

Добыча, транспорт и переработка нефти и газа

УДК 681.5

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

А.А. Афиногентов, Ю.Э. Плешивцева, С.П. Сетин, А.С. Снопков

Самарский государственный технический университет
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Анализ структуры и параметрический синтез САУ процессом первичной переработки нефти на установке АВТ проводится с использованием инженерной методики, основанной на базе альтернативного метода оптимизации параметров типовых регуляторов.

Ключевые слова: *атмосферно-вакуумная перегонка нефти, система автоматического управления, ПИД-регулятор, структурный анализ, параметрический синтез, альтернативный метод.*

Введение

Основным технологическим процессом на нефтеперерабатывающем заводе является процесс первичной переработки нефти на установке типа атмосферно-вакуумной трубчатки (АВТ), служащей для разделения на фракции поступающего сырья. Процесс первичной переработки нефти включает ряд взаимосвязанных технологических операций (подогрев и испарение сырья, отбор продуктов перегонки и т.д.).

Система автоматического управления (САУ) технологическим процессом первичной переработки нефти на установке АВТ представляет собой многоконтурную (связанную) систему с несколькими типовыми регуляторами (ПИ- или ПИД). Несмотря на достаточно высокую степень автоматизации технологического процесса первичной переработки нефти на установках АВТ в целом, на уровне локального автоматического регулирования имеет место нерациональность проектных решений, что приводит к низким показателям работы отдельных элементов САУ, а зачастую к их неработоспособности и выключению из работы практически с момента пуска установки. Таким образом, не полностью используются возможности современных технических средств (управляющих контроллеров, компьютеров, многофункциональных датчиков).

Александр Александрович Афиногентов (к.т.н.), ассистент кафедры «Трубопроводный транспорт».

Юлия Эдгаровна Плешивцева (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Управление и системный анализ в теплоэнергетике».

Сергей Петрович Сетин, аспирант.

Антон Сергеевич Снопков, аспирант.

Анализ качества управления технологическим процессом действующих САУ на установках нефтеперерабатывающих заводов с использованием специальных методик оценки проектных решений по управлению технологическим процессом и выбор оптимальных параметров их настройки представляет собой актуальную инженерную задачу [1].

В данной работе на примере локальной системы регулирования температуры мазута вакуумного блока перегонки нефти установки АВТ демонстрируется инженерная методика выбора параметров настройки типовых регуляторов (параметрического синтеза). Инженерная методика параметрического синтеза типовых регуляторов многоконтурной САУ технологическим процессом первичной переработки нефти на установке АВТ разработана на основе альтернативного метода параметрической оптимизации, обеспечивающего достижение предельных показателей качества регулирования при заданных ограничениях, формируемых в частотной области с помощью соответствующих условий, наложенных на максимумы амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) локальных замкнутых контуров синтезируемой САУ [2-3].

Структурный анализ САУ

Рассмотрим типовую структуру системы автоматического регулирования (САР) температуры мазута вакуумного блока перегонки нефти установки АВТ, вид которой представлен на рис. 1.

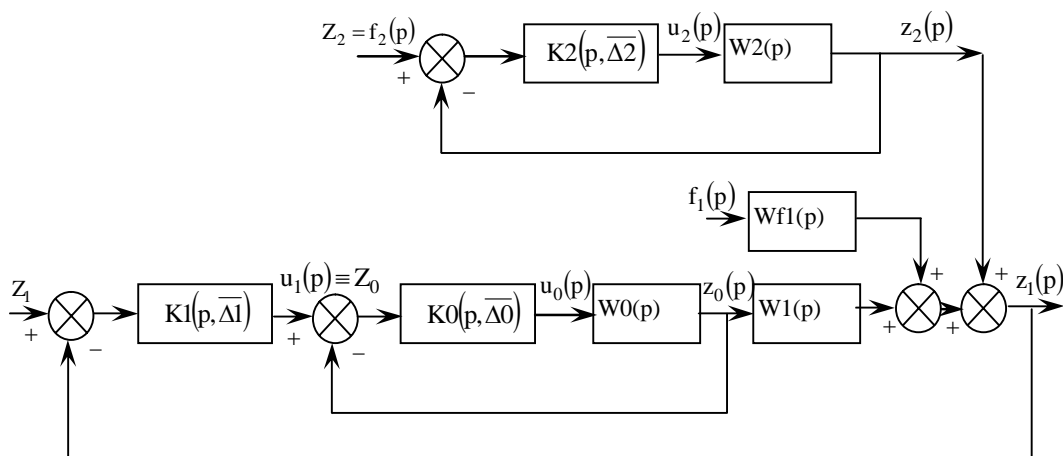


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования температуры мазута вакуумного блока установки АВТ

Одной из важных составляющих вакуумного блока установки АВТ является печь, предназначенная для подогрева мазута (сырья) с целью получения вакуумного газойля широкого фракционного состава (350-500 °С) и перегрева пара, который в дальнейшем поступает в вакуумную колонну и в отпарные колонны установки АВТ.

