

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ АППАРАТОВ ФТОРИРОВАНИЯ И УЛАВЛИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

С.А. Байдали, В.Ф. Дядик, А.С. Юрков, Н.С. Криницын

ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», г. Томск



В работе представлены этапы синтеза каскадной двухконтурной системы автоматического управления комплексом аппаратов фторирования и улавливания производства гексафторида урана. Разработана и реализована методика расчета параметров настройки регуляторов внешнего и внутреннего контуров системы. Проведены компьютерные исследования качества управления разработанной системы с различными комбинациями регуляторов.

Ключевые слова: производство гексафторида урана; автоматизированная система управления; математическая модель.

Keywords: uranium hexafluoride production; automated control system; mathematical model.

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации существует только два предприятия, осуществляющие производство гексафторида урана: ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат» (АЭХК) и ОАО «Сибирский химический комбинат». На химическом заводе АЭХК реализован контейнерный способ перегрузки полупродуктов, а на сублиматном заводе СХК это производство является замкнутым посредством импульсного пневмотранспорта твердых полупродуктов, образующихся в аппарате улавливания, в аппарат фторирования. В связи с этим задача синтеза системы автоматического управления комплексом аппаратов фторирования и улавливания производства гексафторида урана на сублиматном заводе СХК является уникальной для Российской Федерации.

Проведение предлагаемых работ, ориентированных на предприятия ядерного топливного цикла, приобретает особую значимость в связи с тем, что они включены в перечень критических технологий Российской Федерации.

Использование результатов исследований, проводимых за рубежом, не представляется возможным, поскольку технологии в этой отрасли имеют принципи-

© С.А. Байдали, В.Ф. Дядик, А.С. Юрков, Н.С. Криницын, 2010

альные отличия, и существует информационный барьер, обусловленный требованиями нераспространения ядерных технологий.

Известные на сегодняшний день системы управления, функционирующие на предприятиях ЯТЦ, используются, в основном, как системы контроля технологических переменных и дистанционного управления.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В предлагаемой работе ставится задача синтеза системы автоматического управления (САУ) комплексом аппаратов фторирования и улавливания производства гексафторида урана на основе разработанных математических моделей аппарата улавливания [1] и всего производства гексафторида урана (ПГУ) [2], а также исследования разработанной системы на ее компьютерной модели.

Последующее внедрение предлагаемой системы позволит оптимизировать технологический процесс получения гексафторида урана за счет стабилизации основных технологических переменных производства гексафторида урана на заданных уровнях; повысить надежность и качество управления; увеличить межремонтный пробег аппаратов; снизить количество отходов; повысить уровень автоматизации производства.

На сублиматном заводе ОАО «СХК» используют технологическую схему прямого фторирования оксидов урана ядерной чистоты молекулярным фтором, минуя стадии восстановления высших оксидов урана водородом и гидрофторирования диоксида до тетрафторида урана, структурная схема которой приведена на рис. 1.

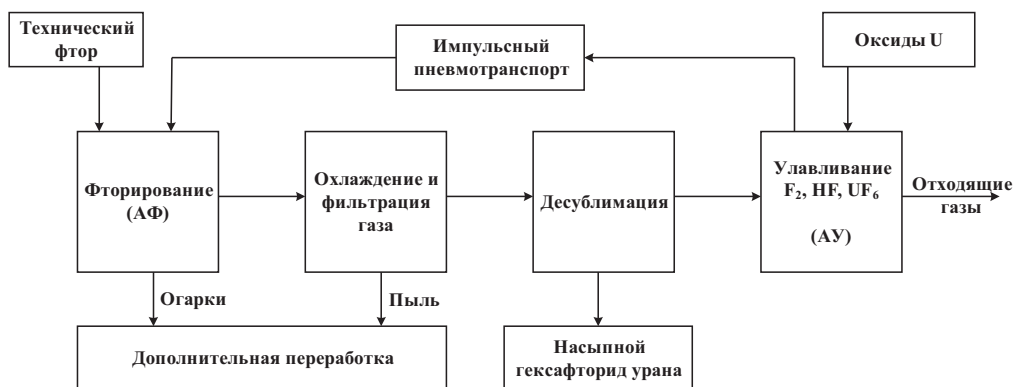


Рис. 1. Структурная схема производства гексафторида урана прямым фторированием высших оксидов молекулярным фтором

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Результаты проведенных исследований ПГУ в комплексе и подробного анализа каждого технологического процесса в отдельности [3] позволяют сделать вывод о невозможности создания независимых САУ аппаратами фторирования и улавливания, осуществляющих управление всем производством с требуемым качеством. Это в первую очередь связано с использованием импульсного пневмотранспорта для непрерывной передачи полупродуктов из АУ в АФ, что требует помимо удержания в заданных диапазонах управляемых координат АФ и АУ согласования загрузок твердого сырья в эти аппараты. Следовательно, необходимо синтезировать единую САУ ПГУ, основанную на принципе координации загрузок твердофазных компонентов в аппараты фторирования и улавливания, обеспечивающую удержание в заданном диапазоне концентрации избыточного фтора на выходе АФ и мак-

