

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИРУЮЩИХ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ

С.В. Зайцев

Рассмотрен компьютерный лабораторный комплекс, который позволяет студентам вуза получить знания и опыт в различных областях техники. Основой комплекса является многозонная тепловая печь, в которой тепловая энергия распределена по тепловой камере зонально. Поскольку загрузка камеры может быть неравномерной, представляет интерес создание распределенных пространственных регуляторов для улучшения качества технологического процесса. Рассмотрены вопросы анализа передаточных функций тепловой камеры с использованием спектров Гершгорина и синтеза распределенного высокоточного регулятора для такой камеры без учета и с учетом неустойчивости параметров.

Ключевые слова: регуляторы, лабораторный комплекс, спектры Гершгорина, анализ, синтез, распределенный высокоточный регулятор.

Введение

Внедрение новых перспективных информационных технологий является важнейшим фактором повышения качества образовательного процесса в технических вузах. Неотъемлемой частью инженерного образования являются лабораторно-практические занятия, которые позволяют получать практические навыки студентам технических специальностей. Для вузов, расположенных на удалении от крупных промышленных центров, характерны проблемы, связанные с распределением студентов на практику на крупное высокотехнологичное производство и соответственно с ознакомлением студентов с современным производством, наглядной демонстрацией работы систем управления производственными процессами, приобретением студентами практических навыков работы на оборудовании.

В качестве инструментов, обеспечивающих получение студентами практических навыков необходимого уровня, учебным заведениям необходимо иметь наборы лабораторных стендов, имитирующих и моделирующих работу промышленного оборудования. Данные стенды

должны соответствовать современным требованиям производства как к системам управления, так и к исполнительным механизмам.

Для решения научных и учебных задач кафедрой управления и информации в технических системах и кафедрой технологических машин и оборудования Пятигорского государственного гуманитарно-технологического университета (ПГГТУ) был создан современный компьютерный лабораторный комплекс.

Постановка задачи при создании лабораторного комплекса

В рамках проекта создания компьютерного лабораторного комплекса (КЛК) должны решаться следующие задачи учебного и научного процессов:

- получение теоретических и практических навыков работы с современным промышленным оборудованием;
- получение наглядности практических результатов исследований, благодаря применению средств визуализации;
- возможность организации лабораторных

практикумов с применением средств удаленного доступа;

- создание информационных моделей промышленных объектов;
- верификация моделей объектов и проверка результатов научных разработок.

Созданный КЛК позволяет проводить лабораторные работы по таким образовательным программам, как:

- электрооборудование и управление технологическими процессами для кафедры управления и информации в технических системах (УИТС);
- электрооборудование и управление в технических системах для кафедры технологических машин и оборудования (ТМО).

Лабораторный комплекс был создан благодаря финансовой поддержке компании «ОВЕН» и краснодарского филиала компании «КИП-Сервис» в виде выделенного оборудования.

В КЛК входят следующие системы:

- система поддержания температуры в камере;
- система лентопротяжного механизма с регулируемой частотным преобразователем скоростью;
- пневматическая система исполнительных механизмов, предназначенная для открытия и закрытия входной и выходной створок;
- система обнаружения объекта на входе и выходе тепловой камеры, использующая оптические датчики;
- система подготовки воздуха с релейной системой управления компрессором, основанной на использовании электроконтактного манометра;
- система перемешивания и вытяжки воздуха с регулированием частоты вращения двигателей постоянного тока, которое осуществляется широтно-импульсной модуляцией напряжения питания через твердотельные реле постоянного тока.

Описание объекта управления

Туннельная печь (тепловая камера) имеет три зоны нагрева для поддержания температуры в ней. Управление температурой в камере осуществляется во всех зонах с помощью пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора (ПИД) или с помощью распределенного высокоточного регулятора (РВР). Регулирование тепловой мощности ТЭНов в каждой зоне программируемый логический контроллер (ПЛК) осуществляет с по-

мощью блоков управления симисторами и тиристорами (БУСТ) или с помощью трехфазных твердотельных реле (ТТР).

Лабораторный комплекс (рис. 1) позволяет реализовать технологические процессы, связанные с термической обработкой различных продуктов. Система управления комплексом реализована с использованием ПЛК-150-U-L – продукта компании «ОВЕН». В качестве среды для разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров на языках стандарта IEC 61131-3 выбрана среда CoDeSys V2.3 компании 3S-Smart Software Solutions. Выбор программной среды был сделан исходя из доступности библиотек оборудования и возможности поставки вместе с оборудованием. Создав программу управления туннельной печью на компьютере, студенты смогут проверить ее работоспособность на программном симуляторе CoDeSys и реальном объекте, а также разработать программу для визуализации работы объекта, выводимую на дисплей компьютера. Обмен информацией между ПЛК и блоками расширения осуществляется по интерфейсу связи RS-485, а между ПЛК и компьютером – по интерфейсу связи RS-232. Студенты имеют возможность управлять ПЛК не только с помощью локального компьютера, но и по интерфейсу связи Ethernet 100 Base-T.