САР температуры мазута (перерабатываемого сырья) на выходе из печи представляет собой двухконтурную систему регулирования. Внутренний контур (регулятор K_0) обеспечивает регулирование расхода жидкого топлива в печь, который является управляющим воздействием (u_1) во внешнем контуре (регулятор K_1). Управляющим воздействием (u_0) во внутреннем контуре является изменение давления жидкого топлива, подаваемого в печь.

Объектом управления внутреннего контура является участок трубопровода, служащий для подачи топлива в печь, с передаточной функцией W_0 . Линейная комбинация передаточной функции замкнутой системы регулирования внутреннего контура и передаточной функции W_1 , описывающей динамику температуры (z_1) нагреваемого в печи объема сырья и представленной аperiодическим звеном второго порядка, задает передаточную функцию объекта управления для внешнего контура регулирования.

Основными внешними возмущениями, обрабатываемыми САР, являются изменение расхода (f_1) перегретого пара в печь и изменение расхода (f_2) перерабатываемого сырья (мазута). При этом расход (подача) перегретого пара в печь (z_2) регулируется локальной САР.

САР расхода пара в печь представляет собой одноконтурную систему регулирования с регулятором K_2 , в качестве управляющего воздействия (u_2) выступает изменение подачи (расхода) пара в змеевики печи. Объектом управления является участок паропровода, служащий для подачи пара в печь и описываемый передаточной функцией W_2 .

По сравнению с другими объектами управления вакуумного блока установки АВТ динамические звенья, характеризующие движение жидкости и пара по трубопроводам, намного менее инерционны, поэтому передаточные функции указанных объектов (W_0, W_2) можно приближенно описать аperiодическими звеньями первого порядка.

Передаточные функции объектов управления W_0, W_1, W_2 с постоянными коэффициентами, полученными на стадии анализа действующей САУ установкой АВТ, приведены в таблице.

Согласно приведенному выше описанию САУ температурой мазута на выходе из печи, соответствующей приведенной на рис. 1 структуре, каждый k -ый локальный контур управления характеризуется следующими величинами: $z_n(p)$ – управляемая переменная, Z_k – задание, $u_k(p)$ и $f_k(p)$ – управляющее и возмущающее воздействия соответственно.

Передаточная функция регулятора $K(p, \bar{\Delta})$ считается заданной с точностью до вектора параметров $\bar{\Delta} = (\Delta_i), i = \overline{1, n}$ и представимой в типовой дробно-рациональной форме [2-3]. Для всех контуров управления используются ПИД-регуляторы с общей передаточной функцией следующего вида:

$$K_{\text{ПИД}}(p, \bar{\Delta}) = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 p + \Delta_3 p^2}{p} \quad (1)$$

Для каждого k -го контура управления может быть выделен канал задание – регулируемая переменная ($Z_k \rightarrow z_k(p)$) с формулировкой требований к качеству процесса регулирования.

Кроме того, для любого k -го ($k \neq 0$) контура управления можно выделить канал возмущающее воздействие – регулируемая переменная ($f_k(p) \rightarrow z_k(p)$), для которого основной целью управления является достижение минимального отклика регулируемой переменной на возмущающее воздействие.

С учетом изложенных выше соображений для контура управления $k = 0$ запишем передаточную функцию замкнутой системы по каналу ($Z_0 \equiv u_0(p) \rightarrow z_0(p)$) в частотной области в виде

$$W_{0_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}) = \frac{W_0(i\omega) \cdot K_0(i\omega, \overline{\Delta 0})}{1 + W_0(i\omega) \cdot K_0(i\omega, \overline{\Delta 0})}. \quad (2)$$

Для контура управления $k = 1$ запишем передаточную функцию замкнутой системы по каналу $Z_1 \rightarrow z_1(p)$ в частотной области в виде

$$W_{1_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}, \overline{\Delta 1}) = \frac{W_{0_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}) \cdot W_1(i\omega) \cdot K_1(i\omega, \overline{\Delta 1})}{1 + W_{0_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}) \cdot W_1(i\omega) \cdot K_1(i\omega, \overline{\Delta 1})}. \quad (3)$$