симальное улавливание ценных компонентов из технологического газа, поступающего на улавливание. При этом основной характеристикой технологического процесса улавливания является температура реакционного пространства АУ, разделенного по высоте на три зоны. Наиболее информативной переменной является температура второй зоны АУ. Технологическими переменными, определяющими характер протекания процесса, а соответственно и интенсивность тепловыделения в реакционном пространстве, являются расход твердого сырья в АУ и количество фтора, поступающего на улавливание. Расход твердого сырья в АУ не может выполнять функции управляющей переменной в проектируемой системе ввиду необходимости согласования загрузок в АФ и АУ. Тогда единственно возможным способом удержания температуры по зонам в регламентных диапазонах является изменение величины концентрации фтора на выходе АФ путем изменения частоты вращения шнека узла загрузки твердого сырья в АФ. Локальная САУ АФ формирует управляющее воздействие – проскок фтора – на АУ, что позволяет применить для управления температурой АУ дополнительный контур – САУ АУ.

Таким образом, САУ комплексом аппаратов фторирования и улавливания должна состоять из подсистемы согласования загрузок твердофазных компонентов в аппараты фторирования и улавливания и каскадной двухконтурной системы управления для удержания в заданном диапазоне концентрации избыточного фтора на выходе АФ и стабилизации температуры реакционной зоны АУ. Структурная схема данной системы управления представлена на рис. 2.

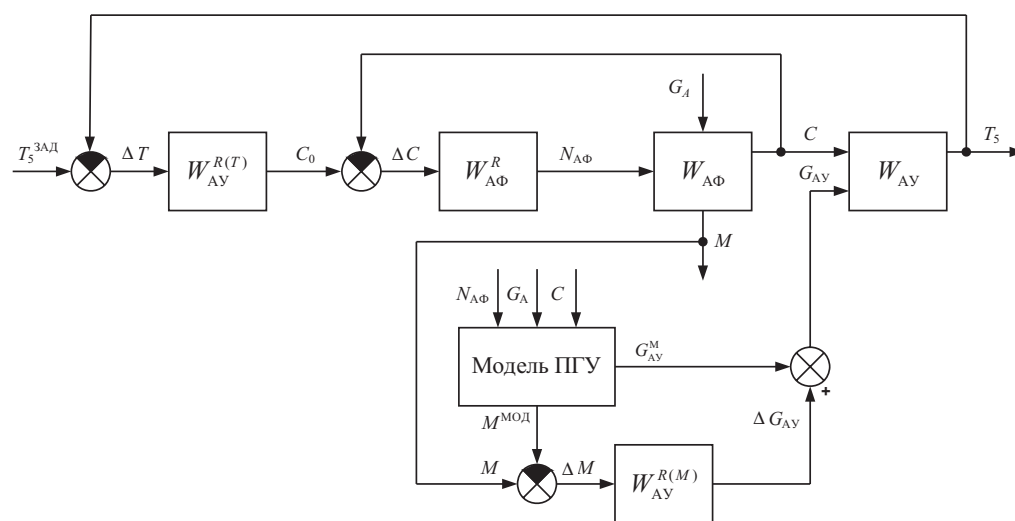


Рис. 2. Структурная схема САУ комплексом аппаратов фторирования и улавливания: $W_{AY}^{R(T)}, W_{AY}^{R(M)}, W_{AФ}^R$ – передаточные функции регуляторов, управляющих температурой реакционной зоны АУ, расходом твердого сырья в АУ и концентрацией фтора на выходе АФ; $W_{AФ}, W_{AY}$ – передаточные функции АФ и АУ; $T_5^{зад}$ – уставка на температуру реакционной зоны АУ, °С; ΔT – сигнал рассогласования температуры реакционной зоны АУ, °С; C_0 – уставка на концентрацию фтора, об. %; C – концентрация фтора на выходе АФ, об. %; ΔC – сигнал рассогласования концентрации фтора на выходе АФ, об. %; $N_{AФ}$ – обороты шнека загрузки бункера АФ, об/мин; G_A – расход анодного газа, м³/ч; $M, M^{мод}$ – масса бункера АФ полученная с технологических весов и рассчитанная по модели, кг; ΔM – сигнал рассогласования массы бункера АФ, кг; G_{AY}^M – рассчитанное по модели значение расхода твердого сырья в АУ, кг/ч; ΔG_{AY} – значение корректирующей составляющей на расход твердого сырья в АУ, кг/ч; G_{AY} – рассчитанное значение расхода твердого сырья в АУ, кг/ч; T_5 – температура реакционной зоны АУ, °С

Приведенная схема включает в себя

- контур согласования по величине загрузки твердофазными компонентами аппаратов АФ и АУ, построенный по комбинированному принципу;

• каскадную двухконтурную систему управления избытком фтора в АФ и стабилизации температуры реакционной зоны АУ.

