

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ В ПАРОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ

А.Л.ЛЯШЕНКО, канд. техн. наук, доцент, akuna_matata_kmv@mail.ru

И.М.ПЕРШИН, д-р техн. наук, профессор, ivmp@yandex.ru

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

В статье рассмотрено устройство и принцип действия парогенераторной установки на примере активной зоны реактора РБМК-1000. Представлено описание оборудования, входящего в состав контуров многократной принудительной циркуляции (КМПЦ), образующих реактор. Подробно рассмотрен процесс регулирования расхода теплоносителя в технологическом канале реактора с помощью запорно-регулирующих клапанов (ЗРК) и обоснована необходимость автоматизации данного процесса.

Сформулирована и решена задача синтеза системы автоматического управления ЗРК. Рассмотрена возможность использования аппарата расширенных частотных характеристик (РЧХ) для частотного анализа систем с распределенными параметрами (СРП). Сформулирована и решена задача по разработке методики расчета настроек распределенного ПИД-регулятора. Разработано программное обеспечение для моделирования тепловых полей в активной зоне реактора.

Ключевые слова: парогенератор, системы с распределенными параметрами, расширенные частотные характеристики, расширенный пространственный годограф, передаточные функции распределенных объектов, показатель колебательности, системный анализ, управление.

Введение. В наше время большое распространение получили непрерывные технологические процессы большой мощности со сложными комплексами энергетических и материальных потоков. Практически все реальные объекты управления характеризуются определенной пространственной протяженностью и этим нельзя пренебречь, не рискуя потерять при этом качество. Состояние таких объектов зависит не только от времени (как обычно в сосредоточенных системах), они неразрывно связаны с пространственными координатами. К системам с распределенными параметрами относится широкий круг управляемых объектов. Это и традиционные технологии в самых различных областях техники, и новейшие технологии, которые часто не могут быть реализованы с требуемыми показателями без построения соответствующих систем управления. Поэтому возникает необходимость исследования, анализа и синтеза систем с распределенными параметрами.

Рассмотрим в качестве примера реактор РБМК-1000 Ленинградской АЭС как объект с распределенными параметрами.

Атомная электростанция представляет собой систему разнородных элементов оборудования со сложной схемой технологических связей. В такой системе осуществляются непрерывные взаимосвязанные процессы преобразования, передачи и перераспределения различных видов энергии, изменения параметров состояния и расходов рабочих тел и теплоносителей. Всякое изменение любого параметра или характеристики элемента оборудования в той или иной степени влияет на параметры, характеристики и показатели всей системы. Очень важно, что термодинамические и расходные параметры системы могут изменяться лишь в пределах физически возможных и технически осуществимых состояний энергоносителей и конструкций, а также в пределах технически допустимых эксплуатационных состояний материалов оборудования.

Для обеспечения безопасной эксплуатации АЭС проводится постоянная диагностика состояния реакторной установки. Для мониторинга параметров реактора АЭС предлагается рассматривать активную зону реактора как объект с распределенными параметрами. С помощью теории СРП могут быть качественно улучшены анализ и управление объектом, так как повышается точность при прогнозировании поведения, моделировании, расчете харак-

теристик рассматриваемой системы. Технологический процесс требует обеспечения управления температурными полями в активной зоне реактора, поэтому задача разработки методик синтеза распределенных регуляторов для систем управления объектами с распределенными параметрами и разработка систем автоматического управления запорно-регулирующими клапанами, которые в настоящий момент управляются вручную, становится все более актуальной.

Описание объекта и постановка задачи. Рассмотрим реакторную установку на примере РБМК-1000 (реактор большой мощности канальный) Ленинградской атомной электростанции. Реактор РБМК-1000 имеет две петли контура многократной принудительной циркуляции (КМЦ), расположенные симметрично относительно осевой плоскости реактора.