Для контура управления $k = 2$ запишем передаточную функцию замкнутой системы по каналу $Z_2 \rightarrow z_2(p)$ в частотной области в виде

$$W_{2_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 2}) = \frac{W_2(i\omega) \cdot K_2(i\omega, \overline{\Delta 2})}{1 + W_2(i\omega) \cdot K_2(i\omega, \overline{\Delta 2})}. \quad (4)$$

Для контура управления $k = 0$ не задан канал возмущающее воздействие – регулируемая величина, для контура $k = 1$ передаточная функция замкнутой системы по каналу $f_1(p) \rightarrow z_1(p)$ в частотной области имеет вид

$$W_{1_{zf1}}(i\omega, \overline{\Delta 0}, \overline{\Delta 1}) = \frac{W_{f1}(i\omega)}{1 + W_{0_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}) \cdot W_1(i\omega) \cdot K_1(i\omega, \overline{\Delta 1})}. \quad (5)$$

Передаточная функция контура $k = 1$ по каналу $f_2(p) \rightarrow z_1(p)$ в частотной области имеет вид

$$W_{1_{zf2}}(i\omega, \overline{\Delta 0}, \overline{\Delta 1}, \overline{\Delta 2}) = \frac{W_{2_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 2})}{1 + W_{0_{zu}}(i\omega, \overline{\Delta 0}) \cdot W_1(i\omega) \cdot K_1(i\omega, \overline{\Delta 1})}. \quad (6)$$

Выражения (2–6) полностью описывают передаточные функции рассматриваемой САУ по каналам управляющего и возмущающего воздействий для управляемых переменных $z_0(p), z_1(p), z_2(p)$, при этом качество процессов управления определяется векторами $\overline{\Delta 0}, \overline{\Delta 1}, \overline{\Delta 2}$, включающими девять независимых параметров настройки ПИД-регуляторов с передаточными функциями вида (1).

Отыскание значений параметров настройки регуляторов в системе управления представляет собой специальную задачу параметрической оптимизации (параметрического синтеза) рассматриваемой системы автоматического управления.

Постановка задачи параметрического синтеза САУ

Инженерная задача поиска оптимальных параметров настройки типовых регуляторов в структуре многоконтурной САУ температурой мазута вакуумного блока перегонки установки АВТ была сведена к выбору соответствующих параметров ПИД-регуляторов с учетом требований к качеству процесса регулирования, формируемых в частотной области в виде соответствующих функций.

Если $\overline{\Delta}$ есть вектор искомых параметров регулятора, то в качестве целевой функции $I(\overline{\Delta})$ и функций $F(\overline{\Delta})$, задающих ограничения, которые гарантируют требуемые качественные показатели и робастные свойства, здесь могут фигурировать параметрические зависимости максимумов амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) системы регулирования. Тогда задача сводится к поиску такого вектора $\overline{\Delta}$, при котором на параметрически заданном множестве стабилизирующих регуляторов

функция $I(\bar{\Delta})$ принимает минимальное значение в условиях дополнительных ограничений на учитываемые показатели качества.

В целом ряде случаев в качестве критерия оптимизации $I(\bar{\Delta})$, характеризующего реакцию системы на внешнее возмущение с ограниченной дисперсией в условиях неполной информации о частотном спектре воздействий, выбирают максимум соответствующей амплитудно-частотной характеристики:

$$I(\bar{\Delta}) = \max_{\omega} |W_{zf}(i\omega, \bar{\Delta})|. \quad (7)$$

В результате задача сводится к поиску n -мерного вектора параметров $\bar{\Delta} = (\Delta_i)$, $i = \overline{1, n}$, минимизирующего максимум АЧХ номинальной системы по возмущению:

$$\max_{\omega} |W_{zf}(i\omega, \bar{\Delta})| \rightarrow \min_{\bar{\Delta} \in E^n}, \quad (8)$$

где $W_{zf}(i\omega, \bar{\Delta})$ – частотная передаточная функция системы по каналу возмущения, а такой критерий оптимизации называется *минмаксным*.

При этом требования к качественным показателям часто могут быть сформулированы в виде ограничения на максимум АЧХ номинальной системы по каналу управляющего воздействия:

$$F(\bar{\Delta}) = \max_{\omega} |W_{zu}(i\omega, \bar{\Delta})| \leq M, \quad (9)$$

где $W_{zu}(i\omega, \bar{\Delta})$ – частотная передаточная функция системы по каналу управления, а в качестве ограничения рассматривают величину показателя колебательности M , который характеризует запас устойчивости замкнутой системы регулирования ($M < 2$) и вид кривой переходного процесса. Для промышленных САУ оптимальное значение показателя колебательности M составляет от 1,5 до 1,6 [3].