Следует отметить, что в предлагаемой структуре САУ ПГУ загрузка твердого сырья в АУ является возмущающим воздействием на выходную координату каскадной системы – температуру реакционной зоны АУ – T_5 . Создавать дополнительный контур по компенсации данного возмущения нет объективных причин, так как при постоянном среднем значении расхода анодного газа загрузка твердого сырья в АУ – $G_{АУ}$ – также будет постоянной. В случае влияния $G_{АУ}$ на T_5 регулятор $W_{АУ}^{R(T)}$ с достаточным качеством нейтрализует это влияние.

Контур расчета значения загрузки твердого сырья в АУ основан на комбинированном принципе управления, заключающемся в расчете управляющего воздействия по модели ПГУ [2] и коррекции его с использованием косвенных измерений расхода твердого сырья тензоизмерительным устройством.

Комбинированный принцип согласования загрузок твердофазных продуктов заключается в расчете управляющего воздействия на АУ по эталонной модели и коррекции его с использованием прямых измерений веса бункеров. Таким образом, значение расхода твердого сырья в АУ будет рассчитываться следующим образом:

$$G_{АУ} = G_{АУ}^M + \Delta G_{АУ}, \quad (1)$$

где $G_{АУ}^M$ – значение расхода твердого сырья в АУ, рассчитанное по математической модели ПГУ, кг/ч; $\Delta G_{АУ}$ – корректирующая составляющая, формируемая пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором по сигналу рассогласования масс бункера АФ, рассчитанных по модели и измеренных технологическими весами, кг/ч.

При реализации алгоритма управления АУ на микропроцессорной технике корректирующая составляющая рассчитывается по рекуррентному соотношению согласно ПИ-закону управления с использованием экстраполятора треугольного типа [4]. Параметры регулятора рассчитывались на основе критерия оптимального модуля.

В работе [5] предложена структура алгоритма, обеспечивающего согласованную загрузку твердого сырья в аппараты улавливания и фторирования, выбран тип регулятора, рассчитаны его параметры.

Каскадная система стабилизации температуры реакционной зоны АУ, приведенная на рис. 2, состоит из двух контуров:

- внутреннего, включающего в себя АФ и его регулятор $W_{АФ}^R$;
- внешнего, включающего в себя АУ и регулятор $W_{АУ}^{R(T)}$.

Принцип регулирования обоих контуров – по отклонению.

Согласно условию построения каскадных САУ, инерционность выходной переменной внутреннего контура должна быть меньше выходной переменной внешнего. Из проведенного анализа переходных процессов, полученных по обеим управляемым координатам, можно сделать вывод, что для предлагаемой структуры САУ ПГУ это условие выполняется. Время реакции проскока фтора C на изменение частоты вращения шнека в четыре раза меньше времени реакции температуры второй зоны АУ на изменение задающего воздействия $C_{зад}$, а запаздывание – в два раза.

Расчет приведенной каскадной системы предполагает последовательный расчет параметров динамических моделей аппаратов фторирования и улавливания как объектов управления и расчет параметров их регуляторов $W_{АУ}^{R(T)}$ и $W_{АФ}^R$.

Для исследования статических и динамических характеристик аппаратов АФ и АУ была проведена серия экспериментальных исследований, результаты обработки которых позволили сделать вывод о возможности описания аппаратов фторирования и улавливания как объектов управления инерционными звеньями первого порядка с запаздыванием:

$$W_{\text{АФ}}(s) = \frac{K_{\text{АФ}} e^{-\tau_{\text{АФ}} s}}{T_{\text{АФ}} s + 1}, \quad (2)$$

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

где $K_{\text{АФ}}$, $K_{\text{АУ}}$ – коэффициенты усиления АФ и АУ; $T_{\text{АФ}}$, $T_{\text{АУ}}$ – постоянные времени АФ и АУ, с; $\tau_{\text{АФ}}$, $\tau_{\text{АУ}}$ – время запаздывания АФ и АУ, с.

После проведения идентификации параметров объектов, описываемых выражениями (2) и (3), было рассчитано среднеквадратичное отклонение экспериментальных данных от данных, полученных по приведенным выражениям, которое составило менее 3,5%.

Расчет параметров регуляторов каскадной САУ (рис. 3) заключается в последовательном определении настроек внутреннего и внешнего регуляторов при заданных динамических характеристиках объектов.

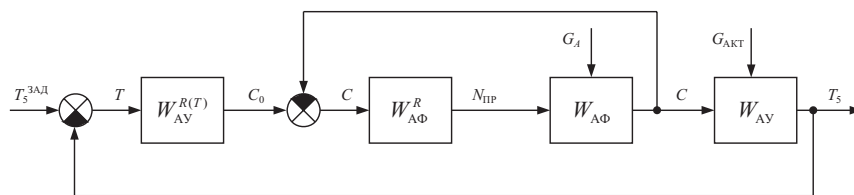


Рис. 3. Структурная схема каскадной САУ

Для определения настроек регулятора внутреннего контура этот контур рассматривается отдельно как независимая САУ. Определение параметров регулятора при этом осуществляется методом оптимального модуля по приведенной ниже методике, программно реализованной в математическом пакете Matlab.

Рассчитанные настройки внутреннего регулятора дают возможность представить совокупность внутреннего контура и АУ в виде обобщенного объекта, управление которым осуществляет внешний регулятор (рис. 4).