Каждая петля включает два барабана-сепаратора и четыре циркуляционных насоса, прокачивающих воду через технологические каналы. При прохождении через активную зону вода нагревается до температуры кипения. В верхней части активной зоны образуется пар. Пароводяная смесь отводится в барабаны-сепараторы, где разделяется на воду, которая возвращается на вход реактора и сухой насыщенный пар (температура ~ 284 °С) под давлением 7 МПа, поступающий на два турбогенератора электрической мощностью 500 МВт. Отработанный пар конденсируется, после чего, пройдя через регенеративные подогреватели и деаэрагор, подается с помощью питательных насосов (ПЭН) в КМЦ [1].

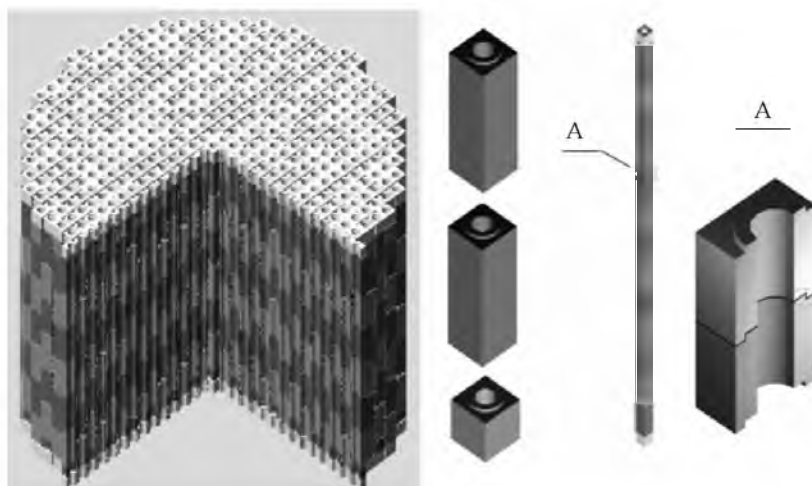
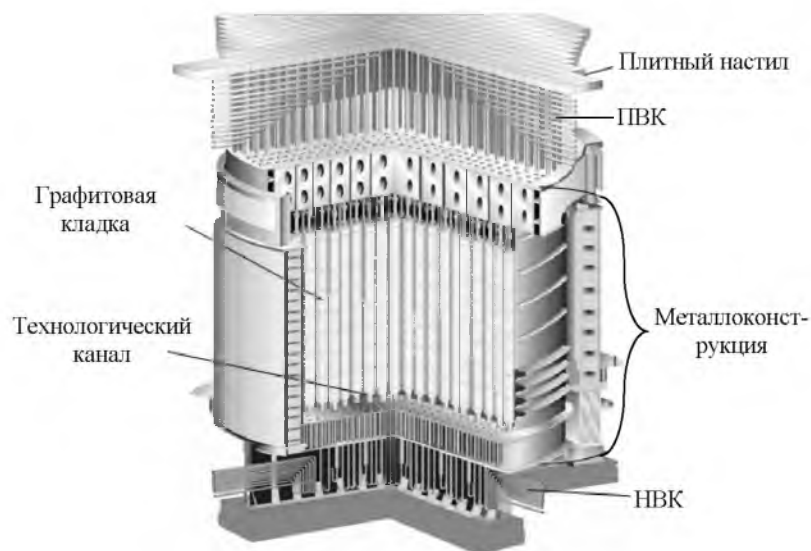


Рис. 1. Активная зона реактора и графитовая кладка

Данный реактор представляет собой систему, в которой в качестве замедлителя используется графит, в качестве теплоносителя – легкая вода, в качестве топлива – диоксид урана UO_2 с добавкой оксида эрбия Er_2O_3 . Активная зона РБМК представляет собой графитовую кладку цилиндрической формы, набранную из вертикальных графитовых колонн (рис.1). Внутри графитовых колонн имеются отверстия, через которые проходят технологические и специальные каналы [1].

В технологические каналы устанавливаются тепловыделяющие сборки (ТВС), состоящие из двух пучков ТВЭЛов. Геометрическое расположение графитовой кладки, которая вместе с топливными каналами образует активную зону, показано на рис.1.