В итоге приходим к задаче параметрического синтеза регулятора, при котором функционал (7) должен принимать минимальное значение в условиях заданного ограничения (9) на величину показателя колебательности M .

Задача параметрического синтеза типовых робастных регуляторов (7)–(9) представляет собой с общих позиций задачу математического программирования с бесконечным числом ограничений типа (9).

Сформулируем такую задачу следующим образом: требуется найти вектор оптимальных параметров $\bar{\Delta} = (\Delta_i)$, $i = \overline{1, n}$ типового регулятора $K(p, \bar{\Delta})$, который обеспечивал бы инвариантность системы к внешнему возмущающему воздействию $f(p)$ в условиях ограничения на показатель колебательности системы M по каналу управления (задания).

Альтернативный метод параметрической оптимизации

Рассмотрим метод решения задачи, основанный на универсальных свойствах АЧХ систем автоматического регулирования с типовыми регуляторами [2–3]. Пусть решением данной задачи является некоторый набор параметров $\bar{\Delta}^0$. Тогда оказывается, что частотные характеристики $|W_{zf}(i\omega, \bar{\Delta}^0)|$ и $|W_{zu}(i\omega, \bar{\Delta}^0)|$ обладают следующими специальными альтернативными свойствами.

На оси частот $\omega \in [0; +\infty[$ найдутся не менее $R_f \geq 1$ различных точек ω_{fq} , $q = \overline{1, R_f}$ и $R_u \geq 1$ различных точек ω_{uS} , $S = \overline{1, R_u}$, в которых АЧХ системы $\left| W_{zf}(i\omega, \overline{\Delta^0}) \right|$ и $\left| W_{zu}(i\omega, \overline{\Delta^0}) \right|$ достигают своих максимальных значений, равных соответственно $I(\overline{\Delta^0})$ и $F(\overline{\Delta^0}) = M$. При этом выполняется соотношение

$$R_f + R_u = n + 1, \quad (10)$$

где n – число искоемых параметров.

Исключением является возможная ситуация, когда имеется минимальное число таких точек, т. е. $R_f = 1$ и (или) $R_u = 1$, тогда

$$R_f + R_u < n + 1, \text{ если } n \geq 2. \quad (11)$$

Отмеченные свойства позволяют составить замкнутую систему $n+1$ уравнений для АЧХ $\left| W_{zf}(i\omega, \overline{\Delta^0}) \right|$ и $\left| W_{zu}(i\omega, \overline{\Delta^0}) \right|$ относительно всех $n+1$ искоемых параметров, в роли которых выступают n компонент Δ_i^0 , $i = \overline{1, n}$, векторы $\overline{\Delta^0}$ и минимакс $I(\overline{\Delta^0})$.

При наличии дополнительной информации о форме соответствующих АЧХ можно дополнить данную систему уравнений условием существования экстремума указанных частотных характеристик в этих точках.

Тогда получаем систему $2(n+1)$ уравнений:

$$\begin{aligned} \left| W_{zf}(i\omega_{fq}^0, \overline{\Delta^0}) \right| - I(\overline{\Delta^0}) &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W_{zf}(i\omega_{fq}^0, \overline{\Delta^0}) \right| = 0; \\ \left| W_{zu}(i\omega_{uS}^0, \overline{\Delta^0}) \right| - M &= 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W_{zu}(i\omega_{uS}^0, \overline{\Delta^0}) \right| = 0; \end{aligned} \quad (12)$$

$$q = \overline{1, R_f}; \quad S = \overline{1, R_u}; \quad R_f + R_u = n + 1$$

с $2(n+1)$ неизвестными: n настроек регулятора Δ_i^0 , $i = \overline{1, n}$, величина $I(\overline{\Delta^0})$, R_f координат точек ω_{fq}^0 , R_u координат точек ω_{uq}^0 .

Решение системы (12) относительно указанных n неизвестных является решением задачи параметрического синтеза.