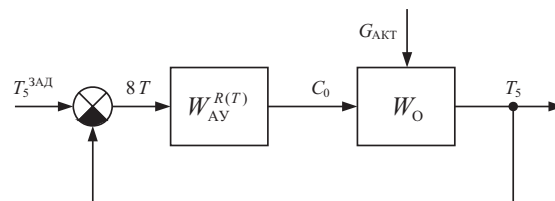


Рис. 4. Упрощенная структурная схема каскадной САУ: W_0 – обобщенный объект

Обобщенный объект W_0 описывается передаточной функцией

$$W_0 = \frac{W_{\text{АФ}}^R W_{\text{АФ}}}{1 + W_{\text{АФ}}^R W_{\text{АФ}}} W_{\text{АУ}}. \quad (4)$$

Таким образом, на втором шаге расчета определяются параметры внешнего регулятора также методом оптимального модуля.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ КАСКАДНОЙ САУ

Идеальной системой регулирования следует считать систему, которая удовлетворяет условиям абсолютной управляемости по задающему воздействию и абсолютной инвариантности САУ по возмущающему, т.е. обладает абсолютными фильтрующими свойствами. Это означает, что АЧХ относительно управляющего воздействия равна единице, а АЧХ идеальной системы относительно возмущающего воздействия равна нулю во всем диапазоне частот [10].

Условия абсолютной управляемости и абсолютной инвариантности в терминах частотных характеристик можно выразить следующим образом:

а) амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы относительно задающего воздействия должна быть равна единице во всем диапазоне частот от 0 до ∞ :

$$|W_3^u(j\omega)|^2 = 1; \quad (5)$$

б) амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы относительно возмущающих воздействий должна быть равна нулю во всем диапазоне частот от 0 до ∞ :

$$|W_3^f(j\omega)|^2 = 0. \quad (6)$$

В реальных системах регулирования указанные условия (5) и (6) точно выполняться не могут.

Задачу выбора параметров настройки регулятора можно поставить так, чтобы их подбором в наибольшей степени приблизить амплитудно-частотные характеристики реальной системы к характеристикам идеальной системы, определяемым формулами (5) и (6).

Примем предположение, что возмущающие воздействия имеют наибольшую интенсивность в области низких частот (промышленные технологические объекты управления обладают большой инерционностью). Поэтому в качестве метода приближения целесообразно выбрать такой, который гарантировал бы наилучшее приближение частотных характеристик идеальной и реальной систем в окрестности точки с нулевой частотой.

Поставленным требованиям достаточно хорошо удовлетворяет метод приближения путем разложения АЧХ замкнутой САУ в ряд Тейлора в окрестности точки $\omega = 0$:

$$|W_3(j\omega)|^2 = \overbrace{|W_3(j\omega)|^2}_{=1 \text{ либо } 0} \Big|_{\omega=0} + \overbrace{\frac{d}{d\omega}|W_3(j\omega)|^2}_{=0} \Big|_{\omega=0} \Delta\omega + \frac{1}{2!} \overbrace{\frac{d^2}{d\omega^2}|W_3(j\omega)|^2}_{=0} \Big|_{\omega=0} \Delta\omega^2 + \dots \quad (7)$$

После этого отклонение частотной характеристики от единицы либо нуля считается тем меньшим, чем больше число коэффициентов разложения обращается в ноль.

Передаточная функция замкнутой системы в общем виде может быть представлена отношением полиномов $L(j\omega)$ и $M(j\omega)$:

$$W_3(j\omega) = \frac{L(j\omega)}{M(j\omega)}. \quad (8)$$

Тогда система уравнений, позволяющая найти оптимальные параметры настройки регулятора из условия абсолютной управляемости САУ (5) с учетом (7) и (8), запишется в виде

$$\begin{cases} |W_3|_{\omega=0}^2 = \left| \frac{L(j\omega)}{M(j\omega)} \right|_{\omega=0}^2 = 1, \\ \frac{d^k}{d\omega^k} [|W_3|_{\omega=0}^2] = \frac{d^k}{d\omega^k} \left[\left| \frac{L(j\omega)}{M(j\omega)} \right|_{\omega=0}^2 \right] = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Дифференцируя зависимость $|L(j\omega)|^2 = L(j\omega)L(-j\omega)$, используя формулу Лейбница, получим [6]

$$\frac{d^m}{d\omega^m} [|L(j\omega)|^2] = \sum_{k=0}^m C_k^m L^{(m-k)}(j\omega) L^{(k)}(-j\omega). \quad (10)$$

Разложив в степенной ряд $L(j\omega)$ и $L(-j\omega)$, можно убедиться, что

$$\frac{d^m}{d\omega^m} [L(j\omega)] = (-1)^m \frac{d^m}{d\omega^m} [L(-j\omega)]. \quad (11)$$

Аналогично можно представить $|M(j\omega)|^2$, тогда

$$\begin{cases} \frac{d^m}{d\omega^m} [|L(j\omega)|^2] = \sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m L^{(m-k)}(j\omega) L^{(k)}(-j\omega), \\ \frac{d^m}{d\omega^m} [|M(j\omega)|^2] = \sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m M^{(m-k)}(j\omega) M^{(k)}(-j\omega), \end{cases} \quad (12)$$

где C_k^m – биномиальный коэффициент.