Постоянное поддержание необходимого охлаждения активной зоны реактора РБМК – главная

задача безопасной эксплуатации. Подача теплоносителя в топливные каналы реактора для отвода тепла от тепловыделяющих сборок и от графитовой кладки осуществляется при помощи КМЩЦ. На станциях с реакторами канального типа существует система регулирования расходов теплоносителя в технологических каналах реактора. Эта система представляет собой комплект устройств регулирования расхода в каждом технологическом канале (ТК) и предназначена для дистанционного регулирования расхода. Устройства регулирования состоят из запорно-регулирующего клапана (ЗРК), привода и указателя положения. ЗРК устанавливаются в помещении водяных коммуникаций на групповых раздаточных коллекторах на входе в трубопроводы водяных коммуникаций, по которым осуществляется подвод теплоносителя в каждый канал. С помощью привода запорно-регулируемый клапан соединяется с указателем положения, установленным на бетонном перекрытии пола помещения указателей положения клапанов, откуда специальным ключом осуществляется изменение степени открытия ЗРК.

Для измерения расхода воды в каналах реактора используются шариковые расходомеры типа Шторм-32М и Шторм-8М, установленные на трубопроводе подвода воды к каждому каналу. Для измерения температуры графитовой кладки применяются трехзонные и пятизонные блоки термодатчиков, обеспечивающие измерение температуры графита в трех или пяти точках по высоте активной зоны. Термопреобразователи находятся в 17 температурных каналах, установленных в отверстиях в углах графитовых колонн кладки.

Основным условием теплотехнической надежности работы кипящего канального реактора РБМК является обеспечение бескризисной работы топливных каналов активной зоны. Мощность ТК и степень открытия ЗРК являются определяющими факторами, влияющими на расходы теплоносителя и запас до кризиса теплообмена в топливных каналах реактора. Критическая мощность ТК, при превышении которой может возникнуть кризис теплообмена, зависит от величины расхода воды через данный ТК, от давления и недогрева теплоносителя на входе ТК.

Если известна мощность каждого ТК-реактора, то для каждого ТК можно было бы установить степень открытия ЗРК так, чтобы расход соответствовал заданной величине коэффициента запаса до кризиса теплообмена. Однако система регулирования расхода через каналы реактора РБМК не предназначена работать в таком режиме. Регулирование расхода в ТК на мощности выполняется вручную. Операцию регулировки расхода воды в ТК производит оператор реакторного отделения. Управление запорно-регулирующим клапаном – довольно сложная и очень ответственная операция.

Регулирование расхода теплоносителя в технологическом канале реактора состоит из следующих основных этапов:

1) системой «Скала-микро» проводится автоматический периодический опрос всех каналов измерения расхода в ТК и сравнение результатов измерения с уставками снижения и повышения расхода воды (СРВ и ПРВ);

2) сигнализация отклонений за уставки СРВ и ПРВ выводится на мнемодисплей каналов, установленное на блочном щите управления (БЩУ) в рабочей зоне оператора реактора;

3) ведущий инженер по управлению реактором (ВИУР) принимает решение и отдает распоряжение регулировки закрытия ЗРК оператору реакторного отделения;

4) оператор реакторного отделения вручную регулирует закрытие ЗРК.

Рассмотренный алгоритм реализован в системе управления ЗРК, структурная схема которой представлена на рис.2.

Предлагается автоматизировать процесс управления ЗРК и приводить его в действие с помощью шагового двигателя. Управление исполнительным механизмом необходимо осуществлять с помощью распределенного высокоточного регулятора (РВР). Установка распределенного высокоточного регулятора значительно повысит скорость отклика системы при возможных отклонениях: снижении или превышении расхода воды через активную зону реактора.

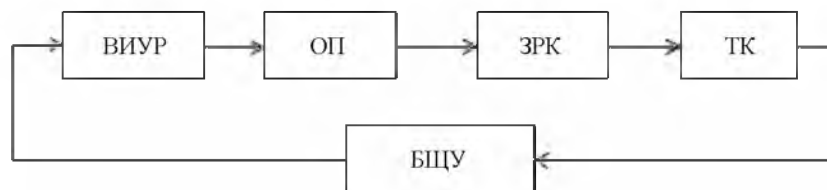


Рис.2. Структурная схема действующего управления ЗРК на АЭС

Разработка системы управления. Рассмотрим реактор атомной электростанции как систему с распределенными параметрами. Применим методы теории СРП для анализа процессов в активной зоне и синтеза систем управления этими процессами.