Области использования КЛК

Методика работы студентов технических специальностей на КЛК заключается в следующем. Студенты машиностроительных специальностей разрабатывают математическую модель температурных процессов туннельной печи. В качестве модели тепловых динамических процессов рассматривается упрощенная модель, в которой используется формула одноемкостного термического элемента [1]:

$$Mc \frac{d\theta}{dt} = \Delta Q, \quad (1)$$

где θ – температура; t – время; M – масса тела; c – удельная теплоемкость тела; ΔQ – разность между количеством подводимой к телу и отводимой от него теплоты в единицу времени.

Определив характеристики объекта и используя программу Simulink из программного комплекса MatLab, студенты составляют структурную схему передаточной функции объекта, подбирают и оптимизируют параметры регулятора для туннельной печи. На КЛК они про-

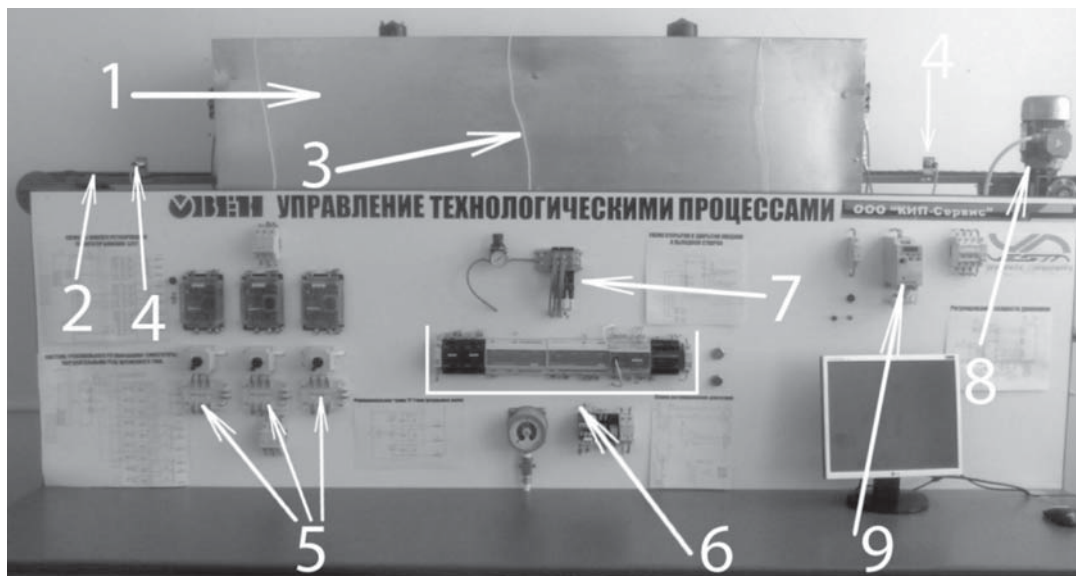


Рис. 1. Компьютерный лабораторный комплекс:

1 – туннельная печь, оборудованная ТЭН; 2 – конвейерная лента; 3 – датчики температуры (термопары); 4 – оптические датчики; 5 – исполнительные силовые элементы (трехфазные твердотельные реле); 6 – САУ технологическим процессом; 7 – блок управления пневматической системой стенда; 8 – трехфазный асинхронный двигатель, приводящий в движение конвейерную ленту; 9 – преобразователь частоты, управляющий двигателем

водят испытания, проверяя соответствие параметров модели объекта параметрам реального объекта, проверяют качественные показатели переходного процесса, которые были получены с помощью программы Simulink и реализованы с помощью среды программирования CoDeSys. На системе стабилизации давления воздуха студенты наблюдают работу релейной системы управления. Таким образом, студенты кафедры ТМО получают опыт и знания по курсу «Управление в технических системах». Работу отдельных частей КЛК студенты изучают в курсе «Электрооборудование предприятий отрасли».

Студенты кафедр, ориентированных на изучение системного анализа и управления, разрабатывают математическую модель температурных процессов в туннельной печи с помощью дифференциальных уравнений математической физики вида [2, 3]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha_1 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

$$0 < x < x_L, 0 < y < y_L, 0 < z < z_L,$$

где $T = T(x, y, z, \tau)$ – температурное поле камеры; x, y, z – пространственные координаты; α_1 – температуропроводность; x_L, y_L, z_L – размеры тепловой камеры; T – температура; τ – время.

При этом моделируется различное заполнение туннельной печи продуктом, рассматривается влияние степени заполнения печи продуктом на распределение температур по зонам печи. Далее студенты проходят этапы проектирования регуляторов, как и студенты кафедры ТМО. На старших курсах студенты кафедры УИТС изучают системы пространственного управления. Специальным курсом по теории управления для студентов пятого курса кафедры является курс «Синтез пространственно распределенных регуляторов», основанный на разработках научной школы кафедры, которой руководит д-р техн. наук И.М. Першин. Студенты синтезируют пространственные регуляторы и имеют возможность проверки работы пространственного регулятора на реальном объекте. При синтезе пространственного регулятора у студентов возникает необходимость в выборе краевых условий и соответствующего ортогонального базиса. Программа работы пространственного регулятора проверяется на реальном объекте, а правильность выбора краевых условий и выбора соответствующего ортогонального базиса определяется при испытаниях состоянием створок (открыты или закрыты). В этом случае учебный опыт переходит в научный опыт.