Для случая, когда $R_f + R_u < n + 1$ (т. е. когда по крайней мере одна АЧХ имеет единственную точку максимума), дополнительное уравнение формулируется в виде необходимого условия экстремума, сводящегося к равенству нулю определителя, составленного из производных АЧХ системы по каналам управления и возмущения по искомым параметрам регулятора:

$$\det \left[\frac{\partial \left| W_{zu}(i\omega_{uS}^0, \overline{\Delta^0}) \right|}{\partial \Delta_i}; \frac{\partial \left| W_{zf}(i\omega_{fq}^0, \overline{\Delta^0}) \right|}{\partial \Delta_i} \right] = 0; \quad (13)$$

$$q = \overline{1, R_f}; \quad S = \overline{1, R_u}; \quad R_f + R_u = n + 1; \quad i = \overline{1, n},$$

Из соотношений (10), (11) следует, что существуют три возможных варианта

формы АЧХ замкнутой системы для ПИД-регулятора, а число искоемых параметров $n = 3$: Δ_1^0 , Δ_2^0 и Δ_3^0 . В этом случае возможны следующие сочетания R_f и R_u :

- а) $R_f + R_u = n + 1$, при $R_f = 2$ и $R_u = 2$;
- б) $R_f + R_u = n$, при $R_f = 1$ и $R_u = 2$;
- в) $R_f + R_u = n$, при $R_f = 2$ и $R_u = 1$.

Оптимальное решение задачи выбора настроек ПИД-регулятора – вектор параметров $\overline{\Delta^0}$ – является одновременно единственным решением системы уравнений (12–13), соответствующей реализуемой для данного случая комбинации максимумов АЧХ (из набора вариантов *а, б, в*), при этом другие два варианта систем уравнений не будут иметь решения. Таким образом, возникает необходимость проводить исследования для каждого из приведенных случаев и определять вектор параметров $\overline{\Delta^0}$, являющийся единственным решением рассматриваемой задачи.

Алгоритм решения задачи параметрического синтеза САУ

Рассмотрим последовательность решения задачи параметрического синтеза (определения параметров настройки регуляторов) САУ температурой мазута.

Первым этапом решения рассматриваемой задачи параметрического синтеза является определение параметров настройки регулятора контура управления $k = 0$, для которого не задан канал «возмущающее воздействие – регулируемая величина».

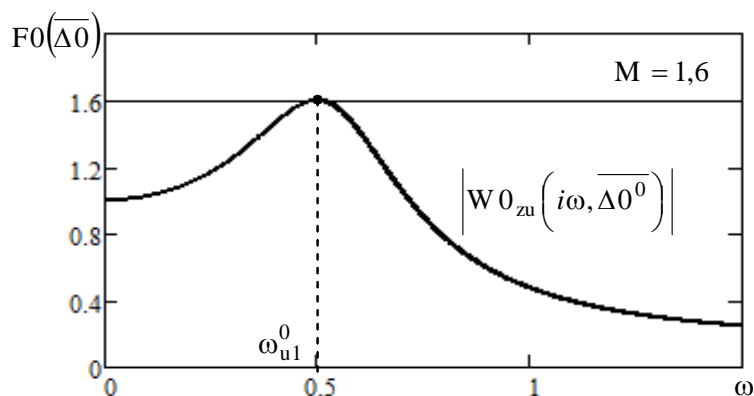


Рис. 2. АЧХ замкнутой системы контура регулирования $k = 0$

Параметры настройки регулятора для контура $k = 0$ могут быть определены различными методами, том числе с использованием частотных характеристик. Эффективным подходом в такой ситуации может стать фиксация значения резонансной частоты (ω_{uS}) АЧХ замкнутой системы управления (2) и одного из параметров настройки регулятора $\overline{\Delta^0}$, тогда оставшиеся два неизвестных параметра настройки регулятора можно определить, решив систему уравнений, аналогичную системе (12). В случае, когда АЧХ системы имеет единственный максимум, как показано на рис. 2, расчетная система уравнений будет иметь вид

$$\left| W_{0_{zu}} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta^0} \right) \right| - M = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W_{0_{zu}} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta^0} \right) \right| = 0, \quad (14)$$

с двумя неизвестными – любыми двумя из трех параметров настройки регулятора.

Вторым этапом решения задачи параметрического синтеза является настройка внешнего контура каскадной системы (поиск вектора параметров настроек $\overline{\Delta 1^0}$ регулятора К1) с учетом минимизации реакции САУ на возмущающее воздействие f_1 по описанной выше схеме альтернансного метода при фиксированных (полученных на этапе 1) значениях параметров настроек $\overline{\Delta 0^0}$ регулятора К0. При этом функционал $I(\overline{\Delta})$ задается максимумом АЧХ (5), а функционал $F(\overline{\Delta})$ – максимумом АЧХ (3).