Условия (9), в силу выражения (12), принимают следующий вид:

$$\left[\frac{\sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m L^{(m-k)}(j\omega) L^{(k)}(j\omega)}{\sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m M^{(m-k)}(j\omega) M^{(k)}(j\omega)} \right]_{\omega=0} = \left[\frac{|L(j\omega)|^2}{|M(j\omega)|^2} \right]_{\omega=0}, \quad (13)$$

где $m = 2, 4, \dots, 2l$; l – число определяемых параметров настройки регулятора.

Из условия абсолютной управляемости (9) следует равенство нулю всех производных от квадрата модуля частотной передаточной функции замкнутой системы до $2l$, откуда вытекает соотношение (13), правая часть которого в силу того же условия абсолютной управляемости (9) должна быть равна единице:

$$\left[\frac{\sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m L^{(m-k)}(j\omega) L^{(k)}(j\omega)}{\sum_{k=0}^m (-1)^k C_k^m M^{(m-k)}(j\omega) M^{(k)}(j\omega)} \right]_{\omega=0} = 1. \quad (14)$$

Теперь на основании соотношения (14) можно найти оптимальные настройки регуляторов для систем с конкретными типами объекта и регулятора.

Данный принцип является достаточно удобным инструментом при синтезе САУ, так как позволяет рассчитать практически любую систему, проведя соответствующие преобразования. Переходные процессы САУ, спроектированных с использованием критерия оптимального модуля, отличаются малым временем протекания и малым перерегулированием. Это обеспечивает для него широкий спектр применения.

Передаточная функция обобщенного объекта (4) после подстановки в нее выражений (2) и (3) примет вид

$$W_0(s) = \frac{K_{\text{АФ}} K_{\text{АУ}} (T_{\text{И}}^{\text{АФ}} T_{\text{Д}}^{\text{АФ}} s^2 + K_{\text{Р}}^{\text{АФ}} T_{\text{И}}^{\text{АФ}} s + 1) e^{-(\tau_{\text{АФ}} + \tau_{\text{АУ}})s}}{T_{\text{И}}^{\text{АФ}} s (T_{\text{АФ}} s + 1) (T_{\text{АУ}} s + 1) + K_{\text{АФ}} (T_{\text{И}}^{\text{АФ}} T_{\text{Д}}^{\text{АФ}} s^2 + K_{\text{Р}}^{\text{АФ}} T_{\text{И}}^{\text{АФ}} s + 1) (T_{\text{АУ}} s + 1) e^{-\tau_{\text{АФ}} s}}. \quad (15)$$

Произвести аппроксимацию этого выражения символьными методами представляет собой сложновыполнимую задачу. Поэтому воспользуемся аппроксимационным методом, позволяющим описать исследуемый сложный объект типовыми звеньями. Для этого необходимо определить переходную функцию обобщенного объекта $h_0(t)$. Получим ее, используя операторный метод [7], который заключается в следующем.

Представим передаточную функцию (15) в виде отношения полиномов числителя и знаменателя:

$$W(s) = \frac{K(s)}{D(s)}. \quad (16)$$

Затем необходимо приравнять полином $D(s)$ к нулю и определить его корни λ_i . Однако по виду выражения (15) можно заметить наличие экспоненты, которая усложняет определение корней полинома знаменателя передаточной функции.

Для нахождения корней необходимо аппроксимировать функцию $e^{-\tau s}$ эквивалентным ей полиномом. Для этого на практике чаще всего пользуются разложением в ряд Тейлора или паде-приближением [8]. Однако паде-приближение используется в случае малых τ , поэтому в данном случае воспользуемся рядом Тейлора:

$$e^{-\tau_{\text{пр}} s} \approx 1 / \left(1 + \tau_{\text{пр}} s + \frac{\tau_{\text{пр}}^2 s^2}{2!} + \frac{\tau_{\text{пр}}^3 s^3}{3!} + \dots + \frac{\tau_{\text{пр}}^n s^n}{(n-1)!} \right), \quad (17)$$

где n – число членов ряда.

Для дальнейших расчетов воспользуемся первыми пятью членами ряда. Среднеквадратичное отклонение приближенной функции от исходной в этом случае составляет менее 1%. Тогда, с учетом вышесказанного, выражение (16) можно представить в следующем виде:

$$W(s) = \frac{K(s)}{s(s - \lambda_2) \dots (s - \lambda_n)} = \frac{X_1(s)}{sX_2(s)}, \quad (18)$$

где n – количество корней характеристического уравнения знаменателя (16) $D(s)$.

Из выражения (18) можно получить оригинал функции в форме Хевисайда в зависимости от типа корней характеристического уравнения [7].