Системы с распределенными параметрами описываются не дифференциальными уравнениями обыкновенных производных (как системы с сосредоточенными параметрами), а более сложными математическими соотношениями. Это прежде всего дифференциальные уравнения в частных производных, интегродифференциальные, дифференциально-разностные уравнения, а также системы, включающие одновременно уравнения различной математической природы (например, уравнения электромагнитного поля и др.). Мониторинг параметров реакторной установки связан с необходимостью анализа непрерывных физических процессов, математическим описанием которых являются дифференциальные уравнения в частных производных вместе с краевыми условиями. Анализ течения жидкого теплоносителя (воды) проводится на основе уравнений Навье – Стокса.

Для решения поставленной задачи с помощью дифференциальных уравнений в частных производных была разработана математическая модель объекта управления. Одно из дифференциальных уравнений теплопроводности применительно к графитовой кладке [2] имеет вид

$$\frac{\partial T_{p,f}(x,y,z,t)}{\partial t} = a_r \left[\frac{\partial^2 T_{p,f}(x,y,z,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{p,f}(x,y,z,t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_{p,f}(x,y,z,t)}{\partial z^2} \right] + \frac{a_r W_r}{\lambda_r V_r}, \quad (1)$$

где a_r – коэффициент температуропроводности графита; x, y, z – пространственные координаты; W_r – мощность, выделяемая при торможении нейтронов; λ_r – коэффициент теплопроводности графита; V_r – объем графитовой кладки.

Условия баланса массы, энергии и количества движения для однофазного течения в трубках технологического канала (зона подогрева) в результате преобразований можно приближенно записать в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial y} &= \frac{\partial \rho}{\partial t}, \\ \rho \frac{\partial h}{\partial t} + M \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\partial P}{\partial t} - \frac{M \partial P}{\rho \partial y} &= q'_d; \\ \frac{\partial M}{\partial t} + 2 \frac{M \partial M}{\rho \partial y} - \frac{M^2 \partial \rho}{\rho^2 \partial y} + \rho g \cos \beta + 10^3 \frac{\partial P}{\partial y} + f \frac{M^2}{\rho} &= 0, \end{aligned}$$

где $M(y, t) = \rho w$ – массовый расход, w – скорость движения жидкости; $\rho(y, t) = \rho(P, h)$ – плотность жидкости; $h(y, t)$ – энтальпия жидкости; $P(y, t)$ – давление; $q'_d = \pi d \alpha (\Theta - \vartheta)$ – внутренний тепловой поток на единицу длины трубки, передаваемый рабочему веществу, d – внутренний диаметр трубки; $\alpha(P, h, M, q)$ – коэффициент теплообмена; q – тепловой поток на единицу длины трубки, Θ – температура внутренней поверхности стенки трубки; $\vartheta(P, h)$ –

температура жидкости; g – ускорение свободного падения; β – угол между трубкой парогенератора и вертикалью; f – коэффициент потери давления.

Дифференциальные уравнения теплопроводности применительно к циркониевой трубе при $y_1 < y < y_2, R_2 < R < R_3$ имеют вид

$$\frac{\partial T_{p,f}(y, \varphi, R, t)}{\partial t} = a_{ц} \left[\frac{\partial^2 T_{p,f}(y, \varphi, R, t)}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial T_{p,f}(y, \varphi, R, t)}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 T_{p,f}(y, \varphi, R, t)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_{p,f}(y, \varphi, R, t)}{\partial y^2} \right], \quad (2)$$

где $a_{ц}$ – коэффициент температуропроводности циркония.

Разработанная система дифференциальных уравнений отражает общий характер процесса. Для получения полной математической модели объекта, соответствующей конкретной задаче, необходимо задание условий однозначности.

При моделировании рассматривались тепловые процессы, протекающие в графитовой кладке, состоящей из графитовых блоков. В технологическом канале располагается тепловыделяющая сборка, омываемая теплоносителем. Положения ЗРК будем рассматривать как функции входа, а контрольные точки во внутренних углах графитовых кладок как функции выхода. Эти точки выбраны не случайно. В реакторе в этих точках на стыках графитовых блоков расположены пятizonные термопары – датчики измерения температуры графита.