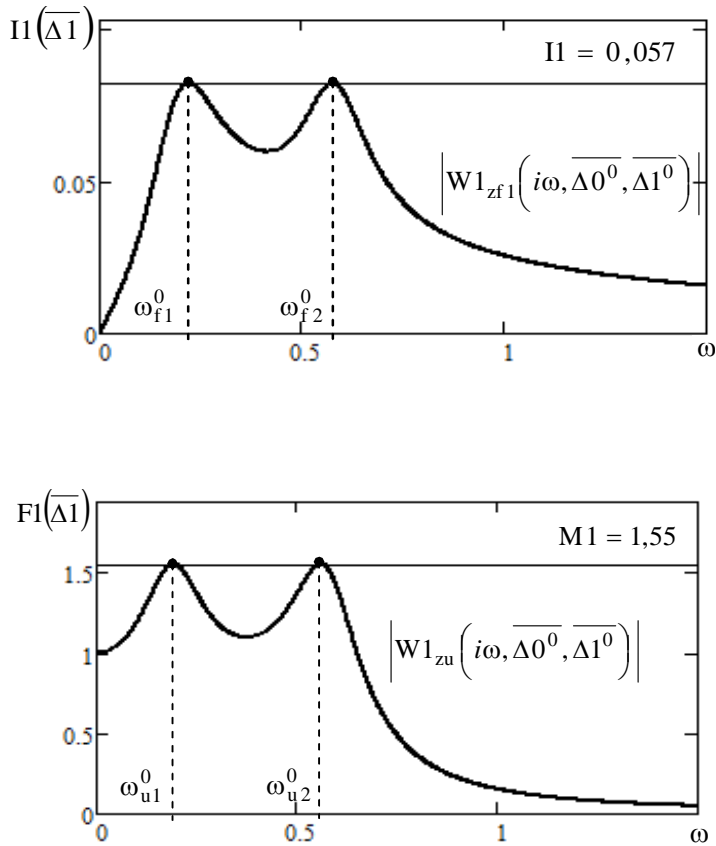


Рис. 3. АЧХ замкнутой системы контура регулирования $k = 1$ по каналам возмущения и управления

На рис. 3 приведен вид АЧХ по каналам управления и возмущения контура управления с регулятором К1, с оптимальными настройками $\overline{\Delta 1^0}$, определенными по схеме альтернансного метода. В данном случае АЧХ оптимальной системы имеют по два равных максимума, что соответствует случаю (а), а расчетная система уравнений альтернансного метода (12) примет вид

$$\begin{aligned}
& \left| W1_{zf1} \left(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| - \Pi \left(\overline{\Delta 1^0} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zf1} \left(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| = 0; \\
& \left| W1_{zf1} \left(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| - \Pi \left(\overline{\Delta 1^0} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zf1} \left(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| = 0; \\
& \left| W1_{zu} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| - M1 = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zu} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| = 0; \\
& \left| W1_{zu} \left(i\omega_{u2}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| - M1 = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zu} \left(i\omega_{u2}^0, \overline{\Delta 1^0} \right) \right| = 0; \\
& q = \overline{1, R_f}; S = \overline{1, R_u}; R_f + R_u = n + 1, R_f = R_u = 2,
\end{aligned} \tag{15}$$

с восемью неизвестными: $n = 3$ настроек регулятора $\Delta 1_i^0$, $i = \overline{1, n}$, величина $\Pi \left(\overline{\Delta 1^0} \right)$, $R_f = 2$ координат точек ω_{fq}^0 , $R_u = 2$ координат точек ω_{us}^0 .

На третьем этапе решения задачи параметрического синтеза определяются параметры $\overline{\Delta 2}$ настройки регулятора К2 по схеме альтернансного метода, при этом функционал $I(\overline{\Delta})$ задается максимумом АЧХ (6), а функционал $F(\overline{\Delta})$ – максимумом АЧХ (4) при заранее фиксированных значениях $\overline{\Delta 0^0}$ и $\overline{\Delta 1^0}$, определенных на этапах 1 и 2.

Особенность применения в данном случае описанной выше методики заключается в том, что в качестве минимизируемого функционала $I(\overline{\Delta})$ рассматривается максимум АЧХ контура $k = 1$ по каналу возмущения f_2 , а не контура $k = 2$, содержащего регулятор К2. Искомый вектор параметров $\overline{\Delta 2^0}$ настроек регулятора К2 в таком случае позволяет скорректировать частотные свойства замкнутой системы в условиях заданных ограничений на показатель колебательности M внешнего контура регулирования, представляющего собой канал «возмущающее воздействие – регулируемая величина» относительно номинальной системы регулирования.