Для случая, когда имеется один нулевой корень, r – действительных корней и p – пар комплексно-сопряженных корней, уравнение для переходной функции будет выглядеть следующим образом:

$$h(t) = \frac{X_1(0)}{X_2(0)} + \sum_{i=1}^r \frac{X_1(\lambda_i)}{\lambda_i X_2'(\lambda_i)} e^{\lambda_i t} + \sum_{i=1}^p 2A_i e^{\alpha_i t} \cos(\beta_i t + \varphi_i), \quad (19)$$

где α_i, β_i – действительная и мнимая части i -го корня соответственно; A_i, φ_i – модуль и аргумент дроби $\frac{X_1(\lambda_i)}{\lambda_i X_2'(\lambda_i)}$.

Таким образом, мы получили соотношение, которое определяет переходную функцию обобщенного объекта.

Расчет параметров регулятора для данного объекта весьма трудоемок даже с использованием современных информационных систем вследствие сложности требуемого закона управления и большого количества вычислительных процедур. В связи с этим возникает необходимость аппроксимации приведенного объекта

динамическим звеном более низкого порядка. В качестве таких звеньев целесообразно рассматривать инерционное звено первого порядка и колебательное звено.

Передаточная функция и уравнение переходной функции для инерционного звена первого порядка имеют вид [9]

$$W_1(s) = \frac{K_1 e^{-\tau_1 s}}{T_1 s + 1}, \quad h_1(t) = k_1 \left(1 - e^{-\frac{(t-\tau_1)}{T_1}} \right), \quad (20)$$

для колебательного звена

$$W_2(s) = \frac{k_2 e^{-\tau_2 s}}{T_2^2 s^2 + 2T_2 \xi s + 1}, \quad h_2(t) = k_2 \left[1 - \frac{1}{\beta T_2} e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) \right], \quad (21)$$

где $0 < \xi < 1$; $\alpha = \xi/T$ – коэффициент затухания; $\beta = \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$ – круговая частота затухающих колебаний, рад/с; $j = \arccos \xi$.

Коэффициенты уравнения (21) определяются следующими выражениями:

$$\xi = -\cos\left(\frac{t_1}{t_3 - t_2} \pi\right), \quad T = \frac{t_3 - t_2}{t_1} \sin\left(\frac{t_1}{t_3 - t_2} \pi\right), \quad (22)$$

где t_1, t_2, t_3 – моменты времени, определяемые по графику переходной функции замкнутой системы (15) [9].

На рисунке 5 приведены графики переходной функции обобщенного объекта, построенные по модели (15), и графики переходных функций инерционного звена первого порядка и колебательного звена, аппроксимирующие ее с различной степенью приближения.

Выбор типа динамического звена, решением дифференциального уравнения которого при единичном ступенчатом входном воздействии будет аппроксимироваться переходная функция объекта для расчета регулятора, будет сделан по результатам исследования показателей качества САУ с предлагаемыми моделями обобщенного объекта.

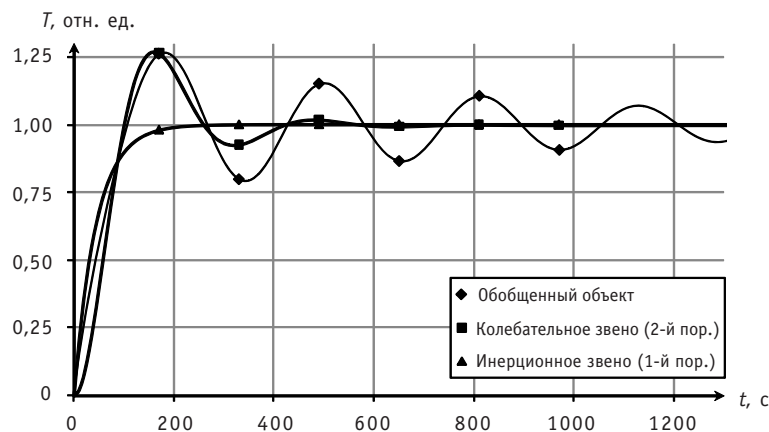


Рис. 5. Графики переходных функций

ИССЛЕДОВАНИЕ САУ

Приведенный метод последовательного расчета параметров регуляторов каскадной системы по критерию оптимального модуля (14) был реализован в Matlab. С помощью разработанной программы были исследованы различные комбинации

типовых законов регулирования во внутреннем и внешнем контурах САУ. Затем по рассчитанным параметрам регуляторов в пакете Matlab с использованием пакета расширений Simulink была смоделирована приведенная на рис. 3 каскадная двухконтурная система стабилизации температуры реакционной зоны АУ. Результаты исследования модели САУ представлены на графиках реакции системы на ступенчатое изменение: задающего воздействия – рис. 6, возмущающего воздействия концентрации фтора на выходе АФ – рис. 7, возмущающего воздействия температуры на выходе АУ – рис. 8.

Расчет показателей качества по приведенным графикам (табл. 1) показал, что наилучшим качеством управления обладает система с ПИД-регуляторами как во внутреннем, так и во внешнем контурах. Обобщенный объект при расчете регулятора внешнего контура аппроксимируется инерционным звеном первого порядка.