Для расчета тепловых полей было разработано специальное программное обеспечение. В качестве системы программирования был выбран язык C++ и среда для разработки C++ Builder (рис.3).

Результаты моделирования были проверены с помощью информационно-вычислительной системы «Скала-микро» Ленинградской атомной электростанции, обеспечивающей контроль над работой реактора, контроль и представление информации по энергоблоку, а также по системам защиты и управления.

На рис.4 представлен фрагмент видеокдра с демонстрацией температуры на входе в канал.

Значения, полученные путем моделирования, совпали с показаниями информационно-вычислительной системы «Скала-микро». Результаты моделирования показали, что переходные процессы обладают заданными показателями качества. Полученные результаты свидетельствуют об адекватности разработанной математической модели.

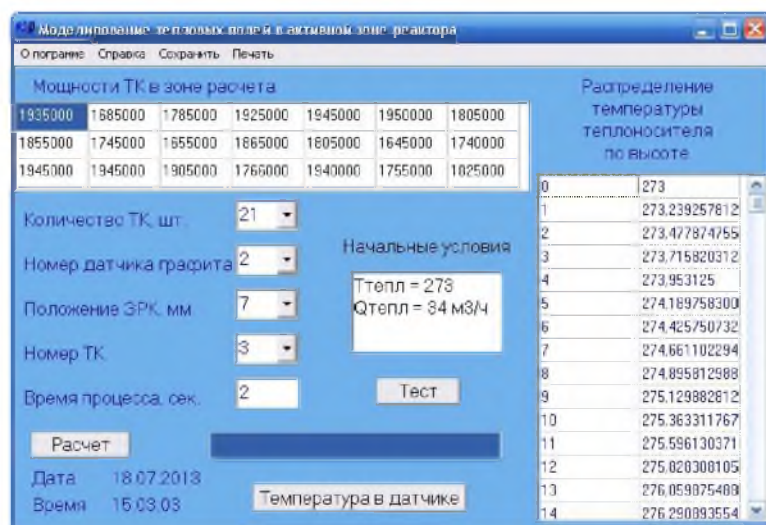


Рис.3. Окно программы

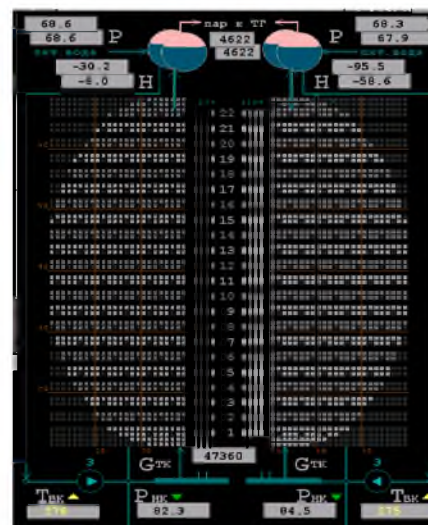


Рис.4. Фрагмент видеокдра

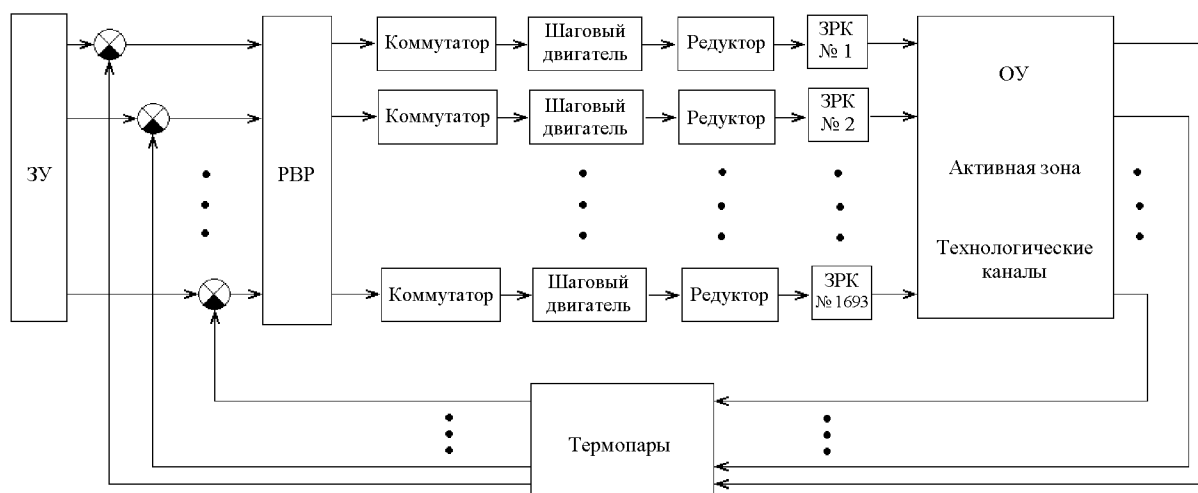


Рис.5. Структурная схема предложенного управления ЗРК

На рис.5 представлена структурная схема системы управления ЗРК с применением РВП.

Рассмотрим анализ технологических процессов с применением аппарата расширенных частотных характеристик, адаптированного для анализа распределенных систем управления.

Расширенными частотными характеристиками называются выражения для передаточной функции, для которых переменная p заменяется уравнением границы заданной колебательности. Для получения РЧХ следует заменить переменную p в передаточной функции уравнением границы заданной колебательности:

$$p = \omega(j - m), \quad 0 \leq \omega \leq \infty.$$

Анализ объекта управления. Исследования [4] показывают, что многие процессы могут быть аппроксимированы передаточными функциями по каждой η -й моде входного воздействия вида

$$W_{\eta}(p) = \frac{K_{\eta}}{T_{\eta}p + 1} e^{-\tau_{\eta}p}, \quad (3)$$

где p – оператор Лапласа, K_{η} , T_{η} , τ_{η} – параметры, определяемые с использованием результатов эксперимента.

Для проведения частотного анализа разложим входное воздействие $U(x, z, \tau)$ в ряд Фурье. Учитывая граничные условия, входное воздействие представим в виде

$$U(x, z, \tau) = L_3 + 0,1L_s \sin(\Psi_{\eta}x_i) \sin(\bar{\Psi}_{\gamma}z_j), \quad (4)$$

где $L_3 = 0,5(L_s)$; L_s – размер внутреннего диаметра трубы; L_3 – текущее положение заслонки;

$$\Psi_{\eta} = \pi \frac{\eta}{x_L}; \quad \bar{\Psi}_{\gamma} = \pi \frac{\gamma}{z_L}. \quad (5)$$

Реакцию объекта на каждую составляющую ряда (4) запишем в виде

$$T_{\eta,\gamma}(x, y, z, \tau) = H_{\eta,\gamma}(y, \tau) \sin(\Psi_{\eta}x) \sin(\bar{\Psi}_{\gamma}z). \quad (6)$$

Для двух пространственных мод входного воздействия ($\eta = 1, 3$) были проведены экспериментальные исследования и вычислены значения параметров:

$$K_1 = 1,0257; \quad T_1 = 0,7125; \quad \tau_1 = 0,1002;$$

$$K_3 = 1,0392; \quad T_3 = 0,6232; \quad \tau_3 = 0,1002.$$

Для частотного анализа объекта положим в (1) $p = \omega(j - m)$. При изменении значения ω от 0 до ∞ , а значения G от G_n до ∞ вектор $W(G, j\omega, m)$ в пространстве $\text{Re}(W)$, $\text{Im}(W)$, G опишет поверхность, которую назовем расширенным пространственным годографом (РПГ) (рис. 6).