Научный опыт использования КЛК

В результате экспериментальных исследований с помощью лабораторного комплекса была получена матрица комплексных передаточных функций $\tilde{W}(i\omega)$, которая определяет степень взаимного влияния зон входного воздействия на зоны распределения функции выхода (точки расположения датчиков):

$$\tilde{W}(i\omega) = \begin{bmatrix} W_{11}(i\omega) & W_{12}(i\omega) & W_{13}(i\omega) \\ W_{21}(i\omega) & W_{22}(i\omega) & W_{23}(i\omega) \\ W_{31}(i\omega) & W_{32}(i\omega) & W_{33}(i\omega) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$W_{11}(i\omega) = \frac{0,09446}{1335 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 50},$$

$$W_{12}(i\omega) = \frac{0,0632}{1860 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 60},$$

$$W_{13}(i\omega) = \frac{0,04861}{2075 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 90},$$

$$W_{21}(i\omega) = \frac{0,06071}{1432 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 60},$$

$$W_{22}(i\omega) = \frac{0,0759}{1294 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 50},$$

$$W_{23}(i\omega) = \frac{0,05705}{1545 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 60},$$

$$W_{31}(i\omega) = \frac{0,04062}{1931 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 90},$$

$$W_{32}(i\omega) = \frac{0,05656}{1413 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 60},$$

$$W_{33}(i\omega) = \frac{0,07425}{1041 \cdot i\omega + 1} e^{-i\omega \cdot 50},$$

где i – комплексный множитель; ω – круговая частота.

Передаточные функции имеют двойные индексы: первый индекс относится к зоне, в которой изменяется тепловая (электрическая) мощность, а второй – к зоне, в которой изменяется температура под влиянием тепловой мощности в зоне первого индекса.

Для анализа объекта управления определим свойства передаточной матрицы. По полученной матрице комплексных передаточных функций построим спектры Гершгорина [4] (рис. 2).

Согласно проведенным расчетам матрица комплексных передаточных функций не обла-

дает свойством диагональной доминантности, что затрудняет использование методов синтеза многомерных систем. В связи с этим при анализе объекта управления и синтеза регулятора перейдем к иному ортогональному базису и исследуем свойства модифицированной передаточной матрицы. Для этого перемножим матрицу комплексных передаточных функций системы (3) и соответствующие вектор-функции