ВЫВОДЫ

Предложена каскадная двухконтурная структура системы автоматического управления комплексом аппаратов фторирования и улавливания ПГУ, осуществляющая согласованную загрузку твердого сырья в АФ и АУ, а также обеспечивающая удержание в заданном диапазоне концентрации избыточного фтора на выходе АФ и стабилизацию температуры реакционной зоны АУ на заданном уровне.

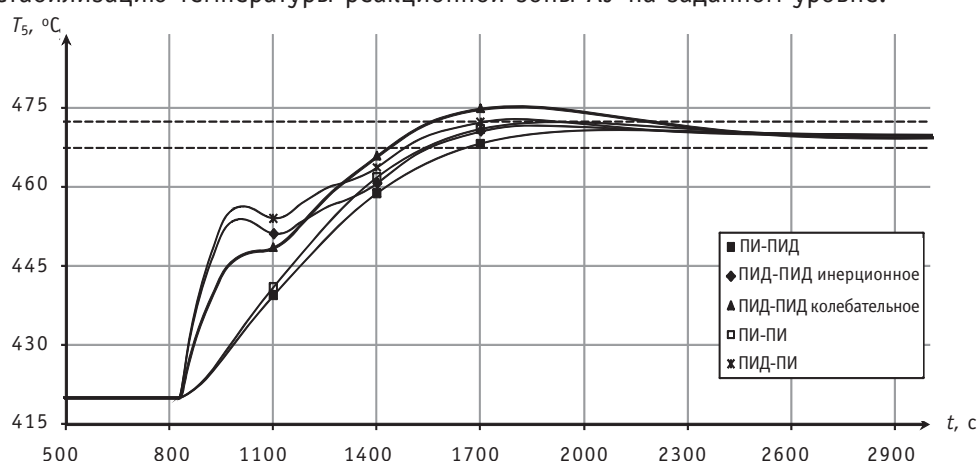


Рис. 6. Реакция системы на задающее воздействие

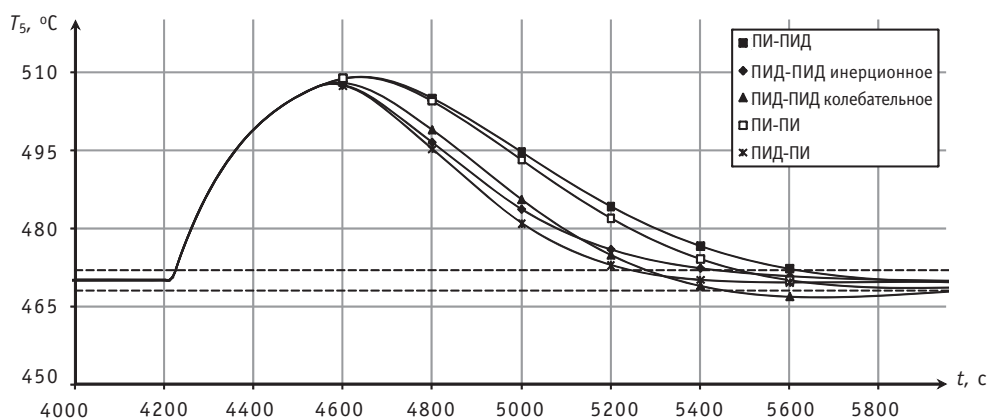


Рис. 7. Реакции системы на возмущающее воздействие (концентрация фтора на выходе АФ)

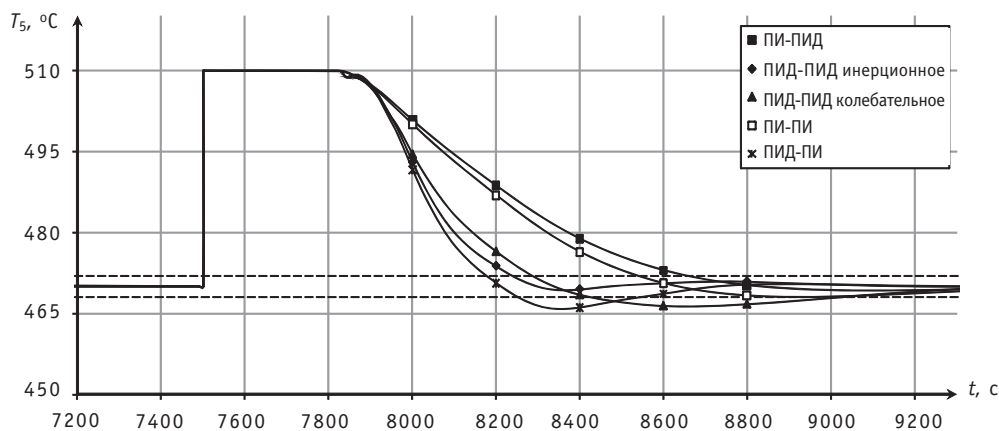


Рис. 8. Реакции системы на возмущающее воздействие (температура на выходе АУ)

Таблица 1

Прямые показатели качества САУ с различными комбинациями типовых законов регулирования во внутреннем и внешнем контурах

Тип регулятора АУ	Тип регулятора АФ	Аппроксимирующее звено	Время регулирования для графиков соответствующего рисунка, с		
			Рисунок 6	Рисунок 7	Рисунок 8
ПИ	ПИ	Инерционное	1040	1485	1040
	ПИД	Инерционное	1155	1610	1150
ПИД	ПИ	Инерционное	1430	1240	1040
	ПИД	Инерционное	1050	1430	740
	ПИД	Колебательное	1700	2000	1520

Реализована методика расчета параметров настройки регуляторов каскадной двухконтурной системы, основанная на критерии оптимального модуля.

