численном различии собственных значений матрицы A (матрица внутреннего состояния объекта управления), обусловленных большим 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 и входы системы должны быть одновременно замкнуты. В случае отказа одного из каналов управления или измерения, а также перевод части контролируемых параметров на ручное управление переходные процессы регулирования в системе могут стать неустойчивыми. Поэтому децентрализация системы управления всем барабанным котлом и управление локальными, взаимосвязанными технологически и имеющими одинаковую инерционность подсистемами, позволит повысить качество регулирования и надежность многомерной цифровой системы управления.

Математическое описание объекта управления

В газоздушном тракте барабанного котла можно выделить основные конструктивные элементы: 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 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. При управлении технологическим участком изменяется положение направляющего аппарата дымососа и дутьевого вентилятора в целях 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 нелинейные, 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 $\Delta \varphi_\Gamma$. В качестве внешнего возмущения примем изменение расхода отходящих газов на притоке ΔM . Таким образом, дифференциальное уравнение участка регулирования разрежения дымовых газов имеет вид

$$T_2 \Delta \ddot{P}_P + T_1 \Delta \dot{P}_P + \Delta P_P = k_4 \Delta \dot{\varphi}_\Gamma + k_3 \Delta \varphi_\Gamma + k_2 \Delta \dot{M} + k_1 \Delta M. \quad (1)$$

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

$$T_4 \Delta \ddot{M}_L + T_3 \Delta \dot{M}_L + \Delta M_L = k_6 \Delta \dot{\varphi}_B + k_5 \Delta \varphi_B. \quad (2)$$

Коэффициент избытка воздуха λ , который нельзя непосредственно измерить, можно определить по концентрации кислорода в дымовых газах C_{O_2} практически независимо от состава топлива. Однако на практике C_{O_2} не удается 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 дополнительно перемешиваются в зоне конвективных поверхностей нагрева. Во многих случаях эту сложную схему можно аппроксимировать уравнением

$$T_6 \Delta \ddot{C}_{O_2} + T_5 \Delta \dot{C}_{O_2} + \Delta C_{O_2} = k_8 \Delta M_L (t - \tau) + k_7 \Delta M_B (t - \tau), \quad (3)$$

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

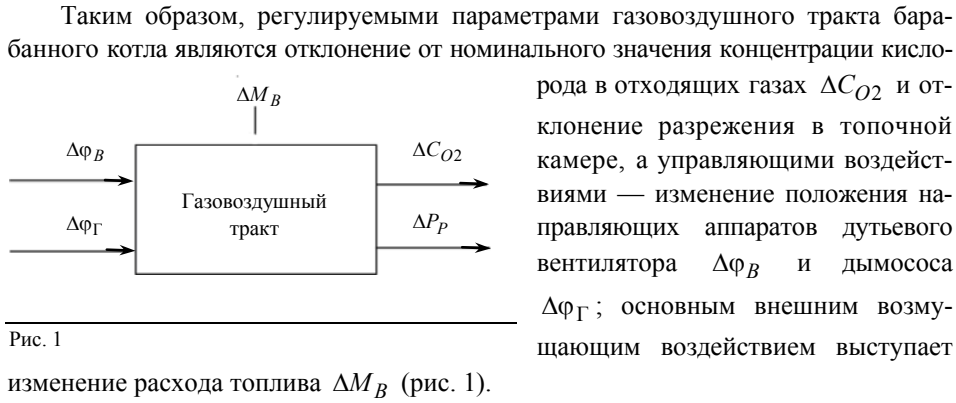


Рис. 1

Численные значения коэффициентов дифференциального уравнения (1) определяются с помощью следующих соотношений:

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

$$k_1 = a_L^\Gamma + a_P^\Gamma; k_2 = ((a_L^\Gamma)^2 + a_L^\Gamma a_P^\Gamma) \frac{m_\Gamma}{2\bar{P}_\Gamma} \alpha; k_4 = -a_L^\Gamma b_P^\Gamma \frac{m_\Gamma}{2\bar{P}_\Gamma} \alpha.$$

Здесь 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 $\sim 0,85$), $a_L^\Gamma = \frac{\Delta H_M}{\Delta Q}$, $b_P^\Gamma = \frac{\Delta H_\varphi}{\Delta\varphi}$, $a_P^\Gamma = \frac{\Delta H^F}{\Delta Q^F}$, определяются графически по напорным характеристикам воздуховода и дутьевого вентилятора.