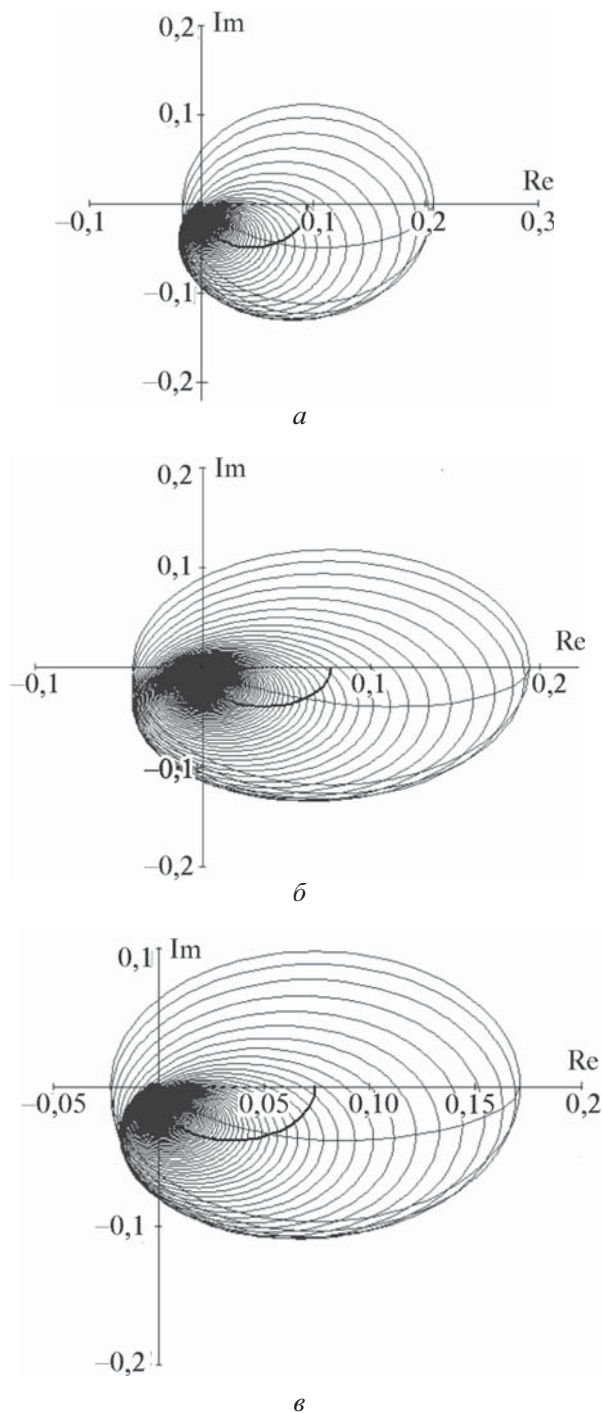


Рис. 2. Спектры Гершгорина для первой (а), второй (б) и третьей (в) зон управления

$C_i(x)$, представленные с учетом граничных условий в виде:

в случае закрытых створок

$$C_i(x) = A \cos(\Psi_i, x), \quad (4)$$

$$\Psi_i = \frac{\pi i}{L_x} \quad i = \overline{1, 3}; \quad 0 < x < L_x,$$

в случае открытых створок

$$C_i(x) = A \sin(\Psi_i, x), \quad (5)$$

$$\Psi_i = \frac{\pi i}{L_x} \quad i = \overline{1, 3}; \quad 0 < x < L_x,$$

где L_x – длина туннельной печи; i – номер моды входного воздействия; Ψ_i – угол, зависящий от моды входного воздействия и координат расположения датчиков в туннельной печи; A – амплитуда возмущающего воздействия.

В результате с учетом координат расположения нагревательных элементов получим следующие вектор-функции по формуле (4):

$$C_1(x) = \begin{bmatrix} 0,983 \\ 0 \\ -0,966 \end{bmatrix}, \quad C_2(x) = \begin{bmatrix} 0,933 \\ -1 \\ 0,866 \end{bmatrix},$$

$$C_3(x) = \begin{bmatrix} 0,852 \\ 0 \\ -0,707 \end{bmatrix}.$$

Результаты вычислений показаны на рис. 3.

Из расчетов видно, что преобразованная матрица имеет улучшенные свойства, которые необходимы для синтеза пространственного регулятора.

Модифицируем передаточные функции объекта с учетом полученных спектров Гершгорина новой матрицы комплексных передаточных функций. Далее по модифицированным передаточным функциям построим логарифмические амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики.

Логарифмические частотные характеристики представлены на рис. 4 и построены по формулам:

$$L_1(\omega) = 20 \lg \left(\sqrt{(\operatorname{Re}(W_{11}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{11}(\omega)))^2} + R_1 \right), \quad R_1 = M_{12}(\omega) + M_{13}(\omega),$$

$$M_{12} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{12}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{12}(\omega)))^2}, \quad M_{13} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{13}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{13}(\omega)))^2},$$