Предложенная система управления исследована на компьютерной модели для различных комбинаций типов регуляторов для внешнего и внутреннего контуров, на основании чего сделан вывод, что наилучшее качество управления имеет система с ПИД-регуляторами во внутреннем и внешнем контурах.

Работа поддержана грантом ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по мероприятию 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» на 2009-2013.

Литература

1. Береза В.Н., Дядик В.Ф., Байдали С.А. Математическая модель аппарата комбинированного типа для улавливания ценных компонентов из хвостовых технологических газов производства гексафторида урана // Известия ТПУ. – 2007. – Т. 311. – № 3. – С. 55-60.
2. Байдали С.А., Дядик В.Ф., Юрков А.С. Математическая модель производства гексафторида урана // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 315. – № 2. – С. 84-90.
3. Дядик В.Ф. Цели управления технологическими процессами производства гексафторида урана. Синтез системы прямого цифрового управления узлом фторирования // Известия вузов. Физика. – 2000. – № 5. – С. 91-96.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 541 с.

5. Байдали С.А., Дядик В.Ф. Алгоритм управления аппаратом комбинированного типа производства гексафторида урана // Известия ТПУ. – 2009. – Т. 314. – №5. – С. 80-84.
6. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием / Пер. с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
7. Топчев Ю.И., Цыпляков А.П. Задачник по теории автоматического регулирования: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.
8. Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
9. Власов-Власюк О.Б. Экспериментальные методы в автоматике. – М.: Машиностроение, 1969. – 412 с.
10. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 344 с.

Поступила в редакцию 17.12.2009

УДК 621.039.56

Model of a Unit Power Supply under the Scheme of the Transistor Voltage-Source Inverter \ V.V. Rojkov, V.E. Aidaralieva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 8 illustrations. – References, 3 titles.

This paper contains a complex of models of the basic converting blocks of modern systems of unit power supply of electric equipments which are delivered on the Nuclear Power Plant under plans of prolongation of service life of generating sets. Similar deliveries are often accompanied by very limited technical information on products. Represented paper urged to meet this lack in any measure. The developed complex of models allowing by computer modeling to investigate the basic modes of functioning of blocks in UPS is for this purpose intended. Results of modeling are resulted, recommendations for choice parameters of elements of the power circuit, on diagnostics and adjustment of regulators of control systems by converters – the operated rectifier and the transistor independent inverter are given.

УДК 681.58

Synthesis of Automated Control System of the Complex of Fluoridation and Capture Devices of Uranium Hexafluoride Production \ S.A. Baydali, V.F. Dyadik, A.S. Jurkov, N.S. Krinitsyn; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 12 pages, 1 tables, 8 illustrations. – References, 10 titles.

The work presents stages of synthesis of cascade two-planimetric automated control system of the complex of fluoridation and capture devices of uranium hexafluoride production. Calculation method of internal and external regulators parameter settings is developed and realized.

Computer research of regulation quality are made with different regulator combinations.

УДК 621.039.54: 621.039.7

Multi-attribute Evaluation and Choice of Alternatives for the Surplus Weapons-Grade Plutonium Disposition Using Utility Function at Functional Dependences of Weight Factors \ V.V. Kosterev, Yu.V. Semenova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 12 pages, 1 table, 8 illustrations. – References, 10 titles.

Multi-attribute Evaluation and Choice of Alternatives for the Surplus Weapons-Grade Plutonium Disposition Using Utility Function at Functional Dependences of Weight Factors has been made. Investigations of several versions of weighting functions were carried out. Sensitivity analysis was used to explore the robustness of the rankings relative to changes in the weights in more detail. It has been shown that using of weighting functions for the ranking of alternatives enlarges the possibilities of the method of the multi-attribute evaluation, making it possible to consider, for example, decision maker preferences for different alternatives.

УДК 621.039.54

Model of Multicomponent Extraction Process in the Column \ A.D. Hrenkov, Y.A. Chursin, A.A. Denisevich; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 5 illustrations. – References, 16 titles.

The model of multicomponent process of extraction in pulsating column is presented. Model analysis on adequacy to real apparatus was made. The received results have shown, that the presented model adequacy to the real nuclear fuel-reprocessing apparatus.

УДК 621.039.566

Hydrodynamics of the Heat-Carrier and Behaviour of Impurity in Contour of Repeated Compulsory Circulation RBMK during a Stop of the Block \ V.I. Gorbakov, S.V. Ivanov, O.S. Kuganiyazov, A.I. Zababurin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 6 illustrations. – References, 4 titles.