На рис. 4 приведен вид АЧХ по каналу задания контура управления с регулятором К2 с оптимальными настройками $\overline{\Delta 2^0}$, определенными по схеме альтернансного метода, которая имеет один максимум, равный величине ограничения на показатель колебательности $M2$. АЧХ номинальной системы по каналу возмущения f_2 имеет два равных максимума, что соответствует случаю (б), а расчетная система уравнений альтернансного метода (12–13) примет вид

$$\begin{aligned}
& \left| W1_{zf2} \left(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| - I2 \left(\overline{\Delta 2^0} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zf2} \left(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| = 0; \\
& \left| W1_{zf2} \left(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| - I2 \left(\overline{\Delta 2^0} \right) = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W1_{zf2} \left(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| = 0; \\
& \left| W2_{zu} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| - M2 = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \omega} \left| W2_{zu} \left(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 2^0} \right) \right| = 0; \\
& q = \overline{1, R_f}; S = \overline{1, R_u}; R_f + R_u = n + 1, R_f = 2, R_u = 1,
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{\partial |W_{2zu}(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 2^0})|}{\partial \Delta 2_1}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_1}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_1} \\ \frac{\partial |W_{2zu}(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 2^0})|}{\partial \Delta 2_2}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_2}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_2} \\ \frac{\partial |W_{2zu}(i\omega_{u1}^0, \overline{\Delta 2^0})|}{\partial \Delta 2_3}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f1}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_3}; \frac{\partial W_{1zf2}(i\omega_{f2}^0, \overline{\Delta 2^0})}{\partial \Delta 2_3} \end{array} \right] = 0, \quad (17)$$

с семью неизвестными: $n = 3$ настроек регулятора $\Delta 2_i^0$, $i = \overline{1, n}$, величина $I_2(\overline{\Delta 2^0})$, $R_f = 2$ координат точек ω_{fq}^0 , $R_u = 1$ координат точек ω_{uq}^0 .

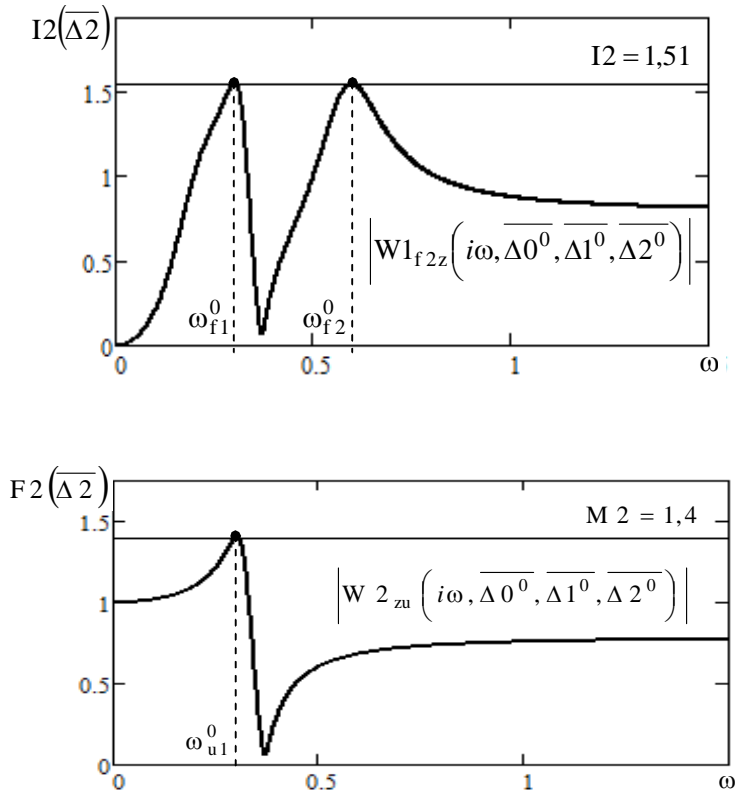


Рис. 4. АЧХ замкнутой системы контура регулирования $k = 2$ по каналу задания и АЧХ номинальной системы $k = 1$ по каналу возмущения f_2

На рис. 5 представлен график переходных процессов, проходящих в синтезируемой САУ с оптимальными параметрами настройки регуляторов, при заданном значении температуры мазута ($Z_1 = 390 \text{ }^\circ\text{C}$) и внешних возмущениях изменением расхода перегретого пара (по каналу $f_1 \rightarrow z_1$) в момент времени $t_1 = 60$ с и изменении расхода сырья (по каналу $f_2 \rightarrow z_1$) в момент времени $t_2 = 120$ с. Передаточные функции и оптимальные параметры настройки регуляторов САУ приведены в таблице.