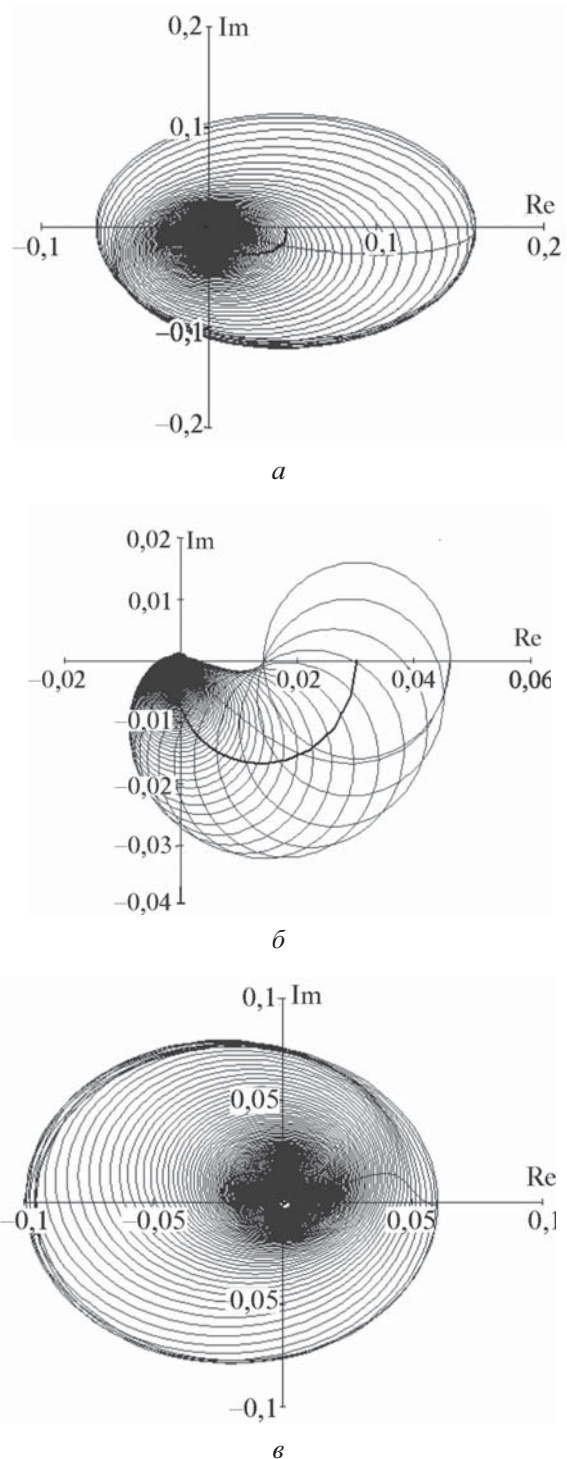


Рис. 3. Спектры Гершгорина для первой $C_1(x)$ (а), второй $C_2(x)$ (б) и третьей $C_3(x)$ (в) мод входного воздействия

$$L_2(\omega) = 20 \lg \left(\sqrt{(\operatorname{Re}(W_{22}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{22}(\omega)))^2} + R_2 \right), \quad R_2 = M_{21}(\omega) + M_{23}(\omega),$$

$$M_{21} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{21}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{21}(\omega)))^2}, \quad M_{23} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{23}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{23}(\omega)))^2},$$

$$L_3(\omega) = 20 \lg \left(\sqrt{(\operatorname{Re}(W_{33}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{33}(\omega)))^2} + R_3 \right), \quad R_3 = M_{31}(\omega) + M_{32}(\omega),$$

$$M_{31} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{31}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{31}(\omega)))^2}, \quad M_{32} = \sqrt{(\operatorname{Re}(W_{32}(\omega)))^2 + (\operatorname{Im}(W_{32}(\omega)))^2},$$

где $W_{11}(\omega) - W_{33}(\omega)$ – передаточные функции модифицированной матрицы.

На рис. 4 введены обозначения функций $\varphi_1(\omega), \varphi_2(\omega), \varphi_3(\omega)$:

$$\varphi_1(\omega) = \arctg \frac{\operatorname{Im}(W_{11}(\omega))}{\operatorname{Re}(W_{11}(\omega))} - \tau_{11}\omega;$$

$$\varphi_2(\omega) = \arctg \frac{\operatorname{Im}(W_{22}(\omega))}{\operatorname{Re}(W_{22}(\omega))} - \tau_{22}\omega;$$

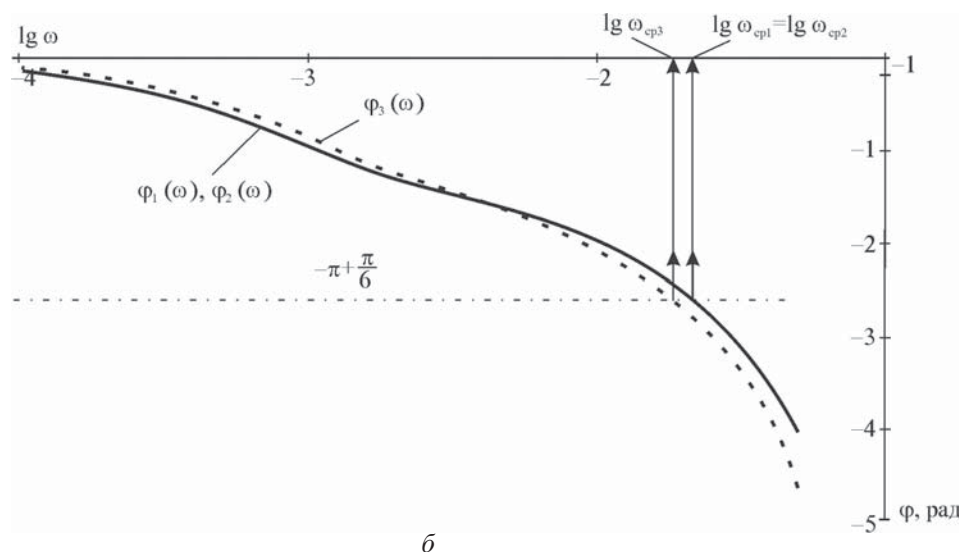
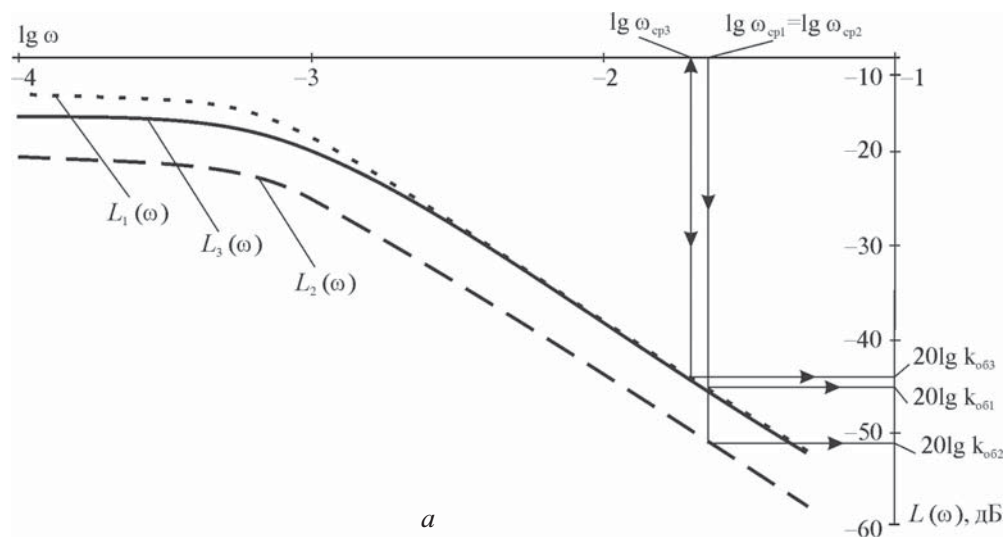