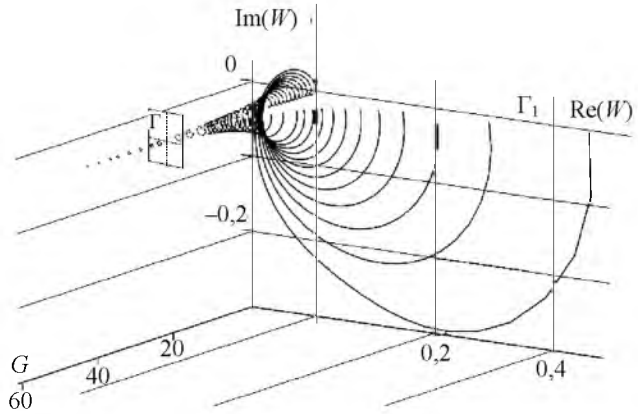


Рис. 6. Расширенный пространственный годограф

Для определения частотной характеристики объекта, по заданной (η, γ, ξ) пространственной гармонической составляющей входного воздействия, необходимо расечь пространственный годограф плоскостью Γ , параллельной плоскости Γ_1 и проходящей через точку с координатами:

$$\text{Re}(W) = 0, \quad \text{Im}(W) = 0, \quad G = \tilde{G}(\eta, \gamma, \xi).$$

След пересечения плоскости Γ и пространственного годографа будет представлять искомую частотную характеристику [3].

Произведем построение расширенных логарифмических амплитудно-частотных характеристик (РЛАЧХ) и расширенных фазочастотных характеристик (РФЧХ) по $(\eta = 1, 3)$ модам входного воздействия для исследуемого и рассмотренного выше объекта.

Полученные расширенные частотные характеристики используем для синтеза распределенного регулятора.

Синтез системы управления. Для системы управления объектом, передаточные функции которого по выбранным пространственным модам имеют вид (3), синтезирован распределенный ПИД-регулятор со следующими показателями: запас устойчивости по фазе $-\Delta\varphi \geq 0,5$; по модулю $-\Delta L \geq 10\text{db}$ значение параметров $\Delta = 0,7$.

Передаточная функция синтезируемого регулятора согласно [4] имеет вид

$$W(x, y, p) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \right] + E_4 \left[\frac{n_4 - 1}{n_4} - \frac{1}{n_4} \nabla^2 \right] \frac{1}{p} + E_2 \left[\frac{n_2 - 1}{n_2} - \frac{1}{n_2} \nabla^2 \right] p, \quad (7)$$

где E_1, E_2, E_4 – коэффициенты усиления; ∇^2 – лапласиан; n_1, n_2, n_4 – весовые коэффициенты.

Для частотного анализа объекта положим в (3) $p = \omega(j - m)$ и определим модуль M_η и фазу φ_η :

$$M_\eta(m, \omega) = \frac{k_n}{\sqrt{(1 - T_n m \omega)^2 + T_n^2 \omega^2}} e^{m\tau\omega}, \quad (8)$$

$$\varphi_\eta(m, \omega) = -\omega\tau_\eta - \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{T_n m \omega - 1}{T_n \omega}\right). \quad (9)$$

Положим, что фазовый сдвиг, вносимый в систему регулятором, равен нулю. Тогда для определения частот среза модуля разомкнутой системы получим следующие выражения:

$$-\pi + \Delta\varphi_\eta = W(m, j\omega, \eta), \quad (10)$$

$$-\pi + \Delta\varphi_\eta = -\omega\tau_\eta - \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{T_n m \omega - 1}{T_n \omega}\right), \quad (11)$$

где $W(m, j\omega, \eta)$ – комплексный передаточный коэффициент объекта управления, определенный численным способом.

Подставляя значение T_η , τ_η и $\Delta\varphi_\eta = \pi/6$ в (11), определим значение частот среза модуля: $\eta = 1$, $\omega_1 = 1,13334$, $\eta = 3$, $\omega_1 = 1,13494$.

Используя полученные соотношения и значения частот среза модуля, проведем расчет настроек распределенного регулятора по методике, которая изложена в [4].