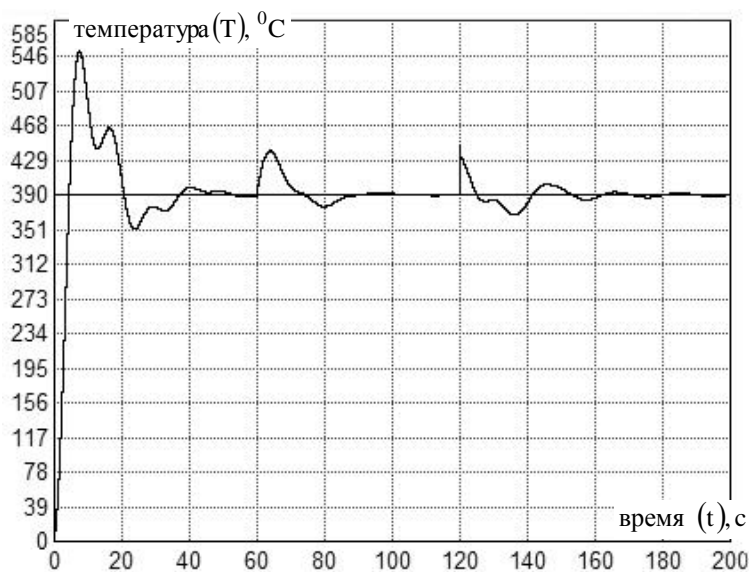


Рис. 5. Переходные процессы в САУ температурой мазута установки АВТ

Результаты решения задачи параметрического синтеза САУ

Контур САУ, k	Передаточная функция $W(p)$	Параметры настройки регулятора, $\overline{\Delta k^0}$
0 (M = 1,6)	$W_0(p) = \frac{1}{16 \cdot p + 1}$	$\Delta 0_1^0 = 6$ $\Delta 0_2^0 = 6,23$ $\Delta 0_3^0 = 2,82$
1 (M1 = 1,55)	$W_1(p) = \frac{49}{742 \cdot p^2 + 239 \cdot p + 1}$ $W_{f_1}(p) = \frac{3,6 \cdot (4,7 \cdot p + 1)}{742 \cdot p^2 + 239 \cdot p + 1}$	$\Delta 1_1^0 = 0,28$ $\Delta 1_2^0 = 1,67$ $\Delta 1_3^0 = 4,4$
2 (M2 = 1,4)	$W_2(p) = \frac{1}{3,6 \cdot p + 1}$	$\Delta 2_1^0 = 1,8$ $\Delta 2_2^0 = 0,11$ $\Delta 2_3^0 = 13,2$

Заключение

Инженерный подход к проблеме настройки регуляторов многоконтурной системы автоматического регулирования температуры мазута вакуумного блока перегонки нефти установки АВТ, предложенный в работе, основан на альтернативном методе параметрической оптимизации. Такой подход позволил найти точное решение задачи параметрического синтеза анализируемой САУ, обеспечивающее при требуемом показателе качества регулирования (показатель колебательности M) по каналу задания каждого локального контура управления минимально возможную реакцию на взаимосвязанные возмущающие воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазков И.В., Шураев М.В., Сетин С.П. Применение системы усовершенствованного управления (АРС-системы) на установках первичной переработки нефти АВТ // Научно-технический вестник «Роснефть». – 2013. – № 1. – С. 44-47.
2. Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод параметрического синтеза H^∞ -оптимальных систем автоматического управления // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2000. – № 1. – С. 79-90.
3. Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. – М.: Наука, 2000. – 336 с.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

STRUCTURAL-PARAMETRIC SYNTHESIS OF MULTILoop AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF INITIAL OIL REFINING TECHNOLOGICAL PROCESS

A.A. Afinogentov, Yu.E. Pleshivtseva, S.P. Setin, A.S. Snopkov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Structural analysis and parametric synthesis of automatic control system of initial oil refining technological process on AVT unit is produced with engineering design procedure based on alternance parametric optimization method.

Keywords: *atmospheric-vacuum oil refining, automatic control system, PID-controller, structural analysis, parametric synthesis, alternance method.*

*Alexander A. Afinogentov (Ph.D. (Techn.)), Assistant.
Yulia E. Pleshivtseva (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Sergey P. Setin, Postgraduate Student.
Anton S. Snopkov, Postgraduate Student.*