Рис. 4. Логарифмические амплитудно-частотные (а) и фазочастотные (б) характеристики для трех мод входного воздействия:

$L(\omega)$ – амплитуда сигнала; φ – угол сдвига фазы сигнала между фазами входного и выходного сигналов; величины с индексами 1, 2, 3 относятся к первой, второй и третьей моде соответственно

$$\varphi_3(\omega) = \arctg \frac{\operatorname{Im}(W_{33}(\omega))}{\operatorname{Re}(W_{33}(\omega))} - \tau_{33}\omega,$$

где τ_{11} , τ_{22} , τ_{33} – время запаздывания в передаточных функциях матрицы.

Синтез распределенного регулятора

Используем полученные частотные характеристики для определения коэффициентов распределенного высокоточного регулятора (РВР) [4]. Передаточная функция данного регулятора имеет вид:

$$W(G, s) = E_1 \left(\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{G}{n_1} \right) + E_2 \left(\frac{n_2 - 1}{n_2} + \frac{G}{n_2} \right) s + E_4 \left(\frac{n_4 - 1}{n_4} + \frac{G}{n_4} \right) \frac{1}{s}, \quad (6)$$

где G – обобщенная координата; E_1, n_1 – коэффициенты для усилительного пространственного звена; E_2, n_2 – коэффициенты для дифференциального пространственного звена; E_4, n_4 – коэффициенты для интегрального пространственного звена; s – оператор Лапласа

Чтобы реализовать регулятор с помощью ПЛК, необходимо вычислить коэффициенты $E_1, E_2, E_4, n_1, n_2, n_4$. Для этого из рис. 4, а с учетом принятого запаса устойчивости по фазе ($\varphi = -\pi + (\pi/6) = \Delta\varphi$) определим частоты среза для разных мод входных воздействий: $\omega_{cp1} = 0,021$; $\omega_{cp2} = 0,021$; $\omega_{cp3} = 0,019$, а затем из рис. 4, б – модули коэффициентов передачи объекта на частотах среза:

$$k_{o61} = 5,705 \cdot 10^{-3}; k_{o62} = 2,852 \cdot 10^{-4};$$

$$k_{o63} = 6,414 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициенты усиления регулятора по соответствующим модам входного воздействия определим по формуле [5]

$$k_{yi} = \frac{1}{k_{o6i}} \text{ при } i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

и получим:

$$k_{y1} = 175,3; k_{y2} = 350,6; k_{y3} = 155,9.$$

Для определения коэффициентов E_1 и n_1 по первым двум модам входного воздействия необходимо решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} k_{y1} = E_1 \left(\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{G_1}{n_1} \right), \\ k_{y2} = E_1 \left(\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{G_2}{n_1} \right), \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{где } G_1 = \left(\frac{\pi}{L_x} \right)^2; G_2 = \left(\frac{2\pi}{L_x} \right)^2.$$

Решив данную систему уравнений, получим

$$E_1 = 132,4; n_1 = 8,75.$$

Затем, используя формулу [5]

$$T_{\text{инт}i} = \frac{1}{k_{yi} \omega_{cpi}}, \quad (9)$$

определим соответствующие постоянные времени интегрирования:

$$T_{\text{инт}1} = 0,265; T_{\text{инт}2} = 0,133; T_{\text{инт}3} = 0,343.$$

Постоянные времени дифференцирования, вычисленные по формуле [5]

$$T_{\text{диф}i} = \frac{K_{yi}}{\omega_{cpi}}, \quad (10)$$

составляли:

$$T_{\text{диф}1} = 8154; T_{\text{диф}2} = 16\,310; T_{\text{диф}3} = 8340.$$

Аналогично для определения коэффициентов E_2 и n_2 через постоянные времени дифференцирования получим систему уравнений

$$\begin{cases} T_{\text{диф}1} = E_2 \left(\frac{n_2 - 1}{n_2} + \frac{G_1}{n_2} \right); \\ T_{\text{диф}2} = E_2 \left(\frac{n_2 - 1}{n_2} + \frac{G_2}{n_2} \right). \end{cases} \quad (11)$$

Из данной системы уравнений определили $E_2 = 6141; n_2 = 8,71$.