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

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

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

Здесь m_B — масса дымовых газов в воздуховоде котла в стационарном режиме работы, кг; \bar{P}_B — среднее значение давления воздуха в воздуховоде, Па, $a_L^B = \frac{\Delta H_M}{\Delta Q}$, $b_P^B = \frac{\Delta H_\varphi}{\Delta\varphi}$, $a_P^B = \frac{\Delta H^F}{\Delta Q^F}$, 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:

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

Здесь \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 (1)–(3) для дальнейшего численного моделирования системы управления определены по конструктивным и теплотехническим параметрам газомазутного барабанного котла ГМ-50 для трех номинальных режимов, соответствующих 50, 75 и 100 % тепловой мощности (табл. 1, т/ч — тонн пара за час).

Таблица 1

Производительность пара, т/ч	Коэффициент						
	T_1, c	T_2, c^2	T_3, c	T_4, c^2	T_5, c	T_6, c^2	$k_1, \frac{\text{Па} \cdot c}{\text{кг}}$
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
Производительность пара, т/ч	Коэффициент						
	$k_2, \frac{\text{Па} \cdot c^2}{\text{кг}}$	$k_3, \frac{\text{Па}}{\%}$	$k_4, \frac{\text{Па} \cdot c}{\%}$	$k_5, \frac{\text{кг} \cdot c}{\%}$	$k_6, \frac{\text{кг} \cdot c^2}{\%}$	$k_7, \frac{\% \cdot c}{\text{кг}}$	$k_8, \frac{\% \cdot c}{\text{кг}}$
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 газоздушного тракта энергетического котла, линеаризованная в окрестностях возможных режимов функционирования, может быть представлена системой матричных уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = \bar{A}_i x + \bar{B}_i u + \bar{F}_i f, \\ y = \bar{C} x. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь 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 газоздушного тракта котла средней мощности (параметризованная для барабанного котла ГМ-50) позволит исследовать возможности применения новых алгоритмов управления, в том числе и оптимального многомерного.

Синтез системы управления газоздушным трактом

Для синтеза оптимальной системы управления, которая обеспечивает минимум заданному критерию качества вида

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

где Q и R — весовые матрицы, математическая модель газоздушного тракта (4) дополнена моделью измерительных преобразователей в каналах контроля регулируемых параметров (инерционное звено первого порядка с транспортным запаздыванием).

Для процедуры синтеза цифровой АСУ математическая модель (4) переводится из непрерывной шкалы времени в дискретную ($A = e^{\bar{A}\Delta t}$, $B = \bar{A}^{-1}(A - I)\bar{B}$, $F = \bar{A}^{-1}(A - I)\bar{F}$, $C = \bar{C}$) и записывается в виде системы разностных уравнений (5)

с соответствующим периодом дискретности Δt :

$$\begin{cases} x_{i+1} = Ax_i + Bu_i + Ff_i, \\ y_i = Cx_i. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь 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 $\Delta\varphi_\Gamma$); 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 можно получить минимизацией следующего критерия качества [3]:

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

Отсюда управляющее воздействие определяется соотношением

$$u_i = -Kx_i + \bar{K}_f f_i.$$

Здесь $P = LQ_2(A, B, C^T Q C, R)$ — решение уравнения Риккати второго типа, $K = R^{-1} B^T P$ — матрица регулятора, $\bar{K}_f = R^{-1} B^T [A - I - B \cdot K]^{-1} P F$ — матрица компенсатора измеряемого возмущения (расход топлива) (рис. 2, где 1 — объект управления (газовоздушный тракт), 2 — цифровой регулятор со статическим компенсатором измеряемых возмущений). 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 АСУ.

Матрица наблюдателя состояния определяется соотношением

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

где $L^T = LQ_2(A^T, C^T, Q, R)$ — решение уравнения Риккати второго типа, Q и R — единичные матрицы соответствующей размерности.