Запишем передаточную функцию распределенного ПИД-регулятора:

$$W(x, y, s) = 1,7572 \left[\frac{1827 \cdot 7125}{1828 \cdot 7125} - \frac{1}{1828 \cdot 7125} \nabla^2 \right] + 2,49812 \left[\frac{2855 \cdot 1728}{2856 \cdot 1728} - \frac{1}{2856 \cdot 1728} \nabla^2 \right] \frac{1}{s} + 0,0207s. \quad (12)$$

Заключение. При таком принципе управления расходом теплоносителя автоматизируется регулировка ЗРК, т.е. оперативный персонал проводит только контроль теплотехнических параметров и повышается скорость отклика системы при возможных отклонениях расхода воды через активную зону реактора. Регулирование и контроль расхода теплоносителя по каждому каналу позволит на выходе всех каналов получать одинаковые теплотехнические параметры и, соответственно, иметь минимально необходимый расход теплоносителя через реактор.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов М.А.* Канальный ядерный энергетический реактор РБМК / М.А.Абрамов, В.И.Авдеев, Е.О.Адамов; Под общ. ред. Ю.М.Черкашова. ГУП НИКИЭТ. М., 2006. 632 с.
2. *Ляшенко А.Л.* Математическое моделирование системы с распределенными параметрами на примере активной зоны реактора РБМК-1000: Материалы 4-й Междунар. научн. конференции «Системный синтез и прикладная синергетика» / А.Л.Ляшенко, С.Л.Морева. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. С.218-225.
3. *Ляшенко А.Л.* Частотный анализ объектов с распределенными параметрами с помощью расширенных частотных характеристик: Материалы 6-й научной конференции «Управление и информационные технологии» (УИТ – 2010). СПб, 2010. С. 65-70.
4. *Першин И.М.* Анализ и синтез систем с распределенными параметрами. Пятигорск: Рекламно-информационное агентство на КМВ, 2007. 244 с.

REFERENCES

1. *Abramov M.A., Avdeev V.I., Adamov E.O.* Kanal'nyj jadernyj jenergeticheskij reaktor RBMK (*Channel RBMK nuclear power reactor*). Ed. Ju.M.Cherkashova. GUP NIKIJeT. Moscow, 2006, p.632.
2. *Ljashenko A.L., Moreva S.L.* Matematicheskoe modelirovanie sistemy s raspredelennymi parametrami na primere aktivnoj zone reaktora RBMK-1000 (*Mathematical modeling of systems with distributed parameters by the example of the reactor core RBMK-1000*): Materialy 4-j Mezhdunar. nauchn. konferencii «Sistemnyj sintez i prikladnaja sinergetika»/ Taganrog: Izd-vo TTI JuFU, 2011, p.218-225.
3. *Ljashenko A.L.* Chastotnyj analiz ob'ektov s raspredelennymi parametrami s pomoshh'ju rasshirenyh chastotnyh harakteristik (*Frequency response analysis of objects with distributed parameters by means of expanded frequency characteristics*): Materialy 6-j nauchnoj konferencii «Upravlenie i informacionnye tehnologii» (UIT – 2010). St Petersburg, 2010, p.65-70.
4. *Pershin I.M.* Analiz i sintez sistem s raspredelennymi parametrami (*Analysis and synthesis of systems with distributed parameters*). Pjatigorsk: Reklamno-informacionnoe agentstvo na KMV, 2007, p.244.

DEVELOPMENT OF THE STEPPER MOTOR CONTROL SYSTEM IN STEAM GENERATING UNITS

A.L.LYASHENKO, *PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,*
akuna_matata_kmv@mail.ru

I.M.PERSHIN, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, ivmp@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The article deals with the design and operation of a steam generating unit through the example of the reactor core RBMK-1000 (High Power Channel-type Reactor). It contains the description of the equipment being a part of the multiple forced circulation circuits (MFCC), which form the reactor. Careful consideration is given to the process of controlling the coolant flow in the reactor fuel channels via shut-off control valve (SOCV) and the necessity of its (the process) automation.

The problem of SOCV automatic control system synthesis is formulated and solved. The possibility of using a device with extended frequency response (EFR) for a frequency response analysis of distributed parameter systems (DPS) is considered. The problem of developing a method for calculating the settings of the distributed PID-controller is formulated and solved. Software for the simulation of thermal field in the reactor core is developed.

Key words: steam generator, distributed parameter systems, extended frequency response characteristics, extended spatial hodograph, transfer functions of distributed objects, oscillation index, system analysis, control.