Для определения коэффициентов E_4 и n_4 через постоянные времени интегрирования получим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{1}{T_{\text{инт}1}} = E_4 \left(\frac{n_4 - 1}{n_4} + \frac{G_1}{n_4} \right); \\ \frac{1}{T_{\text{инт}2}} = E_4 \left(\frac{n_4 - 1}{n_4} + \frac{G_2}{n_4} \right). \end{cases} \quad (12)$$

Решив данную систему уравнений, получили $E_4 = 2,849; n_4 = 8,799$.

Реализовав РВР на лабораторном комплексе с помощью ПЛК, получили следующий переходной процесс (рис. 5).

Обсуждение результатов

Как видно из рис. 5, перерегулирование достигает 35 %, статическая ошибка составляет 8 °С, а размах колебаний температуры $\pm 7,5$ °С. Такой результат не может считаться удовлетворительным. Если параметры туннельной печи (постоянные времени по зонам) изменяются в

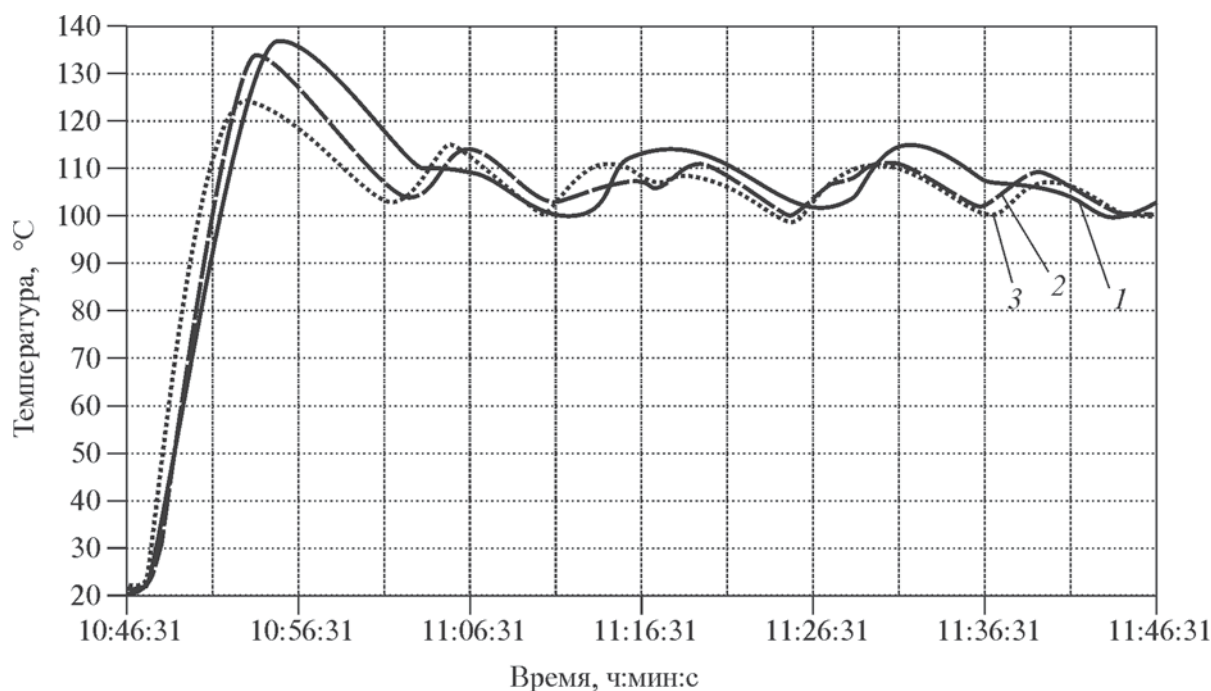


Рис. 5. Переходной процесс в зонах туннельной печи:

1–3 – изменение температуры в первой, второй и третьей зонах туннельной печи

широких пределах или не имеют однозначного точного определения, то согласно рекомендациям работы [4] следует изменить частоты среза для определения постоянных времени интегрирования и времени дифференцирования.

При определении постоянных времени интегрирования и времени дифференцирования частоту среза необходимо сдвинуть соответственно влево и вправо от частот среза, определенных выше. В связи с этим изменим частоту для точек перегиба (так называемую зону ΔG) логарифмической амплитудно-частотной характеристики регулятора относительно частот среза объекта для первой и второй мод. При определении постоянной времени интегрирования по формуле (9) частоты среза для первой и второй мод примем равными: $\omega_{ср1и} = 0,0147$; $\omega_{ср2и} = 0,0147$.