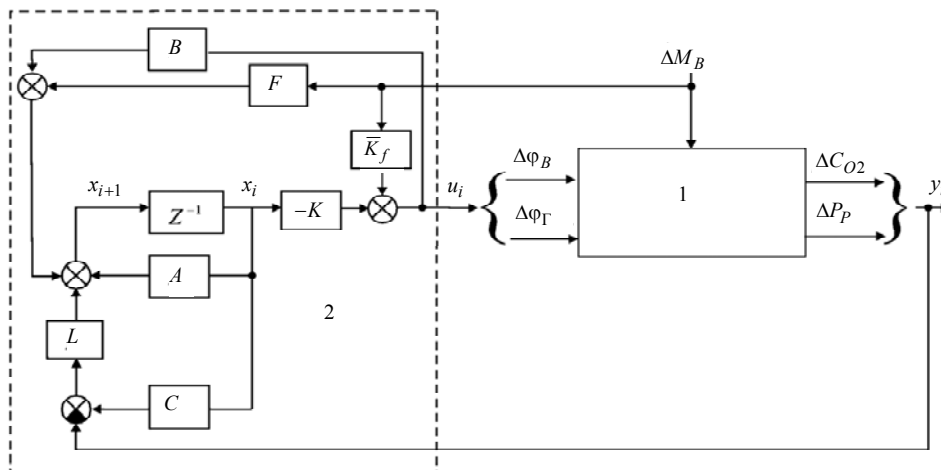


Рис. 2

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 минимизировав функционал энергии вида

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

можно получить решение второй задачи в виде зависимости $\Delta u_i = -K_1 e_i - K_2 \Delta x_i$, что соответствует структуре дискретного ПИ-регулятора — $u_i = -K_1 \sum_{j=0}^i e_j - K_2 x_i$ [3].

Так как уравнения в приращениях не зависят от векторов z и f , то для восстановления недостающих координат можно использовать обычный наблюдатель состояния $\Delta \bar{x}_{i+1} = \bar{A} \Delta \bar{x}_i + \bar{B} \Delta u_i + L(\Delta y_i - C \Delta \bar{x}_i)$, где L — матрица наблюдателя состояния системы, $\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -CA \\ 0 & A \end{bmatrix}$, $\bar{B} = \begin{bmatrix} -CB \\ B \end{bmatrix}$, $\bar{C} = [1 \ 0]$, $K = [K_1, K_2]$.

Особенностью синтезированной системы управления с динамическим компенсатором неизмеряемых возмущений (рис. 3, где 1 — объект управления (газовоздушный тракт), 2 — цифровой оптимальный ПИ-регулятор) является использование только двух датчиков — по концентрации кислорода в отходящих газах и разрежению в топочной камере. В первом случае необходимо дополнительно измерять расход топлива (см. рис. 1).

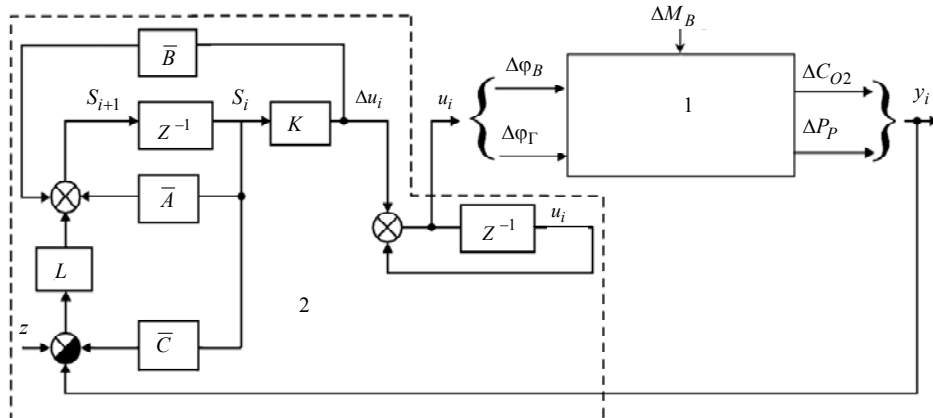


Рис. 3

Результаты математического моделирования

В табл. 2 представлены результаты моделирования переходных процессов в сконструированных АСУ при скачкообразном уменьшении расхода топлива на 10 % от номинального значения ($\Delta M_B = -0,096$ кг/с).

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

Таблица 2

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	– –	$\Delta \varphi_B = -11,33 \%$ $\Delta \varphi_\Gamma = -9,15 \%$	$\Delta \varphi_B = -12,95 \%$ $\Delta \varphi_\Gamma = -10,76 \%$
Время регулирования, с: концентрация O_2 разрежение	– –	30 8	90 8
Статическая ошибка	– –	$\Delta C_{O_2} = -0,0178 \%$ $\Delta P_p = -0,0702 \text{ Кгс/М}^2$	$\Delta C_{O_2} = 0$ $\Delta P_p = 0$