При определении постоянной времени дифференцирования по формуле (10) частоты среза для первой и второй мод примем равными: $\omega_{ср1д} = 0,0273$; $\omega_{ср2д} = 0,0273$. В соответствии с новыми принятыми частотами среза определим постоянные времени интегрирования и времени дифференцирования и решим системы уравнений (11) и (12). Затем определим новые значения коэффициентов E_2, n_2, E_4, n_4 : $E_2 = 4850$; $n_2 = 8,75$; $E_4 = 0,05$; $n_4 = 4,96$. Для этого случая получим переходной процесс, представленный на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что переходной процесс в зонах туннельной печи достиг приемлемых результатов. Перерегулирование составляет не более 30 %, статическая ошибка практически отсутствует, а колебания температуры в установившемся режиме составляют не более 1 °C.

Заключение

Разработанный лабораторный комплекс дает возможность решать задачи учебного и научного процессов. Использование КЛК позволяет студентам получать опыт и знания по изученным методикам, а также наглядные результаты в реальном масштабе времени в виде таблиц, диаграмм, графиков. Лабораторный комплекс позволяет проверять новые методы синтеза и проектирования систем, а также проводить исследования и проверку новых научно-технических идей. В данной работе приведено описание результатов исследований новых методов синтеза пространственно распределенных регуляторов для туннельных печей с подтверждением теоретического положения о необходимости расширения зоны минимального коэффициента усиления пространственного регулятора (зона ΔG) при наличии повышенных шумов в системе сбора информации или при наличии нестабильных параметров объекта. Пространственно распределенные регуляторы, реализованные в КЛК, должны создаваться с учетом расширенной зоны ΔG .

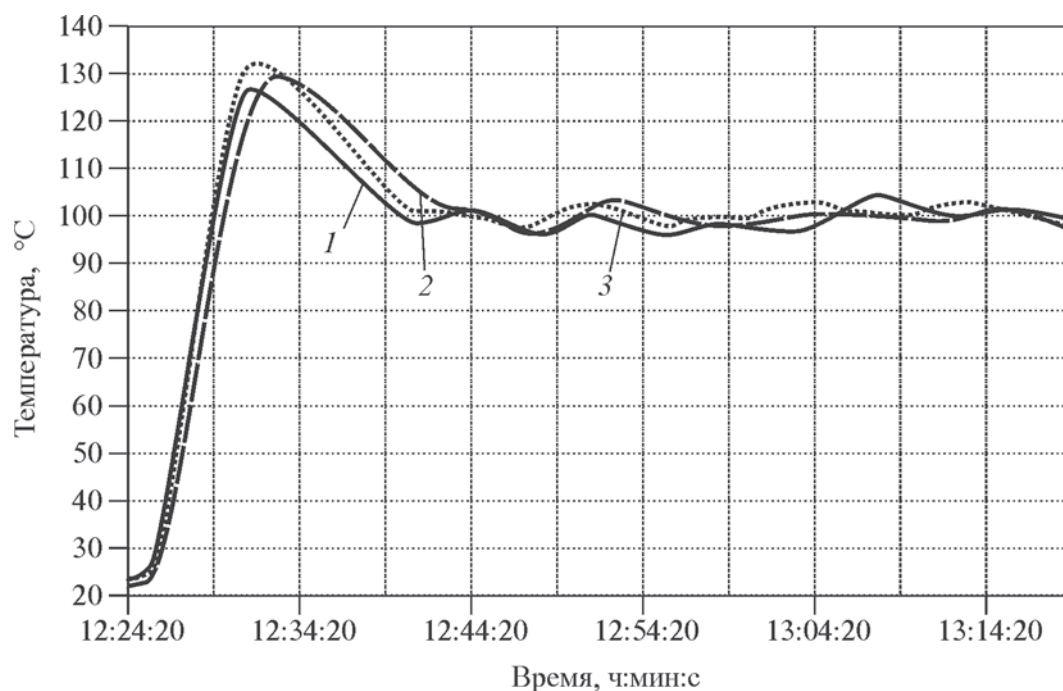


Рис. 6. Переходной процесс с расширенной зоной ΔG :
1–3 – то же, что и на рис. 5

Список литературы

1. Айзерман М.А. Лекции по теории автоматического управления. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1958. – 520 с.
2. Луконин В.Н., Шатров В.Н., Комфер Г.М. Теплотехника: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 671с.
3. Зайцев С.В., Зайцев В.С. Моделирование тепловой камеры лабораторного комплекса // Управление и информационные технологии: межвуз. науч. сб.: – Пятигорск: РИА КМВ, 2010. – 216 с.
4. Першин И.М. Анализ и синтез систем с распределенными параметрами. – Пятигорск: РИА КМВ, 2007. – 244 с.
5. Воронов А.А. Теория автоматического управления. Ч. 2 – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.

Материал поступил в редакцию 16.11.2011

**ЗАЙЦЕВ
Сергей
Владиленович**

E-mail: zaytsev.kmv@gmail.com
Тел.: (8793) 339-99-42

Преподаватель кафедры технологических машин и оборудования Пятигорского государственного гуманитарно-технологического университета. Сфера научных интересов – системы управления техническими системами. Автор 20 публикаций. Имеет авторское свидетельство СССР на изобретение.