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

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

$$\text{структуру: } Q = \begin{bmatrix} \frac{1}{\bar{C}_{O_2}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\bar{P}_p^2} \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} \frac{1}{\bar{\varphi}_B^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\bar{\varphi}_\Gamma^2} \end{bmatrix}, \text{ где } \bar{C}_{O_2} = 2 \%, \bar{P}_p = -3,06 \text{ кгс/м}^2,$$

$$\bar{\varphi}_B = 100 \%, \bar{\varphi}_\Gamma = 100 \%.$$

Таблица 3

Показатель качества	Без регулятора	С компенсатором измеряемых возмущений	Оптимальный ПИ-регулятор
$J = \sum_{i=0}^{\infty} y_i^T Q y_i + u_i^T R u_i$	11,4	19,7	38,7
$J_y = \sum_{i=0}^{\infty} y_i^T Q y_i$	11,4	19,3	38,6
$J_u = \sum_{i=0}^{\infty} u_i^T R u_i$	0	0,456	0,0541

Как видно из табл. 3, в АСУ с компенсатором измеряемого возмущения значение интегрального критерия J в два раза меньше, чем у оптимального ПИ-регулятора. Однако величина части интегральной суммы J_u , в которой учитывается вклад управляющего воздействия, больше в 8,5 раза. Таким образом, для компенсации резких скачкообразных возмущений АСУ с компенсатором требует большого и быстрого изменения управляющего воздействия, что должно учитываться при ее технической реализации.

Заключение

Таким образом, при выборе для реализации той или иной оптимальной цифровой АСУ 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.

Математическая модель АСУ газовоздушного тракта энергетического котла может использоваться как в учебном процессе, так и в научных исследованиях (разработка и применение многомерных оптимальных систем управления) [4]. Однако сугубо компьютерного моделирования сложных теплоэнергетических процессов недостаточно для формирования всестороннего представления о многообразии форм и проявлений динамических и статических свойств реального объекта управления. С другой стороны, внедрение в энергетику новых перспективных систем управления сдерживается недоверием к результатам численного моделирования. Частично решить указанные проблемы можно 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 газовоздушного тракта энергетического котла. Конструктивно лабораторный стенд состоит из основания 1, на котором устанавливается прямоугольная емкость 2, имитирующая топочную камеру котла.

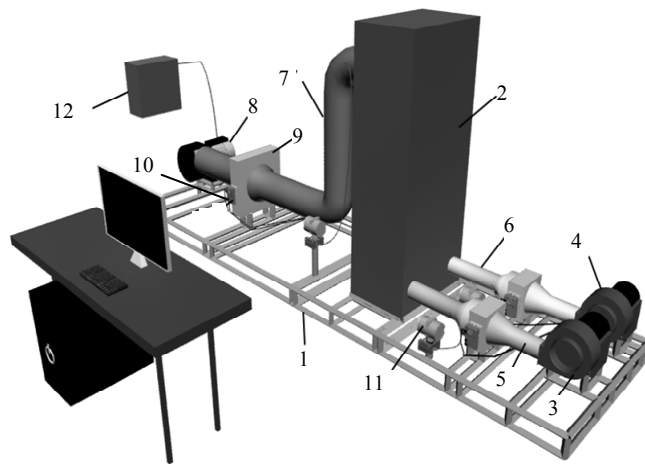


Рис. 4

Для увеличения инерционности переходных процессов емкость внутри делится на несколько секций. С одной стороны к емкости подключено 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 АСУ 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.

В.Ф. Ложечников, О.О. Улицька

СИНТЕЗ БАГАТОВИМІРНОЇ ОПТИМАЛЬНОЇ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИМ ТРАКТОМ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОТЛА

Розглянуто багаторежимну математичну модель динаміки газоповітряного тракту барабанного котла середньої потужності. З отриманої моделі синтезовано сучасну багатовимірну оптимальну систему керування означеною ділянкою та досліджено її роботу в порівнянні з типовою АСУ. Наведено показники якості перехідних процесів у сконструйованих оптимальних системах керування. Запропоновано фізичну модель газоповітряного тракту енергетичного котла.

V.F. Lozhechnikov, E.O. Ulitskaya

SYNTHESIS OF MULTIDIMENSIONAL OPTIMAL DIGITAL CONTROL SYSTEM OF THE GAS-AIR TRACT OF DRUM-TYPE BOILER

The structure of many-dimensional analytical multiple mode mathematical model of the dynamics 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 is also concerned with research and development of 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 considered as well.

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. *Ложечников В.Ф.* Оптимальное цифровое управление газоздушным трактом барабанного котла средней мощности // Холодильная техника и технология. — 2008. — **1 (111)**. — С. 69–72.

*Получено 08.02.2016
После доработки 25.05.2016*